

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

GEO BRASIL 2025

**Estado e Perspectivas
do Meio Ambiente**



República Federativa do Brasil

Presidência da República

Presidente

Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente

Geraldo Alckmin

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Ministra

Marina Silva

Secretaria-Executiva

Secretário-Executivo

João Paulo Ribeiro Capobianco

Secretária-Executiva Adjunta

Anna Flávia de Senna Franco

Departamento de Planejamento e Gestão Estratégica

Diretor

Ariel Cecílio Garces Pares

Coordenação-Geral de Organização e Informações Sobre Meio Ambiente

Coordenador-Geral

Elias Begnini

Coordenação de Informações sobre Meio Ambiente

Coordenadora

Bianca Oliveira Medeiros

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

GEO BRASIL

2025

Estado e Perspectivas
do Meio Ambiente

Rio de Janeiro e Brasília - DF

MMA

2025

Coordenação Geral

Ariel Cecílio Garces Pares (MMA); Elias Begnini (MMA); Bianca Oliveira Medeiros (MMA); Francesco Gaetani (PNUMA); Javier Neme (PNUMA); Beatriz Martins Carneiro (PNUMA)

Coordenação Técnica

Ariel Cecílio Garces Pares (MMA); Elias Begnini (MMA); Bianca Oliveira Medeiros (MMA); Adriana Maria Magalhães de Moura (IPEA); Júlio Cesar Roma (IPEA); Francesco Gaetani (PNUMA); Javier Neme (PNUMA); Beatriz Martins Carneiro (PNUMA); Flávia Donadelli (FGV) e José A. Puppim de Oliveira (FGV)

Coordenação Executiva

Flávia Donadelli (FGV) e José A. Puppim de Oliveira (FGV)

Financiador

PNUMA

Conselho Editorial-Científico

Ariel Cecílio Garces Pares (MMA); Elias Begnini (MMA); Bianca Oliveira Medeiros (MMA); Adriana Maria Magalhães de Moura (IPEA); Júlio Cesar Roma (IPEA); Francesco Gaetani (PNUMA); Javier Neme (PNUMA); Beatriz Martins Carneiro (PNUMA); Flávia Donadelli (FGV) e José A. Puppim de Oliveira (FGV)

Organizadores

Flávia Donadelli e José A. Puppim de Oliveira

Autores

Adriana Maria Magalhães de Moura; André Felipe Simões; Beatriz Fátima Alves Oliveira; Carlos A. Nobre; Claudia de Oliveira Faria Salema; Darwin Renne Florencio; Dênis Antônio da Cunha; Diego Oliveira Brandão; Eduardo Assad ; Eduardo Baltar de Souza Leão; Elizângela Aparecida dos Santos; Flávia Donadelli; Flávia Mendes de Almeida Collaço; João Marcos Mott Pavanelli; José A. Puppim de Oliveira; José Célio Silveira Andrade; José Gustavo Feres; Júlia Alves Menezes; Julia Arieira; Júlia Benfica Senra; Júlio César Roma; Luiza Muccillo; Marcel Bursztyn; Marcelo José Braga; Mariana Gutierrez Arteiro da Paz; Mônica Cavalcanti Sá de Abreu; Raphael de Jesus Campos de Andrade; Sandra de Souza Hacon.

Revisores

Alexandre Aguiar; Diogo Vallim; Gesner Oliveira; John James Loomis; José Mauro Martini; Laura Valente de Macedo; Lira Luz Benites; Luis Felipe Nascimento; Marco Neves; Michel Xocaira Paes; Rodrigo Bellezoni; Sérgio Goldbaum; Tereza Bicalho; Thaís Tartalha.

Comentaristas nos Debates Públicos

Anna Flávia de Senna Franco (SECEX/MMA); Ariel Cecílio Garces Pares (SECEX/MMA); Salomar Mafaldo de Amorim Júnior (SQA/MMA); Elias Begnini (SECEX/MMA); Roberta Peixoto (IPEA); Kamilla Bachstein (SQA/MMA); Bianca Oliveira Medeiros (SECEX/MMA); Simone Vianna (IBAMA); Geovana Dotta (SQA/MMA); Luiz Mandalho (SQA/MMA); José Mauro Martini (SNPCT/MMA); Inamara Melo (SMC/MMA); Ana Kasseboehmer (SCM/MMA); Thaianne Resende Henriques Fábio (SQA/MMA); Renata Lara Santana (IBAMA); Eduardo Rocha (SQA/MMA); Javier Neme (PNUMA); Thaynara Espindola Pereira (SMC/MMA); Pablor José Francisco Pena Rodrigues (JBRJ); Thiago Bortoleto Rodrigues (SFB); Claudia Salema; Júlia Benfica Senra (IPEA); Adriana Panhol Bayma (SBIO/MMA); Alexandre Resende Tofeti (SQA/MMA); Marco José Melo Neves (ANA); José Célio Silveira Andrade (UFBA); Marcelo José Braga (UFV); Sandra Hacon (Fiocruz); Carlos Nobre (USP); Júlia Alves Menezes (Inpe); Mônica Cavalcanti Sá de Abreu (UFC); André Simões (USP); Júlio Roma (Ipea); José Gustavo Feres (FGV EPGE)

Colaboradores

Adriana Ramos; Allan Razera; Amanda Roza; Ana Carolina Crisostomo; Andrea Struchel; Andreia Fanzeres; Antonio Eduardo Leão Lanna; Bernardo Strassburg; Breno Melo; Caio Magri; Cristiane Gomes Barreto; Cristiane Lima Cortez; Cristiane Moutinho Coelho; Elíneia Gomes de Jesus; Elisângela Medeiros de Almeida; Glauce Maria Lieggio Botelho; Guilherme Franco Netto; Heloisa Borges Bastos Esteves; Hugo C. M. Costa; Ilvan Junior; Jaine Ariely Cubas; Jarlene Gomes; João Vitor Campos-Silva; José Carlos da Silva Gomes; Juliana Wotzasek Rulli Villardi; Katia Torres Ribeiro; Laura Valente de Macedo; Letícia Larcher; Marcelo Aversa; Márcia da Silva Pereira; Marco Neves; Maria Júlia Ferreira; Marina Grossi; Michel Xocaria Paes; Patricia Helena Gambogi Boson; Patrícia Ravalle; Raquel Rizzi; Raul Zoche; Roberto S. Waack; Rodrigo Corradi; Rodrigo Perpétuo; Theresa Williamson; Valber da Silva Frutuoso; Valeriana Augusta Broetto; Winnie Samanú de Lima Lopes

Projeto gráfico, diagramação e gestão editorial

Adriele Eunice da Silva Queiroz; Ana Paula Silva dos Santos

Fotos capa

Banco de imagens livre uso e MMA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP	
B823g	BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. GEO Brasil 2025 [recurso eletrônico] : estado e perspectivas do meio ambiente. – Brasília, DF : MMA : FGV, 2025. 435 p. : il. color.
	Modo de acesso: world wide web ISBN 978-85-7738-517-1 (MMA). – ISBN 978-65-01-77328-5 (FGV)
	1. Sustentabilidade ambiental. 2. Mudanças climáticas. 3. Crise ambiental. 4. Análise ambiental. 5. Relatório. I. Título.
CDD-504	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Gastos em meio ambiente do Governo Federal (2000-2022) -----	13
Figura 1.2 – Modelo esquemático da metodologia DPSIR (drivers, pressures, states, impacts and responses) -----	21
Figura 2.1 – Modelo DPSIR aplicado às mudanças climáticas no Brasil -----	26
Figura 2.2 – Emissões brutas de CO ₂ e por setor econômico em 2023 nos seis biomas brasileiros -----	27
Figura 2.3 - A Evolução histórica das emissões totais líquidas de GEE (em CO ₂ e) e pelos setores de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas (LULUCF), Agropecuária e Energia. B. Desmatamento no Brasil (em km ²) de 2008 a 2023 -----	30
Figura 2.4 - Distribuição da área queimada acumulada por estados brasileiros (1985-2024) e tendência de redução ou aumento da área queimada em 2024 em relação à média histórica do estado -----	31
Figura 2.5 - Série histórica de emissões brutas e remoções de GEE (CO ₂ e) por bioma -----	32
Figura 2.6 - Efeitos da perda de cobertura florestal sobre as condições climáticas locais -----	33
Figura 2.7 – Frequência, duração e severidade de secas repentinas no Brasil considerando o intervalo de 1961 a 2020 -----	37
Figura 2.8 - Projeção do aumento da deficiência hídrica no solo nas próximas décadas por modelos climáticos -----	43
Figura 2.9 - Sobrevoos das áreas afetadas pelas chuvas em Canoas em 2024, grande Porto Alegre -----	45
Figura 3.1 – Mapa dos biomas e do sistema costeiro-marinho brasileiros -----	89
Figura 3.2 – Número de Unidades de Conservação e percentual da área protegida por bioma e no Sistema Costeiro-Marinho -----	92
Figura 3.3 – Categorias de serviços ecossistêmicos e suas relações com o bem-estar humano -----	93
Figura 3.4 – Crescimento populacional brasileiro entre 1872-2022 -----	97
Figura 3.5 – Área desmatada anualmente (km ²) na Amazônia Legal Brasileira, durante o período 2001 a 2024 -----	100
Figura 3.6 – Área desmatada anualmente (km ²) no Cerrado, durante o período 2001 a 2024 -----	101
Figura 3.7 – Área desmatada anualmente (km ²) na Caatinga, durante o período 2001 a 2023 -----	102
Figura 3.8 – Área desmatada anualmente (km ²) na Mata Atlântica, durante o período 2001 a 2023 -----	103
Figura 3.9 – Área desmatada anualmente no Pampa (km ²), durante o período 2001 a 2023 -----	103
Figura 3.10 – Área desmatada anualmente no Pantanal, durante o período 2001 a 2023 -----	104
Figura 3.11 – Distribuição espacial dos empreendimentos hidrelétricos existentes e respectivas áreas alagadas na Amazônia -----	105
Figura 3.12 – Distribuição percentual dos agrotóxicos conforme as classes, no Brasil -----	106
Figura 3.13 – Evolução anual do número de registros de agrotóxicos concedidos pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) no Brasil, entre 2000 e 2025 -----	107
Figura 3.14 - Vegetação remanescente nos diferentes biomas brasileiros -----	114
Figura 4.1 – Framework da análise de qualidade ambiental, segundo a DPSIR -----	144
Figura 4.2 - Proporção de pessoas de acordo com a avaliação de situação de risco (%) -----	146
Figura 4.3 – Panorama dos resíduos sólidos urbanos e da logística reversa no Brasil -----	147
Figura 4.4 – Estado da poluição do ar nas capitais brasileiras -----	149
Figura 4.5 – Perfil social da população em estado de privação dos serviços de saneamento no Brasil em 2022 -----	150
Figura 4.6 - Origem da contaminação das áreas contaminadas no país e estimativas de áreas contaminadas por estado -----	153
Figura 4.7 - Área desmatada por bioma, em hectares, entre os anos de 2019 e 2024 -----	154
Figura 4.8 – Impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes da poluição ambiental -----	155
Figura Q4.2 - Relação entre as forças motrizes, causas e pressões, os sistemas impactados e os ODS ----	156
Figura C4.1 - Economia circular -----	177
Figura C4.2 - Resíduos recém-gerados a partir da quebra do fruto de Baru (<i>Dipteryx atala</i>) na comunidade de Sagarana, Arinos- MG, Brasil em 2025 -----	184
Figura C4.3 - Área de descarte inadequado de resíduos de Baru (<i>Dípteryx atala</i>) na comunidade de Sagarana, Arinos- MG, Brasil em 2025 -----	184
Figura 5.1 – Disponibilidade hídrica no Brasil -----	189
Figura 5.2 – Diferença das vazões observadas no período 2010-2020 em relação à média 1980-2010 -----	190
Figura 5.3 – Diferenças entre chuvas acumuladas e vazões máximas do trimestre setembro-novembro de 2023 em relação à média histórica -----	191

Figura 5.4 – Áreas relevantes para a implementação da gestão integrada rio/acuífero (UGRHs Paranapanema, Rio Grande e São Francisco) -----	193
Figura 5.5 – Distribuição setorial do uso consuntivo da água no ano de 2023 no Brasil -----	194
Figura 5.6 – Evolução do uso consuntivo da água no Brasil 1970 – 2040 -----	194
Figura 5.7 – Uso da água por macrorregião brasileira, 2023 -----	195
Figura 5.8 – Maiores vazões de retirada de água por unidade da federação, 2023 (em m ³ /s) -----	196
Figura 5.9 – Área irrigada mecanizada no Brasil – incremento anual -----	196
Figura 5.10 – Demanda Bioquímica de Oxigênio e Carbono Orgânico Total -----	200
Figura 5.11 – População atendida por rede pública de esgoto em 2022 -----	201
Figura 5.12 – Tratamento dos esgotos gerador por unidade da federação (em %) -----	201
Figura 5.13 – Linha do tempo – gerenciamento de recursos hídricos no Brasil -----	203
Figura 5.14 – Número de municípios com instrumento de planejamento -----	207
Figura 5.15 – Evolução do número de municípios regulados -----	208
Figura 6.1 – Relação entre agricultura e meio ambiente: Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Respostas -----	224
Figura 6.2 – Evolução da PTF do Brasil no período de 1970 a 2022 -----	225
Figura 6.3 – Expansão da área agrícola no Brasil entre 1985 e 2022 -----	226
Figura 6.4 – Expansão da área plantada de soja no Brasil entre 1988 e 2024 -----	227
Figura 6.5 – Panorama do uso de agrotóxicos no Brasil -----	227
Figura 6.6 – Evolução do rebanho bovino e das emissões de CO ₂ eq no Brasil no período de 2000 a 2023 -----	230
Figura 6.7 – Desempenho do Brasil no cumprimento das metas da Agenda 2030 -----	232
Figura Q6.3 - Síntese da evolução do conceito de justiça ambiental com ênfase na agricultura -----	233
Figura 6.8 – Marcos Regulatórios em meio ambiente, clima e agricultura sustentável no Brasil -----	239
Figura C6.1 - Emissões brutas no Brasil por setor -----	262
Figura 7.1 – O Impacto das Forças Motrizes de Qualidade Ambiental nas Cidades -----	268
Figura 7.2 – Agenda Nacional de Sustentabilidade e Mudança do Clima -----	271
Figura 7.3 – Planos de Ação Climática e Inventários de Emissões das Capitais Brasileiras (até junho 2024) -----	275
Figura 7.4 – Enchente em Porto Alegre (Maio de 2024) -----	276
Figura 7.5 – Emissões de GEE por tipo de transporte nas capitais brasileiras -----	279
Figura Q7.2 – “Bicicletar”: sistema de bicicletas compartilhadas em Fortaleza-CE -----	281
Figura 7.6 – Desmoronamento do lixão Ouro Verde em Padre Bernardo – Goiás -----	282
Figura Q7.3 – Compostagem de Resíduos Orgânicos – Projeto Revolução dos Baldinhos -----	283
Figura 7.7 – Categorias dos programas de IPTU Verde em 14 cidades brasileiras -----	285
Figura Q7.4 - Edifício-Sede do SindusCon-Ba em Salvador renova Selo Ouro IPTU Verde -----	286
Figura Q7.5 - Comunidades do Monte Serrat em Santos- SP -----	290
Figura 7.8 – Principais forças motrizes e barreiras para agenda climática local -----	292
Figura Q7.6 - Comunidade vulnerável situada em área de risco em Recife – PE -----	294
Figura 7.9 – Passos para Estruturação da Agenda Climática Local -----	300
Figura 8.1 – Mapa de exportação de petróleo brasileiro por país de destino da produção nacional (dados de exportação em mil barris/dia) -----	321
Figura 8.2 – Composição percentual para o ano de 2023, por fonte, da oferta interna de energia primária no Brasil -----	321
Figura 8.3 – Composição percentual, em 2022 e em 2023, por fonte energética, da oferta interna de eletricidade no Brasil -----	322
Figura 8.4 – Emissões de Gases de Efeito Estufa pelo Brasil, entre 2002 e 2023, por setores (tCO ₂ e) -----	324
Figura 8.5 – Esquematização do exercício de aplicação da metodologia DPSIR ao setor de energia do Brasil -----	325
Figura 8.6 – Principais setores contribuintes para as emissões de GEE no contexto da oferta energética do Brasil, em CO ₂ e, relativamente ao ano de 2023 -----	327
Figura 8.7 – Principais origens, composição e impactos das emissões de GEE decorrentes do uso de energia no Brasil -----	328
Figura 8.8 – Evolução da participação das fontes renováveis no total da oferta energética brasileira entre 2013 e 2022 -----	331
Figura 8.9 – Evolução da Intensidade elétrica no Brasil, em MWh para cada real de PIB per capita, entre 2012 e 2022 -----	332
Figura 8.10 – Comparativo de emissões (ciclo completo) de diferentes tipos de motorização e fontes energéticas -----	341

Figura 9.1 – Evolução da qualidade ambiental na indústria e seus marcos regulatórios na linha do tempo --	363
Figura 9.2 – Modelo DPSIR aplicado à indústria brasileira -----	365
Figura 9.3 – Complexidade tecnológica e investimento em P&D -----	366
Figura 9.4 – Transição demográfica indústria -----	367
Figura 9.5 – Crise hídrica e energética (2021-2024) -----	369
Figura 9.6 – Financiamento e acesso ao crédito -----	372
Figura 9.7 – Emissões industriais e impactos na saúde pública -----	375
Figura 9.8 - Arranjo multinível para promoção da economia circular -----	378
Figura 9.9 – Planos setoriais para descarbonização -----	379
Figura 10.1 – Tripla Crise Planetária -----	398
Figura 10.2 – Inter-relações entre meio ambiente e saúde: modelo DPSIER aplicado ao Brasil -----	404
Figura 10.3 – Panorama das fontes de emissão de poluentes atmosféricos, níveis de material particulado fino (PM2,5), seus impactos na mortalidade geral nos municípios brasileiros (2021–2023) -----	408
Figura 10.4 – Risco relativo e seus intervalos de confiança (IC95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade por doenças cardiopulmonares em idosos nas capitais da Brasileira, segundo grandes regiões (série temporal de 2000 a 2019) -----	409
Figura 10.5 – Panorama dos eventos extremos hidrológicos (2020-março/2024), taxa de incidência de leptospirose por 100 mil habitantes em 2023, destinação dos resíduos sólidos e as mortes de diarreia em menores de 5 anos atribuível a falta de água e de saneamento 2021 -----	411
Figura 10.6 – Distribuição das taxas de intoxicação exógena por agrotóxicos por 100 mil habitantes no Brasil para o triênio 2022 a 2024 -----	412
Figura 10.7 – Estimativas das taxas ajustada de incidência de câncer por 100 mil habitantes para os principais cânceres -----	413
Figura 10.8 – Efeitos da desestruturação urbana e pressões antrópicas sobre a saúde -----	414
Figura 10.9 – Amazônia Legal -----	415
Figura 10.10 – Fluxograma sobre impactos da tripla crise planetária associados à saúde -----	417

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Evolução da política ambiental brasileira: eventos históricos, marcos institucionais e legais (1930 a 2025) -----	11
Quadro 1.2 – Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente -----	15
Quadro 1.3 – Instrumentos previstos em diferentes legislações ambientais federais -----	18
Quadro 2.1 - Conceitos e características do Federalismo Climático e da Governança Climática -----	47
Quadro 2.2 – A restauração da vegetação nativa como elemento central para mitigação e adaptação climática no Brasil -----	53
Quadro 2.3 – Sociobioeconomia de Saudáveis Florestas em Pé e Rios Fluindo: Um Exemplo de Governança Climática Transformadora -----	62
Quadro 4.1 – Inter-relações entre as forças motrizes e as principais pressões ambientais -----	144
Quadro 4.2 – Agenda 2030 e qualidade do ar, água e solo -----	155
Quadro 4.3 – Síntese crítica e evolução temporal das respostas institucionais: pontos fortes e oportunidades de melhoria -----	156
Quadro 4.4 – Marcos infralegais importantes da governança ambiental no Brasil -----	158
Quadro 4.5 – Estratégias Nacionais e Iniciativas para uma Economia Circular -----	162
Quadro 4.6 – Boas práticas para a sustentabilidade -----	164
Quadro C4.1 - Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil — Síntese 2022–2024 -----	176
Quadro C4.2 - Marco Normativo da Economia Circular no Brasil -----	178
Quadro C4.3 - Inovação em gestão de resíduos sólidos urbanos em Florianópolis -----	179
Quadro 6.1 – Dinâmica da agricultura brasileira: do modelo dominante à transição para a sustentabilidade -----	223
Quadro 6.2 – Agricultura em risco: efeitos climáticos, econômicos e sociais -----	231
Quadro 6.3 – Evolução do conceito de justiça ambiental com ênfase na agricultura -----	234
Quadro 7.1 – Programa Cidades Verdes Resilientes (PCVR) -----	272
Quadro 7.2 – Boas práticas de transporte e mobilidade urbana em Fortaleza – CE -----	280
Quadro 7.3 – “Revolução dos Baldinhos” em Florianópolis – SC -----	282
Quadro 7.4 – IPTU e Outorga Verdes e IPTU Amarelo em Salvador – BA -----	285
Quadro 7.5 – Construindo Cidades Verdes Resilientes: o Plano de Ações Climáticas de Santos – SP -----	288
Quadro 7.6 – Forças motrizes e barreiras para a evolução da agenda climática em Recife – PE -----	293
Quadro 9.1 – Forças motrizes do colapso: a gênese do desastre do rompimento da barragem de Fundão --	367
Quadro 9.2 – Pressões sistêmicas que antecederam o rompimento da barragem de Fundão -----	370
Quadro 9.3 – Estado do sistema: colapso sistêmico da Bacia do Rio Doce -----	373
Quadro 9.4 – Impactos interdependentes: a reação em cadeia da perversidade -----	376
Quadro 9.5 – Respostas ao desastre: governança colaborativa, barreiras sistêmicas e redes sombrias de resistência -----	381
Quadro 10.1 – Tripla crise planetária -----	398
Quadro 10.2 – Saúde Única e Saúde Planetária -----	399
Quadro 10.3 – Justiça Ambiental -----	402

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Resumo estatístico das taxas de desmatamento dos biomas brasileiros em quilômetros quadrados no período de 2008 a 2023 -----	29
Tabela 2.2 - Resumo das tendências climáticas observadas e projetadas nos seis biomas brasileiros -----	40
Tabela 2.3 – Exemplos de iniciativas de governança híbrida voltadas à mitigação e adaptação climáticas ---	49
Tabela 2.4 – Exemplos de Políticas Subnacionais de Mitigação Climática -----	51
Tabela 2.5 – Focos e políticas para adaptação climática nos biomas brasileiros -----	57
Tabela 2.6 – Instrumentos de Financiamento Climático indicados na NDC brasileira de 2024 -----	59
Tabela 3.1 – Algumas características marcantes da biodiversidade e da economia dos biomas e do Sistema Costeiro-Marinho -----	90
Tabela 3.2 – Síntese da biodiversidade vegetal brasileira em números -----	91
Tabela 3.3 – Síntese da biodiversidade brasileira de invertebrados em números -----	91
Tabela 3.4 – Síntese da biodiversidade brasileira de vertebrados em números -----	91
Tabela 3.5 – Dez principais produtos exportados pelo Brasil em 2025 (janeiro-abril) -----	95
Tabela 3.6 – Estoques físicos de terra, segundo as classes de cobertura e uso da terra em 2020 -----	96
Tabela 3.7 – Números de estabelecimentos familiares e percentual dos que usam agrotóxicos (2006 a 2017) -----	108
Tabela 3.8 – Número de espécies exóticas invasoras (EEI) na categoria fauna em Unidades de Conservação Federais -----	109
Tabela 3.9 – Número de espécies exóticas invasoras (EEI) na categoria flora em Unidades de Conservação Federais -----	109
Tabela 3.10 – Síntese das pressões e impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos em cada bioma e no SCM -----	111
Tabela 3.11 – Flora Brasileira Ameaçada, por categoria de risco -----	112
Tabela 3.12 – Fauna brasileira ameaçada, por categoria de risco -----	112
Tabela 5.1 – Rendimento em condição predominantemente irrigada e não irrigada - Brasil -----	197
Tabela 5.2 – Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos -----	204
Tabela 5.3 – Avanços e desafios remanescentes do PNRH 2006 -2020 -----	210
Tabela 5.4 – Programas do PNRH 2022-2040 -----	211

SUMÁRIO

PARTE I – INTRODUÇÃO

Apresentação do GEO BRASIL 2025	3
1. Avanços e Desafios das Questões Ambientais no Brasil	
José A. Puppim de Oliveira, Flávia Donadelli, Adriana Maria Magalhães de Moura e Marcel Bursztyn	5

PARTE II – ANÁLISE AMBIENTAL: DIAGNÓSTICO, RESPOSTAS E CAMINHOS PARA A TRANSFORMAÇÃO

2. Mudanças Climáticas

A Crise Climática no Brasil: Tendências, Desafios e Caminhos Emergentes

Carlos A. Nobre, Júlia Arieira, Luiza Muccillo, Diego Oliveira Brandão e Eduardo Assad	23
Pergunta: Como acelerar o combate às mudanças climáticas no Brasil?	
Adriana Ramos	79
Marina Grossi	81
Ana Carolina Crisostomo e Jarlene Gomes	83

3. Biodiversidade

Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

Júlio César Roma, Claudia de Oliveira Faria Salema e Júlia Benfica Senra	85
Pergunta: Como frear a perda de biodiversidade no Brasil?	
Kátia Torres Ribeiro e Andreia Fanzeres	133
João Vitor Campos-Silva e Hugo C. M. Costa	135
Roberto S. Waack e Bernardo Strassburg	137

4. Qualidade Ambiental

Gestão da Qualidade Ambiental

Júlia Alves Menezes e Mariana Gutierrez Arteiro da Paz	139
Pergunta: Como conduzir o país a uma nação com cada vez menos lixo e mais reciclagem e menos poluição?	
Laura Valente de Macedo e Andrea Struchel	176
Elineia Gomes de Jesus, José Carlos da Silva Gomes e Marcelo Aversa	181
Ilvan Medeiros Lustosa Junior e Cristiane Gomes Barreto	183

5. Recursos hídricos

O Estado dos Recursos Hídricos

José Gustavo Féres	185
Pergunta: Como melhorar a gestão dos recursos hídricos no Brasil?	
Breno Melo e Letícia Larcher	216
Marco Neves	218

PARTE III – ANÁLISE TEMÁTICA: AVANÇOS E DESAFIOS

6. Agricultura

Agricultura e Meio Ambiente no Brasil: Impactos, Desafios e Oportunidades

Dênis Antônio da Cunha, Elizângela Aparecida dos Santos e Marcelo José Braga	220
Pergunta: Quais os principais desafios da sustentabilidade ambiental da agricultura brasileira? Podemos expandir nossa produção agrícola para alimentar o mundo?	
Maria Julia Ferreira e Michel Xocaira Paes	256
Raquel Rizzi, Allan Razera e Patrícia Ravallet	258
Jaime Ariely Cubas e Amanda Roza	260
Raul Zoche	262

7. Cidades

Cidades Mais Sustentáveis, Justas e Resilientes: Panorama, Desafios e Perspectivas

José Célio Silveira Andrade e Eduardo Baltar de Souza Leão ----- 264

Pergunta: Como tornar nossas cidades mais sustentáveis ambientalmente?

Patrícia Helena Gambogi Boson e Antonio Eduardo Leão Lanna ----- 310

Rodrigo Corradi, Rodrigo Perpétuo e Valeriana Augusta Broetto ----- 312

Theresa Williamson ----- 314

8. Energia

Energia e Meio Ambiente

André Felipe Simões, Flávia Mendes de Almeida Collaço e João Marcos Mott Pavanelli ----- 317

Pergunta: Como reduzir os impactos da energia em seu ciclo de vida?

Cristiane Lima Cortez ----- 356

Cristiane Moutinho Coelho, Elisângela Medeiros de Almeida, Glaucete Maria Lieggio Botelho e

Heloisa Borges Bastos Esteves ----- 358

9. Indústria

Qualidade Ambiental na Indústria Brasileira: Desafios e Oportunidades para uma Transição Justa e Circular

Raphael de Jesus Campos de Andrade e Mônica Cavalcanti Sá de Abreu ----- 360

Pergunta: Como fazer nossa indústria mais sustentável?

Caio Magri ----- 393

10. Saúde

Saúde

Sandra de Souza Hacon, Beatriz Fátima Alves Oliveira e Darwin Renne Florencio ----- 395

Pergunta: Como melhorar a saúde ambiental da população?

Guilherme Franco Netto e Juliana Wotzasek Rulli Villardi ----- 428

Valber da Silva Frutuoso, Márcia da Silva Pereira e Winnie Samanú de Lima Lopes ----- 429

PARTE IV – PERSPECTIVAS E CONCLUSÕES

11. Oportunidades e Desafios da Transformação para a Sustentabilidade no Brasil

José A. Puppim de Oliveira e Flávia Donadelli ----- 432

PREFÁCIO MMA

É com grande satisfação que apresento o GEO BRASIL 2025, relatório nacional sobre o estado do meio ambiente no território brasileiro, resultado de uma parceria do MMA com o PNUMA, a FGV e o IPEA. O Relatório tem o mérito de oferecer ao Brasil um diagnóstico baseado na interface entre a ciência e as políticas públicas em nosso país. Trata-se de um exercício indispensável, num momento em que os desafios ambientais se mostram cada vez mais complexos, urgentes e interconectados, sobretudo face à mudança do clima.

O lançamento do GEO BRASIL 2025 reflete esse momento crítico da discussão ambiental. Mostra os conflitos e as oportunidades de um mundo que caminha para enfrentar os desafios da transformação ecológica, e que precisa garantir um futuro de baixo carbono, resiliente e eficiente, baseado na natureza e no uso prático ? sustentável dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos.

Sua leitura pretende oferecer uma análise abrangente sobre as causas, as consequências e o desempenho das políticas ambientais no Brasil, com base em evidências, e de forma encadeada e lógica. O relatório não apenas expõe o diagnóstico do cenário ambiental atual, como também apresenta tendências futuras e ponderações sobre a eficácia das respostas políticas. É um trabalho que vai além do registro de problemas, iluminando possíveis caminhos para a construção de um futuro mais justo e sustentável.

O GEO BRASIL 2025 é um relevante subsídio para o governo, a sociedade civil e o setor privado na tomada de decisões. Ele contribui para que a agenda ambiental amplie suas reflexões para além do debate centrado em fatores de restrição para inserir possibilidades de vetores de desenvolvimento, baseadas nas oportunidades oferecidas pela natureza – associadas ao desenvolvimento tecnológico – e nos termos do programa Transformação Ecológica do Governo Federal. Sua leitura inspira o engajamento baseado numa ética de convivência harmônica entre a sociedade e a natureza, defendendo a justiça ambiental, em todas as suas dimensões, como corolário de um compromisso com o futuro.

Dada sua amplitude, o relatório faz remissões à cena internacional do debate ambiental, e traz à luz os grandes temas que serão destaque na COP 30, em Belém. A pergunta que dá significado ao GEO BRASIL 2025 é: em que medida o Brasil estará preparado para enfrentar os desafios colocados? Essas reflexões nos convidam ao engajamento e ao comprometimento, além de nos motivar a continuar aperfeiçoando as atuais políticas ambientais, num diálogo aberto e franco com todos os setores da sociedade. Assim, uma outra contribuição importante da Rio-92 foi o lançamento de uma agenda positiva que parecia alcançável. Havia um novo conceito de desenvolvimento (desenvolvimento sustentável) com relação ao qual todos concordavam. Muitos documentos importantes e leis internacionais foram apoiados por quase todos os países, estabelecendo o modelo de um conjunto de normas internacionais que poderiam resolver muitos dos problemas ambientais globais e locais. Uma outra mudança pós-Rio-92 que consolidou-se na Agenda 2030 foi o amplo envolvimento da sociedade civil, o que sinalizou a importância de uma nova estrutura de governança, mais participativa e descentralizada, indicando o amplo apoio que os governos receberiam na busca do desenvolvimento sustentável. Por outro lado, os movimentos ambientalistas passaram a se preocupar mais com os aspectos sociais e econômicos, e as organizações não ambientais ganharam mais consciência sobre as questões ambientais.



Marina Silva, Ministra do Meio Ambiente.

PREFÁCIO PNUMA

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) tem o prazer de acompanhar a publicação do GEO Brasil 2025, desenvolvido sob a liderança do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, que reflete o compromisso contínuo do Brasil com o conhecimento científico, a gestão ambiental informada e a ação multilateral diante dos desafios globais.

Esta nova edição do GEO Brasil, após a primeira publicação lançada em 2002, evidencia o compromisso sustentado do país com a avaliação contínua do estado do meio ambiente e com a consolidação de uma base científica sólida para suas políticas públicas. Desde essa primeira edição, o Brasil se destacou como um dos países pioneiros na aplicação da metodologia GEO em nível nacional, inspirando outras experiências na América Latina e no Caribe e contribuindo para o fortalecimento da governança ambiental em toda a região.

O GEO Brasil 2025 reafirma essa trajetória, atualizando e ampliando o diálogo entre a ciência e as políticas públicas em um contexto global marcado por desafios interconectados — a crise climática, a perda de biodiversidade, a degradação das terras e a poluição. O relatório oferece uma visão abrangente, baseada em evidências, que permite compreender a complexidade das pressões ambientais e, sobretudo, a eficácia das respostas institucionais. É, portanto, um instrumento de orientação política, transparência e monitoramento — pilares essenciais para o fortalecimento da governança ambiental.

Desde a publicação do primeiro GEO, a família de relatórios evoluiu para incorporar abordagens prospectivas, avaliando não apenas o estado do meio ambiente, mas também as tendências e as opções de políticas capazes de promover uma transição justa e sustentável. O GEO Brasil 2025 reflete essa evolução, integrando-se plenamente à tradição das avaliações ambientais globais do PNUMA, que buscam apoiar países e regiões na implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, de suas prioridades nacionais e de seus compromissos multilaterais.

O lançamento deste relatório no contexto da COP30 em Belém reafirma o firme

compromisso e a liderança do Brasil em relação à ação climática e ambiental. O PNUMA reconhece o papel decisivo do país na promoção de uma economia de baixo carbono, inclusiva e baseada na natureza, em consonância com os compromissos globais e regionais assumidos no âmbito da Agenda 2030, do Acordo de Paris e dos principais acordos multilaterais ambientais.

O PNUMA parabeniza o Governo do Brasil todas as instituições envolvidas por esta conquista, que reafirma o valor da cooperação multilateral e do conhecimento compartilhado como base para transformar compromissos ambientais em ações concretas.



Juan Bello, Diretor Regional PNUMA

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO DO GEO BRASIL 2025

Com a 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) em Belém, o Brasil torna-se palco central da maior negociação climática global, constituindo-se como um ator-chave no avanço das perspectivas de um futuro mais sustentável, resiliente e justo.

O GEO BRASIL 2025 é o segundo da história, tendo sido precedido pelo GEO BRASIL 2002. Este segundo GEO Brasileiro traz um diálogo crucial com os achados centrais do primeiro GEO, avalia a evolução dos temas ao longo desses últimos 23 anos, e propõe avanços e perspectivas transformadoras para o futuro. Dividido em análise por temas e setoriais, as mensagens convergem para a narrativa de que apesar de termos avançado muito, ainda estamos distantes de um modelo verdadeiramente sustentável e adequado à urgência da crise ambiental e climática com a qual nos deparamos hoje.

A importância do GEO Brasil 2025 não se deve, porém, apenas ao fato histórico de ser este apenas o segundo relatório brasileiro já escrito. Como apontado no capítulo sobre Mudanças Climáticas deste relatório, o Brasil está entre os seis maiores emissores de CO₂ do mundo, sendo um ator fundamental na redução de emissões globais. Mas ao mesmo tempo somos bom exemplo global na área de energia renovável, sendo o país entre os do G20 com maior percentagem de uso de renováveis em sua matriz energética, como mostra o capítulo de energia. Os capítulos deste relatório mostram, ainda, que apesar dos imensos desafios em enfrentar a tríplice crise ambiental - das mudanças climáticas, perda de biodiversidade e poluição — o Brasil tem também um enorme potencial para produzir respostas efetivas, um caminho que já começou a ser trilhado por políticas públicas mais integradas e sistêmicas. Ou seja, temos áreas positivas para nos espelhar e avançar na sustentabilidade ambiental.

Nesse contexto, publica-se o segundo Global Report Outlook – GEO Brasil da história, um relatório de perspectivas globais para o meio ambiente brasileiro que desempenha papel crucial em fornecer subsídios científicos às negociações internacionais. Assim como os

GEO globais, que já estão em sua sétima edição (GEO-7), o segundo GEO Brasil visa, entre outras coisas, fornecer uma avaliação abrangente do estado do meio ambiente brasileiro. O relatório descreve ainda possíveis tendências ambientais; analisa a eficácia das políticas públicas atualmente implementadas; e propõe respostas transformadoras para o futuro.

Liderado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e tendo a coordenação executiva da Fundação Getúlio Vargas (FGV), o GEO Brasil 2025 foi um esforço concertado que contou com contribuições valiosas de diversas mãos, apoio constante e direto da equipe do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) e do Programa das Nações Unidas para O Meio Ambiente (PNUMA) dos seus escritórios no Brasil e América Latina, e comentários valiosos de diversos atores do governo, da sociedade civil e do setor privado. Tais atores não apenas figuram como parte integrante do relatório, mas formaram a base de um diálogo aberto, inclusivo e transformador que deu origem a este relatório, ou se espera que continue nos próximos anos com o objetivo de construir caminhos para uma melhor sustentabilidade ambiental.

O GEO Brasil 2025 proporciona, portanto, acesso ao melhor e mais atual conhecimento científico existente sobre questões ambientais do Brasil, com capítulos feitos por alguns dos melhores pesquisadores em cada área. Além de um rigoroso processo de avaliação por pares e diversas rodadas de revisão, cada um dos capítulos deste relatório foi apresentado publicamente em uma série de 5 webinários, tendo recebido diversos comentários e sugestões da sociedade civil. Os webinários, que contaram com inúmeras participações síncronas e um crescente número de visualizações posteriores, já demonstraram o enorme potencial de impacto dos temas trazidos por este relatório, bem como a importância da abertura de tais debates à participação e contribuição da sociedade brasileira.

Por identificar causas e tendências da

APRESENTAÇÃO

situação ambiental, O GEO Brasil 2025 pode ser utilizado também como fonte de informação para cidadãos e agentes não governamentais, contribuindo assim para o monitoramento de políticas ambientais. O relatório promove e apoia também os objetivos de desenvolvimento sustentável acordados internacionalmente (ODS) pela ONU, e facilitando a interação entre ciência e políticas públicas. Por fim, o GEO BRASIL 2025 cumpre o papel de destacar prioridades ambientais nacionais, dando subsídios para avaliar a eficácia de suas políticas públicas e apoiar a formulação de projetos inovadores. Ao ser apresentado de maneira clara, direta e objetiva, tem enorme potencial de contribuir e apoiar a governança ambiental, o debate público e a tomada de decisões no Brasil.

Coordenadores Executivos

Flávia Donatelli (FGV EBAPE)

José Antonio Puppim de Oliveira (FGV EAESP)

1 - INTRODUÇÃO

AVANÇOS E DESAFIOS DAS QUESTÕES AMBIENTAIS NO BRASIL

Autores: José A. Puppim de Oliveira¹, Flávia Donadelli², Adriana Maria Magalhães de Moura³ e Marcel Bursztyn⁴

¹Professor Titular, FGV EAESP e Coordenador FGV EARTH

²Professora de Administração Pública na FGV – EBAPE

³Coordenadora de Estudos em Sustentabilidade Ambiental do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)

⁴Professor Titular, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília

Desenvolvimento (Ambientalmente) Sustentável: Um Longo Caminho até Aqui

Lidar com os problemas ambientais tornou-se um dilema central das décadas finais de século XX. O pensamento político, empresarial e econômico dominante na época afirmava que a poluição ambiental era a consequência natural do “desenvolvimento” e o preço a se pagar pelo aumento da riqueza material. Assim, apresentava-se um suposto trade-off entre a economia e o meio ambiente. Se uma sociedade desejasse altos níveis de riqueza econômica, teria que suportar os altos níveis de poluição ambiental causados pelas novas fábricas, geração energética, desmatamento e carros que eram os motores do crescimento econômico. Hoje já sabemos que isto não tem fundamento científico, político, social ou moral.

A mudança veio com o conceito de “desenvolvimento sustentável”, que tornou-se popular a partir da década de 1990, particularmente após a publicação do Relatório Brundtland. A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) ocorreu na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, em 1992, e colocou, de maneira definitiva, o conceito nas agendas políticas em todos os níveis, do global ao local. O Brasil foi protagonista em um dos maiores encontros de líderes mundiais até hoje que gerou uma série de documentos importantes, como a Agenda 21, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, a Convenção sobre Diversidade Biológica e a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação, as quais o Brasil ratificou.

A Rio-92 e seus desdobramentos mudaram a perspectiva de que para se preservar o meio ambiente haveria de se sacrificar o

desenvolvimento socio-econômico. O termo rompeu definitivamente o impasse entre proteção ambiental, desenvolvimento econômico e inclusão social (chamados de três pilares do desenvolvimento sustentável), oferecendo a possibilidade de que os três pudessem se unir sem concessões, pelo menos em teoria. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável lançada em 2015, foi germinada no Brasil durante a Rio+20 em 2012, e tem em seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um compromisso político quase que consensual. Tal compromisso consolidou de vez a importância da conexão entre vários objetivos do desenvolvimento. Caso tais objetivos não sejam abordados de maneira conjunta, não se pode considerar quaisquer progressos como efetivo “desenvolvimento”.

Assim, uma outra contribuição importante da Rio-92 foi o lançamento de uma agenda positiva que parecia alcançável. Havia um novo conceito de desenvolvimento (desenvolvimento sustentável) com relação ao qual todos concordavam. Muitos documentos importantes e leis internacionais foram apoiados por quase todos os países, estabelecendo o modelo de um conjunto de normas internacionais que poderiam resolver muitos dos problemas ambientais globais e locais. Uma outra mudança pós-Rio-92 que consolidou-se na Agenda 2030 foi o amplo envolvimento da sociedade civil, o que sinalizou a importância de uma nova estrutura de governança, mais participativa e descentralizada, indicando o amplo apoio que os governos receberiam na busca do desenvolvimento sustentável. Por outro lado, os movimentos ambientalistas passaram a se preocupar mais com os aspectos sociais e econômicos, e as organizações não ambientais ganharam mais consciência sobre as questões ambientais.

Porém, mais de 30 anos depois, embora tenha havido progressos importantes em diversas áreas no campo ambiental e social desde 1992, as melhoras nem sempre se confirmaram na prática. O Brasil, e o mundo, ainda lutam para implementar as decisões decorrentes da CNUMAD e para conduzir a humanidade a um caminho mais sustentável. Embora a conscientização ambiental e social, e a participação, tenham aumentado e existam muitos bons exemplos para ilustrar o desenvolvimento sustentável no Brasil e no mundo, o planeta se tornou perigosamente mais insustentável em vários aspectos, como a perda de biodiversidade e as mudanças climáticas, alcançando os limites planetários, que também afetaram as populações mais vulneráveis. Assim, a questão que muitos levantam é: como alcançar a sustentabilidade ambiental com um crescimento econômico razoável que possa levar à redução da pobreza e à inclusão social em todos os níveis (local, nacional e global)? A observação fundamental para responder a essa pergunta é a dificuldade de alcançar o desenvolvimento sustentável devido à falta de instituições capazes de traduzir o conceito de desenvolvimento sustentável para a prática.

Assim, o GEO BRASIL 2025 nos permite avaliar e refletir sobre os avanços realizados na sustentabilidade ambiental e onde precisamos melhorar. A metodologia, DPSIR – Forças motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Resposta, que será apresentada ao final deste capítulo, aprimorada pelo PNUMA nos múltiplos relatórios GEO nos permite esta reflexão de forma mais estruturada. Uma visão combinada por temas e setores, escolhida pelo GEO BRASIL 2025, nos traz uma perspectiva da questão ambiental sob o olhar de várias lentes.

Neste capítulo inicial, seguimos com uma análise dos principais desafios ambientais, suas principais forças motrizes e suas resultantes pressões sobre o meio ambiente. Depois buscamos refletir sobre como nossas instituições em nível federal tem respondido a esses desafios. Ao final, apresentamos a metodologia DPSIR e a estrutura do relatório.

Desafios das Questões Ambientais no Brasil

A pauta de desafios que se apresentam ao regramento do meio ambiente no Brasil é ampla e reflete, por um lado, as próprias características país e, por outro lado, o contexto internacional. Dentre os fatores internos, merece destaque, dentre outros:

- a perda de biodiversidade pelo desmatamento e as queimadas em biomas de grande valor pelos serviços ecossistêmicos que representam;
- o crescimento populacional e seus efeitos sobre a expansão desordenada das cidades e a ocupação de áreas de fronteira das atividades agropecuárias e extrativas;
- práticas produtivas com uso de tecnologias que afetam a qualidade do solo;
- a degradação dos recursos hídricos e os conflitos referentes ao seu uso;
- a crescente produção de resíduos sólidos e sua coleta, disposição e tratamento;
- o saneamento e suas interfaces com a saúde; e
- os conflitos entre a instalação de infraestrutura (como transporte e energia), e seus impactos socioambientais.

Um tema que adquiriu crescente importância nos últimos 20 anos é o das mudanças climáticas. Por ser um desafio que tem implicações sobre a integridade de todo o Planeta, o clima tem sido objeto de uma miríade de protocolos diplomáticos e de condicionalidades no comércio internacional. As mudanças climáticas, cujos efeitos já são claramente percebidos, representam uma espécie de síntese do conjunto dos desafios ambientais. Ações humanas, como a expansão das áreas de uso agropecuário e das cidades sobre as florestas, a má disposição dos resíduos, a geração de energia mediante queima de combustíveis fósseis, dentre outras, podem ser medidas em emissões de gases de efeito estufa – GEF, que provocam efeitos disruptivos na dinâmica do clima.

O Brasil vem registrando, nos últimos anos, intensos e recorrentes eventos climáticos extremos, que provocaram perdas humanas e materiais preocupantes. As intensas chuvas no Rio Grande do Sul, em 2024; a enchente e

os deslizamentos na região serrana do estado do Rio de Janeiro (2011); as enchentes e secas recorrentes na Amazônia, são exemplos eloquentes.

Globalização

O processo de globalização, que marcou a economia mundial a partir do final dos anos 1970, teve implicações relevantes sobre o meio ambiente. Por um lado, houve uma intensificação do comércio internacional, paralelamente ao aumento geral da demanda por bens e serviços, que se seguiu ao crescimento demográfico ao aumento do nível de renda. Isso fez com que países como o Brasil intensificassem processos de mudanças no uso do solo, com a expansão de áreas de produção do agronegócio. Por outro lado, a própria dinâmica desse comércio serviu de esteio à adoção de práticas produtivas compatíveis com exigências do mercado comprador e por protocolos ambientais e normas sanitárias internacionais.

O Brasil é hoje o maior exportador mundial de *commodities* do agro, com destaque para soja, carne bovina, açúcar, café, carne de frango, celulose e suco de laranja, produtos em que o país é um dos principais exportadores. Além disso, exporta também grandes valores em minerais e derivados de petróleo.

Vale acrescentar que a crescente dependência da economia brasileira em relação ao agronegócio e à extração mineral representa um fator de pressão de lobbies econômicos sobre as políticas e os instrumentos de gestão ambiental. Um exemplo é a Lei Geral do Licenciamento Ambiental, recentemente aprovada pelo Congresso Nacional, que representa uma mudança no marco normativo sobre meio ambiente que pode aumentar a degradação ambiental.

Dinâmica Populacional

Um traço em comum entre os estudos científicos que lançaram advertência sobre os riscos ambientais das sociedades contemporâneas, desde os anos 1960, é o crescimento populacional. E essa é uma questão que se manifesta nos mais diferentes contextos geográficos e de graus de desenvolvimento dos países. A era

industrial, nos últimos dois séculos, é também uma era de explosão demográfica e de concentração de populações em cidades.

O Brasil não foge a esse padrão. Dados censitários referentes às últimas décadas apontam que o Brasil passou de cerca de 52 milhões de habitantes, em 1950, a 211 milhões em 2023, um aumento de 4 vezes. Desde os anos 1960 a população urbana passou a ser maior do que a rural. Atualmente, apenas 13% dos brasileiros vivem no meio rural; uma grande mudança, comparativamente aos cerca de dois terços, de 1950.

Maiores contingentes populacionais representam maior demanda por alimentos, energia e matérias primas, em geral. Maior nível de renda representa melhor nível de bem-estar, mas também um maior nível de produção e consumo per capita. Os impactos sobre o meio natural são uma consequência inevitável: florestas convertidas em áreas de produção agropecuária, extração mineral, poluição, lixo, degradação dos recursos hídricos e níveis alarmantes de emissões de gases de efeito estufa.

Crescimento das cidades

As cidades brasileiras cresceram de forma desordenada. Diante da ausência de políticas habitacionais e de planejamento urbano efetivas, uma boa parte da população passou a morar em áreas inapropriadas ou de risco, com pouco acesso a serviços públicos essenciais, como saneamento. Favelas ocuparam encostas, com alto risco de deslizamentos, e fundos de várzea, suscetíveis a enchentes. De acordo com o Censo Demográfico, o Brasil possuía, em 2022, 12.348 favelas e comunidades com habitações subnormais, onde vivia 8.1% da população do país. Em algumas cidades, como Belém, no Pará, mais da metade dos moradores vivem em favelas ou em condições assemelhadas (55,49%).

Ainda de acordo com o censo, 62,5% da população do Brasil vive em residências não servidas por redes de esgoto. Quase 10% dos brasileiros não têm acesso à coleta de lixo, e apenas 15% são servidos por coleta seletiva. Vale assinalar que o país conta com uma legislação (a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei 12.305, de 02/08/2010) que estabeleceu prazos para o encerramento dos lixões a céu aberto.

Segundo a PNRS, até agosto de 2023, os municípios com população superior a 50.001 habitantes deveriam contar com locais para disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e acabar com os lixões. Entretanto, 21,5% desses municípios ainda contava com lixões como unidade de disposição final dos resíduos sólidos (IBGE, 2025).

Em termos geográficos, há uma grande diferença entre as diferentes regiões quanto à disponibilidade de serviços de coleta e tratamento adequado dos resíduos sólidos. Os lixões ainda eram utilizados em 73,8% dos municípios na Região Norte, 51,6% no Nordeste, 52,9% no Centro-Oeste, 12,1% no Sudeste e 5,7% no Sul.

Migrações internas

O crescimento das cidades é o reflexo de um duplo movimento: o êxodo rural e o aumento da taxa de natalidade. Embora nos últimos anos ambos os movimentos tenham apresentado uma relativa redução, vale assinalar que a distribuição da população no território nacional caracteriza atualmente um panorama bem diverso do verificado, por exemplo, nos anos 1950. Se, há 70 anos, os fluxos migratórios levavam a uma concentração nas grandes metrópoles, como São Paulo (um polo industrial) e Rio de Janeiro (um polo de serviços), a partir dos anos 1970 passou a haver um intenso povoamento de áreas de fronteira de ocupação econômica, notadamente nos biomas Cerrado e Amazônia. Tal movimento, que é causa e consequência do avanço da agropecuária, em geral, e do agronegócio, em particular, levou a uma grande expansão das cidades naqueles territórios, juntamente com uma grande conversão de áreas de floresta em terras de pastagem ou de cultivo, valendo-se do desmatamento e de queimadas.

Um efeito colateral das migrações internas é o aumento da pressão sobre a infraestrutura disponível nos locais de destino. O caso de Rondônia reflete esse problema. Segundo dados censitários, Rondônia tinha, em 1970, uma população de 116.620 habitantes.

Quinze anos depois, em 1985, esse número já era cerca de 500 mil. No ano 2000, atingiu a marca de 1.377.992, ou seja, um

incremento de mais de 11 vezes, em apenas 30 anos. Esse crescimento se deu em razão de políticas nacionais de colonização, que direcionaram grandes contingentes de agricultores das diferentes regiões do país, para assentamentos rurais em Rondônia. Em paralelo, os núcleos urbanos também tiveram grande expansão, de forma desordenada. O déficit de infraestrutura logo se tornou uma característica marcante. Visto de maneira integrada, no contexto nacional, essa redistribuição de população representou também uma redução da pressão sobre os serviços urbanos básicos nos locais de origem das migrações. O ônus passou a ser dos municípios de destino, que não receberam compensações suficientes em investimentos públicos em itens como saneamento, habitação ou serviços de saúde.

Um outro efeito colateral da ocupação de novas áreas fronteira agropecuária é o aumento da taxa de desmatamento. O caso de Rondônia é também revelador dessa tendência. A área desmatada estimada, em Rondônia, era de 1,76%, em 1978. Em 1999 esse total atingiu 24% (Imazon, 2013).

O momento atual

Passado meio século de vigência de políticas ambientais, o Brasil ingressa no segundo quarto do século XXI com novas características e desafios que devem apontar adaptações do regramento existente. É digno de nota que houve uma redução no ritmo de crescimento demográfico e na taxa de crescimento das cidades. Novas tecnologia já permitem aumento da produtividade no agro, sem necessariamente demandar novas áreas. Por outro lado:

- fatores geopolíticos, como um recrudescimento de práticas protecionistas, tendem a gerar pressões internas para um afrouxamento da legislação ambiental, o que pode provocar efeitos de dumping ambiental (que é quando a garantia da qualidade do meio ambiente deixa de ser considerada como um dos fatores que incidem sobre o preço das mercadorias);
- o negacionismo das mudanças climáticas se tornou bandeira de um crescente e preocupante espectro do mundo político nacional e internacional;

- em países como o EUA, tem havido retrocessos institucionais marcantes sobre o trato dos problemas ambientais, inclusive com limitação ao processo de transição energética e redução da dependência dos combustíveis fósseis; e
- conflitos armados, em diversas partes do mundo, são geradores de insegurança ambiental pelo ser caráter destruidor em geral e por colocar os protocolos ambientais em plano secundário, frente a interesses geopolíticos imediatos.

Nos próximos anos, o Brasil terá de lidar com desafios que demandam políticas e instrumentos de política ambiental robustos, que permitam fazer frente a pressões políticas e econômicas. Se o mercado externo deixa de ser um fator de pressão determinante para a conformidade ambiental das práticas produtivas, o papel da educação deve ser valorizado como contraponto a práticas insustentáveis. A descarbonização da economia depende de consciência e vontade política, mas também de estímulos econômicos. Instrumentos como créditos de carbono, pagamentos por serviços ambientais, redução de emissões por desmatamento e degradação (REDD) e internalização do meio ambiente em outras políticas setoriais, tendem a ser fortes fatores complementares aos dispositivos normativos.

Evolução da política ambiental federal no Brasil

A política ambiental federal brasileira iniciou sua trajetória a partir da década de 1930, sendo influenciada pelos grandes acontecimentos internacionais que marcaram o curso das políticas ambientais em todo o mundo, bem como pela atuação de organismos internacionais e multilaterais (sistema ONU, instituições de financiamento e movimento ambientalista de ONGs).

Nas décadas de 1930 a 1960 o país contava apenas com políticas setoriais que consideravam tangencialmente a questão ambiental, tendo como foco o “controle racional” dos recursos naturais. Nesse período, surgiram as primeiras legislações voltadas para a administração dos recursos naturais: o Código de Águas (Decreto nº 24.643/1934); o Código Florestal (Decreto nº 23.793/1934) e a Lei de Proteção à Fauna

(Lei nº 5.197/1967). Na década de 1960, começam a surgir demandas ambientais da sociedade em função da poluição gerada por atividades produtivas, principalmente a poluição industrial. Na década de 1970, foi criada a primeira instituição a tratar da temática ambiental no nível federal: a Secretaria Especial de Meio Ambiente – Sema, vinculada ao Ministério do Interior. Seguindo o modelo federal, alguns estados, como São Paulo e Rio de Janeiro, começam a criar seus órgãos estaduais de meio ambiente (OEMAs) neste período.

Já na década de 1980, foi estabelecida a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA em 1981 (Lei 6.938/81), a qual trouxe os princípios, diretrizes, instrumentos e atribuições para os diversos entes da federação que atuam na política ambiental nacional e atuam no Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). A PNMA também criou o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). O documento foi considerado inovador para a época, não somente por tratar de um tema ainda pouco discutido, mas por seu caráter descentralizador. Em seguida, destaca-se a inclusão do Capítulo do Meio Ambiente (Art.225) na Constituição Federal de 1988, o qual trouxe avanços significativos na gestão ambiental do País. No mesmo período, houve a reestruturação dos órgãos federais encarregados da gestão ambiental por meio do programa “Nossa Natureza”, com a criação, em 1989, do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama (órgão executor do Sisnama) e do Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA (Moura, 2016).

O Governo Federal inicia, em 1991, o Programa Nacional de Meio Ambiente – PNMA, como o primeiro grande investimento (com empréstimo do Banco Mundial) para estruturação da área ambiental no país. Em 1992, com a extinção da Secretaria de Meio Ambiente da Presidência da República – SEMAM/PR, cria-se o Ministério do Meio Ambiente (MMA), tendo em vista que a questão ambiental ficou em alta no país com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD/Rio-92) no Rio de Janeiro, a qual resultou, entre outros documentos, no estabelecimento da Convenção Quadro de Mudanças Climáticas, na Convenção da

Diversidade Biológica e na Agenda 21. Dentre os marcos legais no Brasil, destacam-se a criação do Programa de Controle de Emissão de Poluentes por Veículos Automotores - Proconve (Lei 8.723/1993), a Lei dos Organismos Geneticamente Modificados - OGM (Lei 8.974/1995), a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997), a Lei de crimes ambientais (Lei 9.605/1998) e a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei 9.795/1999).

Já nos anos 2000 a 2015, dentre os fatos históricos estão a realização pela ONU da Conferência Ambiental Rio +10 na África do Sul em 2002 e da Conferência Rio + 20 no Brasil, em 2012. No plano institucional, foi criada, em 2000, a Agência Nacional de Águas, autarquia federal vinculada ao MMA, atualmente vinculada ao MIDR (Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional), com o objetivo de implementar a PNRH; em 2002 foi lançada a Agenda 21 brasileira; em 2006 é criado o Serviço Florestal Brasileiro – SFB e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal – FNDF; em 2007, cria-se o Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade – ICMBio – autarquia vinculada ao MMA, com o objetivo de gerenciar o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e implementar a política nacional de proteção à biodiversidade.

Diversas legislações importantes são estabelecidas no período 2000 a 2015, dentre as quais se destacam às relativas ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (Lei 9.985/2000); Gestão de florestas públicas para a produção sustentável (Lei 11.284/2006); Lei da Mata Atlântica (Lei 11.428/2006); Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Lei 12.114/2009); Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/2010); Lei de proteção da vegetação nativa (Lei 12.651/2012) – que revogou o antigo Código Florestal; Política Nacional de Combate à Desertificação (Lei 13.153/2015) e Lei da Biodiversidade - Acesso ao Patrimônio Genético e Repartição de Benefícios (Lei nº 13.123/2015).

Entre 2016 e 2025, no contexto internacional realiza-se, em 2015, a Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, com o estabelecimento da Agenda 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS. O Acordo de Paris sobre mudança do clima é ratificado e inicia sua implementação em 2016. Em 2017, UNESCO estabelece o período de 2021 a 2030 como Década do Oceano. Cria-se o Fundo de Perdas e Danos na COP 27 de mudanças climáticas, em 2022.

No Brasil, foi instituída a Agenda Transversal Meio Ambiente no Plano Plurianual 2024-2027, a fim de dar transparência às ações do Governo Federal à temática, com acompanhamento das ações correspondentes no orçamento. O país também sedia a COP 30 de Mudanças Climáticas, em Belém.

Do ponto de vista legal, destaca-se o estabelecimento da Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio (13.576/2017), do Marco Legal do Saneamento (14.026/2020) e da Lei da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei nº 14.119/2021), que cria o Sistema Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (SINPSA), estabelecendo mecanismos para remunerar proprietários rurais que conservam áreas de interesse ambiental. Cria-se, também, a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (14.9044/2024), a Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei 14.850/2024), o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SBCE (Lei 15.042/2024), o Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos - Para (Decreto 12.538/2025) e a Lei geral sobre o Licenciamento Ambiental (Lei 15.190/2025)

O Quadro 1 sintetiza importantes marcos institucionais e legais, bem como fatos que marcam o contexto histórico (principalmente eventos internacionais) que influenciaram a evolução da política ambiental brasileira no período de 1930 a 2025.

Quadro 1.1 - Evolução da política ambiental brasileira: eventos históricos, marcos institucionais e legais (1930 a 2025)

Décadas de 1930 a 1960

Eventos históricos

O foco das iniciativas ambientais era o controle da exploração dos recursos naturais. Surgem demandas da sociedade para atuação do poder público no controle da poluição. Inicia-se a política de estabelecer áreas ambientalmente protegidas.

Marcos institucionais

- Criado, em 1967, o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF)

Marcos legais

- Código de Águas (Decreto nº 24.643/1934); Código Florestal (Lei nº 4.771/1965¹); Lei de proteção à Fauna (Lei nº 5.197/1967).

Década de 1970

Eventos históricos

Em 1972 é publicado o relatório "Limites do Crescimento" (Clube de Roma/MIT) e realizada a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano (Conferência de Estocolmo)

Marcos institucionais

- Criada, em 1973 a Secretaria Especial de Meio Ambiente – Sema.
- Começam a ser criados os primeiros órgãos estaduais de meio ambiente (OEMAs).

Marcos legais

- Lei de proteção ao solo (Lei 6.225/1975); Lei de controle à poluição industrial (Decreto-Lei 1.413/1975); Lei de proteção a danos nucleares (Lei 6.453/1977)

Década de 1980

Eventos históricos

Realização pelo PNUMA, em 1987, do relatório Nosso Futuro Comum (Relatório Brundtland), que estabeleceu o conceito de desenvolvimento sustentável.

Marcos institucionais

Criado, em 1985, o Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, com a função de definir políticas e coordenar as atividades governamentais na área ambiental

Marcos legais

- Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA (Lei 6.938/1981²); Disciplina a ação civil pública por danos ao meio ambiente (Lei 7.347/1985); Lei de Agrotóxicos (Lei 7.802/1989)
- Inclusão do Capítulo do Meio Ambiente (art.225) na Constituição Federal de 1988.

Década de 1990

Eventos históricos

Brasil sedia a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMAD/Rio 92. Em 1995 é realizada a primeira conferência das partes (COP) sobre mudança do clima, em Berlim.

Marcos institucionais

- Criada a Secretaria de Meio Ambiente da Presidência da República – SEMAM/PR em 1990.
- Criado o Ministério do Meio Ambiente – MMA, em 1992, com extinção da SEMAM/PR.

Marcos legais

- Programa de controle de emissão de poluentes por veículos automotores (Lei 8.723/1993); Normas para a engenharia genética e Organismos Geneticamente Modificados - OGM (Lei 8.974/1995); Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997); Lei de crimes ambientais (Lei 9.605/1998); Política Nacional de Educação Ambiental (Lei 9.795/1999)

Década de 2000 a 2015

Eventos históricos

Em 2000 é realizada a Declaração do Milênio e a proposição dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) pela ONU. Realizada pela ONU, em 2002, a Conferência Ambiental Rio +10 na África do Sul que resulta na Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável. Realizada pela ONU, em 2012, a Conferência Rio + 20 no Brasil. Estabelecimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS pela ONU, em 2015.

Marcos institucionais

Criada, em 2000, a Agência Nacional de Águas Criado, em 2007, o Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade - ICMBio

Marcos legais

Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza SNUC (Lei 9.985/2000); Normas de segurança sobre OGMs e Política Nacional de Biossegurança - PNB; Gestão de florestas públicas para a produção sustentável e criação do Serviço Florestal Brasileiro - SFB e do Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF (Lei 11.284/2006); Lei da Mata Atlântica (Lei 11.428/2006); Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC (Lei 12.114/2009); Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei 12.305/2010); Lei de proteção da vegetação nativa (Lei 12.651/2012) - revogou o antigo Código Florestal; Política Nacional de Combate à Desertificação (Lei 13.153/2015); Lei da Biodiversidade - Acesso ao Patrimônio Genético e Repartição de Benefícios (Lei nº 13.123/2015).

¹A Lei nº 4.771/1965 foi revogada expressamente e substituída pela Lei nº 12.651/2012.

²Regulamentada pelo Decreto nº 99.274/1990.

³Para mais detalhes sobre a metodologia empregada, ver: Moura, A. M. M., et al. (2017). Gastos ambientais no Brasil: Proposta metodológica para aplicação no orçamento federal (Texto para Discussão nº 2354). Rio de Janeiro: Ipea.

Quadro 1.1 - Evolução da política ambiental brasileira: eventos históricos, marcos institucionais e legais (1930 a 2025)

Período 2016 a 2025

Eventos históricos

Ratificação do Acordo de Paris sobre mudança do clima e início da sua implementação em 2016.
Em 2017, UNESCO estabelece o período de 2021 a 2030 como Década do Oceano.
Criado o Fundo de Perdas e Danos na COP 27 de mudanças climáticas, em 2022.
O Brasil sedia a COP 30 de Mudanças Climáticas em Belém.

Marcos institucionais

- Criada a Agenda Ambiental Transversal no PPA 2024-2027.
- A partir de 2023 o MMA passa a se chamar Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, indicando a ênfase dada à temática.

Marcos legais

- Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio (13.576/2017)
- Marco Legal do Saneamento (14.026/2020)
- Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei nº 14.119/2021)
- Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (14.9044/2024)
- Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei 14.850/2024)
- Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SBCE (Lei 15.042/2024)
- Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos - Para (Decreto 12.538/2025)
- Lei geral sobre o Licenciamento Ambiental (Lei 15.190/2025)

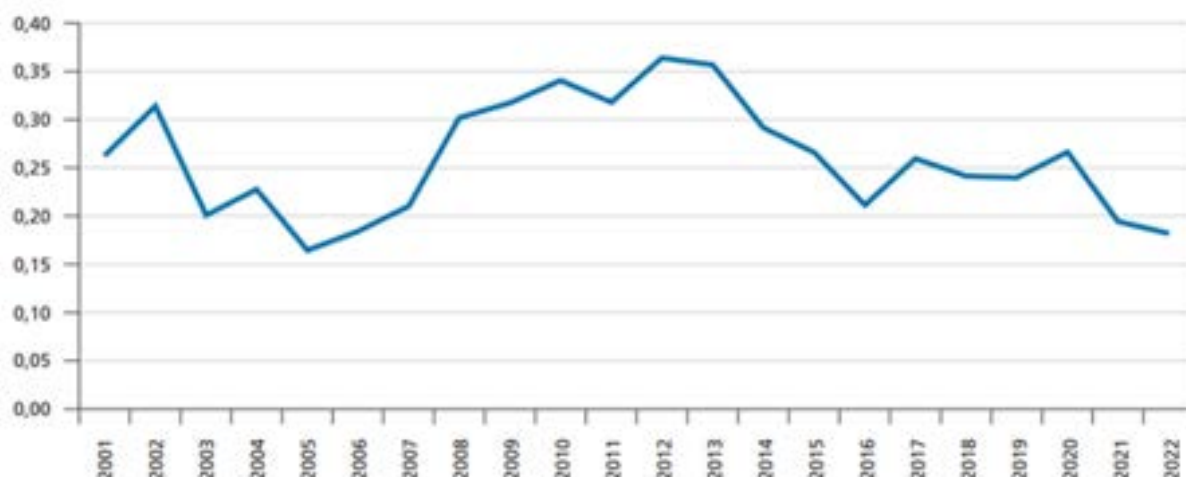
Fonte: Elaboração da autora, com base na legislação consultada.

O Sistema Nacional do Meio Ambiente e a coordenação vertical da política ambiental brasileira

O Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) representa um marco institucional da governança ambiental no Brasil, sendo formado pelas instituições da União, Estados e Municípios que atuam na área ambiental. O Sisnama tem como principais objetivos promover a cooperação entre os entes federativos e contribuir para a construção de capacidades estatais, em seus diversos níveis, para a gestão ambiental. Busca-se, por meio desse arranjo institucional, a atuação integrada e articulada entre os entes, tendo em vista o objetivo compartilhado de garantir um meio ambiente “ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida” (CF, Art. 125).

Contudo, mesmo tendo sido instituído há mais de quatro décadas, o Sisnama ainda enfrenta desafios em relação a dois importantes pontos do que se poderia chamar de sua “missão”, por se constituírem em pilares de sua estrutura organizacional: i) a promoção da cooperação entre os entes federativos; e ii) a construção de capacidades estatais para a gestão ambiental. As fragilidades nas capacidades estatais no Sisnama decorrem, em grande medida, devido a carências de recursos financeiros e orçamentários. No nível federal, pesquisa do Ipea¹ mostra que o gasto ambiental no orçamento federal da União (compreendendo os gastos de todas as pastas ministeriais e não apenas do MMA) foi, em média, de apenas 0,26%, no período 2001 a 2022 (Viana, 2024), conforme o Figura 1.1.

Figura 1.1 - Gastos em meio ambiente do Governo Federal (2001-2022)
(Em % do gasto total do orçamento federal)



Fonte: Viana, 2024.

Insuficiente estrutura administrativa, além de escassos recursos humanos e sua baixa capacitação também têm sido apontados como fator explicativo de fragilidades na estrutura organizativa da atuação estatal em meio ambiente. A carência de um corpo burocrático qualificado e estável se reflete em deficiências administrativas e técnicas e em falhas na provisão de serviços aos cidadãos.

Os dados mais recentes disponíveis da Pesquisa de Informações Básicas Estaduais (ESTADIC), ano-base 2020, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam fragilidades e uma grande assimetria na capacidade de gestão dos entes federativos. Por exemplo, apenas 17 das 27 Unidades da Federação dispunham, em 2020, de secretaria exclusiva de meio ambiente; 8 dividiam a gestão ambiental com outras políticas setoriais e 2 contavam com órgãos da administração indireta para executar ações ambientais. Apenas 17 Estados também contavam com órgão estadual para produzir estatísticas sobre meio ambiente. Já no aspecto do financiamento, houve avanços em 2020 em relação a anos anteriores da ESTADIC: cerca de 90% dos Estados possuíam destinação de recursos financeiros para o meio ambiente em seus orçamentos, 93% possuíam Fundo Estadual de Meio Ambiente e 67% dispunham de legislação sobre ICMS Ecológico.

No nível municipal, a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) do IBGE indica que os municípios ainda se constituem em um elo frágil no desenho institucional do Sisnama, tendo em vista que as responsabilidades administrativas que cabem aos municípios são complexas face à escassez de recursos financeiros e estruturas técnicas e operacionais deficientes para suas diversas atribuições. Por exemplo, em 2020, cerca de 30% dos 4.211 municípios respondentes informaram não dispor de infraestrutura física para a gestão ambiental (sala, computador, internet, veículos), enquanto apenas 47,2% afirmaram dispor de recursos específicos para ações na área de meio ambiente. A situação se mostrou mais precária nos municípios localizados nos estados do Norte e Nordeste do país. Já em relação ao financiamento, cerca de 60% dos municípios possuíam Fundo Municipal de Meio Ambiente, embora uma boa parte esteja pouco operacional, já que, destes, apenas

45% destinaram recursos dos seus fundos ações ambientais no ano 2019.

Outro ponto no qual o Sisnama precisa avançar e fortalecer sua atuação refere-se à cooperação entre os entes federativos, tendo em vista uma atuação integrada na busca de soluções efetivas para os problemas comuns – o que pressupõe tanto a cooperação vertical (entre diferentes níveis governamentais), quanto horizontal (com governos de mesmo nível). A LC Nº 140/2013 traz alguns instrumentos de cooperação para os entes federativos em matéria ambiental, entre os quais os consórcios públicos e as comissões Tripartite Nacional (CTN), Tripartites Estaduais e Bipartite do Distrito Federal.

A Comissão Tripartite Nacional é composta por 3 representantes de cada esfera (União, Estados e DF e municípios), enquanto as estaduais são compostas por representantes do governo federal (normalmente representado pelo Ibama), dos Estados e municípios. Os registros das reuniões disponíveis no sítio do MMA, realizadas entre 2001 e 2024, mostram que nem sempre estas foram realizadas trimestralmente e que houve ausência de reuniões em alguns anos, indicando períodos de interrupção das reuniões⁴. As reuniões foram retomadas com maior regularidade a partir de 2023 e se constituem em um espaço importante para discussão da agenda ambiental brasileira. Além das reuniões realizadas, foram criados alguns Grupos de Trabalho (GTs) para tratar de temas específicos ao longo dos anos, indicando temas considerados como prioritários em determinados períodos para uma gestão tripartite nacional.

Outro instrumento de cooperação previsto para os estados e municípios são os consórcios – regidos pela Lei no 11.107/2005 – podendo ser firmados por meio de convênios, acordos de cooperação técnica e instrumentos similares. Estudos indicam que a cooperação intermunicipal por meio de consórcios tem sido uma alternativa cuja busca tem crescido, na tentativa de somar recursos e esforços em relação a objetivos comuns, diante da incapacidade de muitos municípios executarem isoladamente as obrigações previstas na PNMA (Santos et al, 2022; CNM, 2023).

Apesar dos instrumentos de cooperação disponíveis, percebe-se que, na prática, a cooperação entre os entes ainda não se

⁴Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/secex/dsisnama/comissoes-tripartites/reunioes-das-comissoes-tripartites>.

desenvolveu plenamente em relação à gestão ambiental. Não se pode ignorar que, enquanto os benefícios potenciais de colaboração oferecem claros incentivos para situações nas quais as partes envolvidas ganham conjuntamente, há maiores obstáculos para a colaboração emergir em cenários onde há conflitos e dilemas, onde um grupo de atores ganha enquanto para outro pode incorrer em custos (Heikkila e Gerlak, 2005) e que as Unidades da Federação competem entre si por recursos.

Deve-se considerar, ainda, que o Sisnama se insere em um contexto maior, de um complexo sistema socioeconômico, no qual o Desenvolvimento Sustentável só pode ser alcançado se as considerações ambientais se tornarem um componente intrínseco das metas, estratégias e procedimentos de tomada de decisão das principais políticas públicas. Ou seja, por meio da responsabilidade compartilhada pela proteção ao meio ambiente por todos os setores econômicos e distintos níveis de governo.

Instrumentos de gestão da política ambiental brasileira

O Brasil dispõe de diversos instrumentos voltados à implementação da política ambiental, incluindo: (1) instrumentos regulatórios ou de comando e controle; (2) instrumentos econômicos; (3) instrumentos de cooperação e acordos voluntários e os (4) instrumentos de informação. O arsenal de instrumentos disponíveis é bastante rico, e inclui licenças, taxas, subsídios, estabelecimento de padrões, acordos voluntários, sistemas de informação e zoneamentos, dentre outros (Moura, 2016).

Além dos instrumentos previstos na PNMA existem diversos instrumentos, distribuídos nas principais legislações ambientais brasileiras, voltados a atingir objetivos específicos previstos nestas legislações.

A PNMA (Lei 6.938/81) abrange um conjunto de treze instrumentos de diferentes tipos – tais como os de comando e controle, de informação e os econômicos (Quadro 1.2). Estes últimos foram acrescentados à lei mais recentemente, a partir de 2006, no intuito de incentivar a internalização dos custos ambientais das externalidades causadas ao meio ambiente, bem como regular o uso dos recursos naturais. Cada um dos instrumentos da PNMA se encontra em diferentes níveis de implantação – alguns mais avançados e outros ainda incipientes, visto que nem todos contam, ainda, com regulamentação detalhada ou meios adequados para sua implementação.

Quadro 1.2 - Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente

Estabelecimento de padrões de qualidade ambiental

Os padrões de qualidade ambiental são estabelecidos principalmente por meio de Resoluções do Conama, que definem parâmetros técnicos de qualidade ambiental a partir de processos técnicos de discussão – tais como padrões para qualidade do meio ambiente (das águas, do ar, dos solos e dos níveis de ruídos) e padrões de emissões de poluentes atmosféricos e de lançamento de efluentes em corpos hídricos. Geralmente são criados programas ambientais visando ao atendimento dos padrões, como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve.

Zoneamento ambiental

O instrumento visa promover o planejamento e ordenamento territorial, tendo sido regulamentado como Zoneamento Ecológico Econômico - ZEE por meio do Decreto Nº 4.297/2002. O novo Código Florestal (lei federal nº 12.651/2012) estabelece um prazo de cinco anos (art. 13, §2º) para que todos os Estados elaborem e aproveem seus ZEEs, segundo metodologia unificada, estabelecida em norma federal.

O ZEE nacional iniciou-se pela elaboração do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal (Decreto nº 7.378/2010). Foi concluído em 2018 o Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF). Em 2022 o MMA calculou que a área total com diretrizes de uso e ocupação em bases sustentáveis, definidas a partir de iniciativas estaduais ou regionais de ZEE concluídas, correspondia a 94,13% do território nacional⁵.

O ZEE é um instrumento dinâmico, que se baseia em um diagnóstico prévio detalhado da área a ser zoneada. Estes diagnósticos, a depender da escala empregada, levam tempo e necessitam ser atualizados e revisados periodicamente, o que torna a tarefa complexa e custosa. Apesar de a legislação prever que o ZEE deve ser obrigatoriamente seguido pelos agentes públicos e privados na implantação de planos, programas, projetos e atividades (Art. 2º Decreto Federal Nº 4.297/2002), na prática, persistem dificuldades na implementação do instrumento, pois este não pode ser aplicado de forma automática, mesmo quando instituído por lei, de modo que seu uso para a tomada de decisão ainda é limitado.

Avaliação de impactos ambientais

A avaliação ambiental abrange um conjunto de ferramentas de caráter preventivo, de auxílio à tomada de decisão por parte do poder público, tais como:

- Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) - associada ao licenciamento ambiental e aplicada a empreendimentos e atividades;
- Avaliação Ambiental Estratégica – AAE (voltada para avaliação de políticas, planos e programas);
- Análise de Ciclo de Vida - ACV(para produtos), prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010, Art. 3º, inciso IV).
- Auditoria Ambiental - AA (voltada para conformidade ambiental das operações de uma empresa ou organização) e, ainda, a avaliação da capacidade de suporte ambiental.

Licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras

O licenciamento ambiental é um dos principais instrumentos de caráter preventivo e corretivo (comando e controle) da política ambiental brasileira que visa assegurar que a atividade econômica realiza suas atividades sem causar prejuízos ao meio ambiente.

Após décadas de discussão no Congresso Nacional, recentemente, foi aprovada a Lei Geral sobre Licenciamento Ambiental, Lei Nº 15.190/2025, que regulamenta o instrumento.

A aprovação da LC nº 140/2011 buscou contribuir para minimizar os frequentes conflitos de competência (federal, estadual e municipal) que vinham ocorrendo na aplicação do instrumento.

⁵Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/gestao-ambiental-territorial>. Consultado em 06/06/2025.

Quadro 1.2 - Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente

O instrumento, aplicado no nível federal pelo Ibama e no nível estadual pelos OEMAs, também pode ser descentralizado para municípios que demonstrem capacidade técnica e administrativa para aplicá-lo. O instrumento ainda enfrenta desafios em relação a dificuldades no acompanhamento pós-licença e quanto à falta de padronização dos procedimentos entre os entes federativos, além de deficiências de participação social no processo decisório.

Incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia voltados para a melhoria da qualidade ambiental

Este instrumento da PNMA visa incentivar a adoção de tecnologias mais limpas e apropriadas no processo produtivo, que previnam a poluição e a degradação ambiental. Algumas políticas têm sido formuladas no intuito de incentivar a adoção de tecnologias mais limpas, tais como o Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – Proconve, que vem alcançando resultados efetivos na redução de emissão de poluentes em veículos e o selo Procel, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, que vem alcançando resultados significativos ao incentivar a adoção de tecnologias de maior eficiência no uso energético.

Criação de espaços territoriais especialmente protegidos

A Lei nº 9.985/2000 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, estabelecendo critérios para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação (UCs). O Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (Decreto no 5.758/2006) também definiu como áreas protegidas as terras indígenas e as terras de quilombo. Existem, ainda, outros tipos de áreas com proteção especial, tais como: as áreas de preservação permanente (APPs) e as reservas legais (instituídas pelo Código Florestal). Na esfera institucional, o governo federal criou o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio exclusivamente para tratar da gestão das UCs. O país tem avançado no estabelecimento de áreas protegidas – até o momento foram criadas 3.185 UCs de proteção integral e de uso sustentável nas esferas federal, estadual e municipal. Estas UCs que abrangem a uma área significativa, de cerca de 18% de área territorial e 26,4% de biomas marinhos⁶.

Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente – SINIMA

O Sinima busca a integração e compartilhamento de informações entre os integrantes do Sisnama, com o objetivo de coletar, armazenar, processar e divulgar informações ambientais e dar suporte ao planejamento e monitoramento das questões ambientais. A partir da década de 1990, o Ibama buscou operacionalizar este instrumento por meio da criação do Centro Nacional de Informação Ambiental – CNIA, hoje chamado de Centro Nacional de Monitoramento e Informações Ambientais (Cenima), tendo organizado uma biblioteca central que disponibiliza ao público em geral informações técnico-ambientais em formatos diversos. O MMA desenvolveu alguns sistemas de informação sobre temas específicos, tais como: licenciamento ambiental e Unidades de Conservação. Busca-se, agora, avançar na integração e compartilhamento de informações ambientais disponíveis em bancos de dados estaduais e federais.

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental

O CTF/AIDA foi regulamentado pela IN/Ibama Nº 10/2013. A finalidade do cadastro é a identificação, com caráter obrigatório, de pessoas físicas e jurídicas que se dediquem à consultoria técnica sobre problemas ecológicos e ambientais e à indústria e comércio de equipamentos, aparelhos e instrumentos destinados ao controle de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras⁷.

⁶Disponível em: <https://cnuc.mma.gov.br/powerbi>. Consultado em 28/08/2025.

⁷Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/cadastros/ctf/ctf-aida>. Consultado em 27/08/2025.

Quadro 1.2 - Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente

Penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental

A Lei de Crimes Ambientais, Nº 9.605/98, trata da responsabilidade pelo dano ambiental, dispondo sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (regulamentada pelo Decreto No 6.514/2008). Além disso, a Lei 7.347/1985 regulamenta a ação civil pública de responsabilidade por danos ambientais, que permite ao Ministério Público e a outros órgãos públicos a abertura de processos civis. A efetividade na aplicação da lei depende da eficiência das ações de fiscalização dos entes do Sisnama, as quais tem avançado com o apoio de sistemas mais modernos de monitoramento por sensoriamento remoto.

Relatório de Qualidade do Meio Ambiente - RQMA

O RQMA deve ser publicado anualmente pelo Ibama (conforme a Lei nº 7.804/ 1989), com informações consolidadas sobre o estado da qualidade ambiental no Brasil, tendo como público-alvo os integrantes do Sisnama, bem como a sociedade em geral. O relatório visa dar suporte técnico-científico ao processo de avaliação e tomada de decisões para a formulação de políticas públicas de meio ambiente. Embora a previsão de publicação seja anual, foram publicados apenas 2 RQMAs até o momento, em 2013 e 2020.⁸

Garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes

Houve avanços na criação de instrumentos legais para o exercício do direito à informação ambiental. Em 2003 foi criada a Lei 10.650/2003, que dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sisnama. A lei garante o acesso público aos documentos, expedientes e processos administrativos que tratem de matéria ambiental. A PNMA também foi alterada pela Lei nº 7.804/1989 para incluir o direito à prestação de informação em matéria ambiental como um dos instrumentos da Política. O melhor acesso à informação ambiental passa pelo fortalecimento de todos os instrumentos de informação previstos na PNMA, como o Sinima e o RQMA.

Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais

A inscrição no Cadastro Técnico Federal – CTF é uma obrigação legal para pessoas físicas e jurídicas que desenvolvem atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras de recursos ambientais. O Cadastro visa sistematizar informações acerca dos níveis atuais de poluição e da utilização dos recursos naturais que subsidiarão ações de planejamento, monitoramento e controle, por meio da classificação das atividades de acordo com o potencial de poluição e o grau de utilização de recursos naturais. O Cadastro vem sendo administrado pelo Ibama, com acesso através de sítio na internet. Dentre as atividades obrigadas ao CTF, há algumas sujeitas ao pagamento da Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental – TCFA, instituída no ano 2000.

⁸Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/relatorios/qualidade-ambiental>. Consultado em 28/08/2025.

Quadro 1.2 - Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente

Instrumentos econômicos

O uso dos instrumentos econômicos (IEs) foi introduzido na PNMA (6.938/81) em 2006, por meio da Lei nº 11.284/2006. A PNMA cita a concessão florestal e a servidão ambiental como alguns dos instrumentos econômicos. A concessão florestal é regulamentada pela Lei que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável (Lei n. 11.284/2006). A servidão ambiental é regulamentada pelo novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), permitindo ao proprietário de imóvel limitar o uso de toda a sua propriedade ou de parte dela para preservar, conservar ou recuperar os recursos ambientais existentes. Outros instrumentos econômicos disponíveis no Brasil incluem a cobrança pelo uso da água – instrumento instituído pela Lei 9.433/1997, da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com vistas a estimular o uso racional da água e gerar recursos financeiros para serem investidos na preservação das bacias hidrográficas – e o ICMS Ecológico, implantado em alguns estados que aplicam critérios ambientais para repassar uma parcela do ICMS recolhido para os municípios. Tem sido utilizado principalmente para incentivar a criação e manutenção de áreas protegidas. Destaca-se, mais recentemente, a instituição da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei nº 14.119/2021) e do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SBCE (Lei 15.042/2024).

Fonte: Elaboração da autora, com base na Lei 6.938/81, Art. 9º.

O Quadro 1.3 destaca alguns dos instrumentos previstos em outras importantes legislações ambientais do país: a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Lei Nº 9.433/1997), a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC (Lei Nº 12.187/2009), a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei Nº 12.305/2010), o novo

Código Florestal (Lei Nº 12.651/2012) e a LC Nº 140/2011, que dispõe sobre a cooperação entre os entes federativos na proteção do meio ambiente. Dada a extensão dos instrumentos previstos nestas legislações, foram selecionados apenas instrumentos exemplificativos em cada legislação.

Quadro 1.3 – Instrumentos previstos em diferentes legislações ambientais federais

INSTRUMENTOS	TIPOLOGIA
Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) - Lei Nº 9.433/1997	
Planos de Recursos Hídricos	Instrumento de comando e controle
Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água	Instrumento de comando e controle
Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos	Instrumento de comando e controle
Cobrança pelo uso de recursos hídricos	Instrumento econômico
Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.	Instrumento de informação
Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei Nº 12.305/2010	
Planos de resíduos sólidos	Instrumento de comando e controle
Inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos	Instrumento de informação

Quadro 1.3 – Instrumentos previstos em diferentes legislações ambientais federais

INSTRUMENTOS	TIPOLOGIA
Monitoramento e fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária	Instrumento de comando e controle
Pesquisa científica e tecnológica	Instrumento de informação
Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir) e Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa)	Instrumentos de e informação
Incentivos fiscais, financeiros e creditícios	Instrumento econômico
Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos	Instrumento de comando e controle / Instrumento de informação
Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) - Lei Nº 12.187/2009	
Plano Nacional sobre Mudança do Clima	Instrumento de comando e controle
Fundo Nacional sobre Mudança do Clima	Instrumento econômico
Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima	Instrumento de informação
Medidas fiscais e tributárias destinadas a estimular a redução das emissões	Instrumento econômico
Mecanismos financeiros e econômicos, no âmbito nacional, referentes à mitigação e à adaptação à mudança do clima	Instrumento econômico
Registros, inventários, estimativas, avaliações e quaisquer outros estudos de emissões de gases de efeito estufa e de suas fontes	Instrumento de informação
Avaliação de impactos ambientais sobre o microclima e o macroclima	Instrumento de informação
Novo Código Florestal (dispõe sobre a proteção da vegetação nativa) Lei Nº 12.651/2012	
Área de Preservação Permanente - APP	Instrumento de comando e controle
Reserva Legal	Instrumento de comando e controle
Cadastro Ambiental Rural - CAR	Instrumento de comando e controle / Instrumento de informação

Quadro 1.3 – Instrumentos previstos em diferentes legislações ambientais federais

INSTRUMENTOS	TIPOLOGIA
Cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas de proteção do meio ambiente (Regulamenta o Art. 23 da CF) - LC Nº 140/2011	
Consórcios públicos	Instrumento voluntário e de cooperação
Convênios, acordos de cooperação técnica e outros instrumentos similares com órgãos e entidades do Poder Público,	Instrumento voluntário e de cooperação
Comissão Tripartite Nacional, Comissões Tripartites Estaduais e Comissão Bipartite do Distrito Federal	Instrumento voluntário e de cooperação
Fundos públicos e privados e outros instrumentos econômicos	Instrumento econômico
Delegação de atribuições e da execução de ações administrativas de um ente federativo a outro	Instrumento voluntário e de cooperação

Fonte: Adaptado de Moura, 2016.

Governança ambiental – o desafio da coordenação intersetorial

Como visto, Brasil alcançou importantes conquistas na estruturação da política ambiental e de seus instrumentos. No entanto, como em muitos países, ainda se torna necessário avançar em instrumentos de governança ambiental que permitam maior integração da política ambiental com as políticas setoriais de desenvolvimento (como as de agricultura, energia e indústria, dentre outras), cujo desempenho afeta direta ou indiretamente os resultados possíveis de serem obtidos na política ambiental.

Nesse sentido, mais recentemente, a formulação de políticas integradas tem sido defendida como um princípio norteador para a implementação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, no qual o Brasil tem buscado avançar. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) vem desenvolvendo uma série de estudos, organizados nos Cadernos ODS, além de fóruns de discussão a respeito dos ODS⁹. O Plano Plurianual (PPA) 2024-2027 também buscou estimular a gestão de agendas transversais, entre as quais está a agenda ambiental (Ministério do Planejamento e Orçamento, 2024). Destaca-se, ainda, o Plano de Transformação Ecológica (PTE), conduzido pelo Ministério da Fazenda e voltado para estruturar políticas transversais

entre as diversas pastas ministeriais, com a criação de uma Plataforma Brasil de Investimentos Climáticos e para a Transformação Ecológica – BIP¹⁰.

Neste relatório, teremos a oportunidade de revisitar vários aspectos da política ambiental brasileira, e avaliar sua efetividade usando a perspectiva GEO, com sua metodologia DPSIR. Na próxima seção apresentamos uma breve explicação a respeito da metodologia DPSIR adotada pelos autores em todos os capítulos das partes dois e três deste relatório.

Abordagem conceitual e metodológica do GEO BRASIL 2025

A metodologia do GEO Brasil 2025 é a mesma utilizada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para a elaboração dos GEO globais. Ela consiste na metodologia DPSIR (da sigla em inglês, drivers, pressure, states, impacts and responses) uma metodologia causal que descreve as interações entre sociedade e meio ambiente por meio da identificação das forças motrizes, pressões, estados, impactos e respostas (Figura 1.1.). A metodologia DPSIR foi desenvolvida na década de 1990 pela Agência Europeia do Meio Ambiente (EEA – European Environment Agency) complementando o modelo pressão-estado-resposta desenvolvido pela OECD nas décadas de 1970 e 1980. Ela se caracteriza,

assim, por uma estrutura de análise que pode ser aplicada a qualquer contexto ou área temática e que é capaz de fornecer não apenas uma avaliação da situação atual do meio ambiente como de fornecer subsídios para a elaboração de políticas públicas e tomada de decisões que levem à transformações. A metodologia pode ser relevante, por exemplo, para o aprimoramento de leis, definição de novas políticas e orientações estratégicas do governo e da sociedade.

A seguir esclarecemos o significado de cada uma das partes do modelo e fornecemos exemplos sobre suas possíveis interpretações com base nos capítulos deste relatório:

A)Forças motrizes

As forças motrizes são fatores estruturais que induzem ou impulsionam pressões ambientais. Tendo natureza institucional, conjuntural e/ou socioeconômica tais fatores precedem e dão origem à tais pressões. Alguns exemplos incluem o crescimento populacional, desenvolvimento econômico, políticas públicas, aumento da demanda energética, e outros fatores estruturantes como a dependência brasileira do mercado de commodities baseado em um modelo de desenvolvimento agrícola que explora, de maneira intensiva, os recursos naturais.

B)Pressões

As pressões são ações diretas, atividades ou processos humanos impulsionados pelas forças motrizes. Elas se diferenciam das primeiras por não serem fatores estruturais ou conjunturais, mas contarem com a agência direta de indivíduos. Alguns exemplos são o desmatamento, a emissão de poluentes o uso insustentável de recursos naturais

C)Estados

O estado refere-se à situação ou condição atual dos elementos ambientais afetados pelas pressões. Como exemplos pode-se mencionar a qualidade da água, níveis específicos de emissões, a biodiversidade, entre outros.

D)Impactos

São as consequências associadas às alterações do estado ambiental para a natureza e para a sociedade. Por exemplo, a perda de serviços ecossistêmicos como provisão ou purificação da água, o aumento da incidência de eventos climáticos extremos, a redução da produtividade agrícola, o surgimento de novos riscos à saúde humana, entre outros.

E)Respostas

Por fim as respostas são as ações para reverter, mitigar, ou adaptar-se às tendências negativas caracterizadas pelos impactos ambientais. Elas podem ter a forma de políticas públicas, investimentos em novas tecnologias, iniciativas de restauração ecológica, campanhas educativas, suporte social à grupos mais vulneráveis, etc.

Figura 1.2 - Modelo esquemático da metodologia DPSIR (da sigla em inglês, drivers, pressure, states, impacts and responses).



Fonte: Relatório de Qualidade do Meio Ambiente – RQMA 2020 (IBAMA, 2022).

A Abordagem do GEO BRASIL 2025

A metodologia dos relatórios GEO permite flexibilidade na escolha dos temas e do enfoque, conforme as prioridades de cada país. Optou-se, assim, por organizar o GEO Brasil 2025 em quatro partes. Esta introdução forneceu elementos básicos sobre as motivações, abordagem conceitual e metodológica, e um panorama sobre o que

⁹Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/gestao-ambiental-territorial>. Consultado em 06/06/2025..

¹⁰Plataforma Brasil de Investimentos Climáticos e para a Transformação Ecológica - BIP — Ministério da Fazenda

metodológica, e um panorama sobre o que mudou desde o GEO Brasil 2002 até esta versão atual.

O objetivo desta primeira parte (Parte I) do relatório foi o de situar o debate ambiental brasileiro contextual e historicamente, fornecendo um panorama sobre os principais avanços e desafios das questões ambientais Brasileiras.

Na Parte II, o relatório traz quatro capítulos de análises ambientais com focos mais específico na tríplice crise ambiental planetária, um termo comumente adotado pela Organização das Nações Unidas para se referir a três crises globais e altamente interdependentes que vêm sendo vividas pela humanidade – a crise climática, a perda da biodiversidade e a poluição. Assim, nessa segunda parte, o relatório dedica um capítulo específico à questão das mudanças climáticas, um para a questão da biodiversidade e serviços ecossistêmicos e aborda o tema da poluição por meio de uma análise da gestão da qualidade ambiental e de outra focada em recursos hídricos.

A Parte III do relatório fornece análises temáticas relacionadas à pressões antrópicas específicas, sendo composta por análises dos

setores de agricultura, cidades, energia, indústria e saúde. Tanto a parte dois quanto a parte três do relatório, mantém uma linha analítica comum, tendo sido baseadas na metodologia de análise DPSIR – Forças motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Resposta (conforme descrito na seção anterior) e em quatro perguntas-chave: (1) Qual tem sido a experiência do país até agora no processo de transformação verde deste tema? (políticas públicas, mercados limpos, financiamento); (2) Como a qualidade ambiental afeta de forma diferente os vários grupos da sociedade (justiça ambiental), incluindo os povos indígenas e povos tradicionais? (3) Quais são os desafios que o país enfrenta atualmente para cumprir as metas de melhoria de qualidade ambiental no tema? E por fim, (4) quais são as oportunidades de transformação para melhoria da qualidade ambiental no setor?

Espera-se assim que este segundo Global Report Outlook – GEO Brasil da história, desempenhe um papel crucial em fornecer subsídios científicos às negociações ambientais, contribuindo assim para o enfrentamento dos principais desafios aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

Confederação Nacional dos Municípios (CNM). (2023). **Consórcio público na área de meio ambiente: Possibilidades para atuação eficiente** (47 p.). Brasília: CNM.

https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2023/Livros/2023_LIV_MAMB_Consorcio_Publico_Meio_Ambiente.pdf

Heikkilä, T., & Gerlak, A. K. (2005). The formation of large-scale collaborative resource management institutions: Clarifying the roles of stakeholders, science, and institutions. **Policy Studies Journal**, 33(4), 583–612.

Imazon (2013). **A Amazônia em números**. <https://imazon.org.br/imprensa/a-amazonia-em-numeros/> (Acesso em 30 julho 2025)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2025). **Munic 2023: 31,9% dos municípios brasileiros ainda despejam resíduos sólidos em lixões**. Agência de Notícias IBGE. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41994-munic-2023-31-9-dos-municipios-brasileiros-ainda-despejam-residuos-solidos-em-lixoes>. Acessado em 30 de julho de 2025.

Ministério do Planejamento e Orçamento. (2024, fevereiro). **Relatório: Síntese da importância e do grau de transversalidade da agenda ambiental no PPA 2024-2027** [PDF]. <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/noticias/2024/fevereiro/relatorio-sintetiza-a-importancia-e-o-grau-de-transversalidade-da-agenda-ambiental-no-ppa-2024-2027/agente-transversal-meio-ambiente.pdf> (Acesso em 28/08/2025)

Moura, A. M. M. (2016). Trajetória da política ambiental federal no Brasil: Avanços e desafios. In A. M. M. Moura (Org.), **Governança ambiental no Brasil: Instituições, atores, políticas públicas** (pp. xx–xx). Brasília: Ipea.

Moura, A. M. M. (2016b). Aplicação dos instrumentos de política ambiental no Brasil: Avanços e desafios. In A. M. M. Moura (Org.), **Governança ambiental no Brasil: Instituições, atores, políticas públicas** (pp. xx–xx). Brasília: Ipea.

Santos, J. G., Silva, A. L. N., Melo, C. M. O., & Melo, Y. M. (2022). Cooperação intermunicipal na Política Nacional de Meio Ambiente: As capacidades estatais importam? **Revista de Administração Pública**, 56(6), 745–771.

2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

A CRISE CLIMÁTICA NO BRASIL: TENDÊNCIAS, DESAFIOS E CAMINHOS EMERGENTES

Autores: Carlos A. Nobre¹, Julia Arieira², Luiza Muccillo³, Diego Oliveira Brandão², Eduardo Assad⁴

¹Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Estudos Avançados, São Paulo, 05508-050, Brasil; Copresidente do Painel Científico para a Amazônia (SPA).

²Painel Científico para a Amazônia (SPA), Sustainable Development Solutions Network (SDSN), São José dos Campos, 12245-010, Brasil

³Earth Innovation Institute (EII), 2991 Sacramento Street, #509, Berkeley, CA 94702

⁴Fundação Getúlio Vargas FGVAgro- Observatório da Bioeconomia Av. Paulista, 542-3º Andar Bela Vista São Paulo CEP 01310-000

Sumário Executivo

Avaliação das mudanças climáticas no Brasil

Nos últimos 25 anos, o aquecimento global se intensificou de forma sem precedentes, impulsionado por decisões que mantêm crescente emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) pela queima de combustíveis fósseis, destruição de ecossistemas e por atividades agropecuárias. Como sexto maior emissor de GEE e guardião das maiores florestas tropicais, o Brasil tem papel central na mitigação e adaptação climática. Entre o segundo semestre de 2023 e abril de 2025, a temperatura média global ultrapassou o limite crítico de 1,5°C acima do período pré-industrial (1850–1900). Em 2022, as emissões globais ultrapassaram 50 GtCO₂, sendo 76% provenientes do setor de energia, especialmente em países industrializados como China e Estados Unidos, enquanto os usos da terra (desmatamento e agropecuária) responderam por 21% das emissões. Em 2022, 70% das emissões do Brasil tiveram origem no desmatamento e agropecuária, sendo 39,5% desmatamento e 30,5% agropecuária.

As mudanças climáticas globais, incluindo no Brasil, se intensificaram nas últimas décadas, com aumento consistente das temperaturas, ampliação de condições semiáridas, e maior frequência de eventos extremos, como

secas severas, chuvas intensas e ondas de calor. As mudanças climáticas no Brasil têm causado aquecimento generalizado em todos os biomas, com destaque para aumentos históricos no Pantanal (~3°C) e no Cerrado (até 4°C) em máximas e mínimas sazonais, enquanto a Mata Atlântica, o Pampa, a Amazônia e a Caatinga também registram elevações significativas de temperatura ao longo das últimas décadas. O aquecimento acelerado está associado à expansão da região semiárida, maior frequência de eventos extremos e redução da precipitação em grande parte do território brasileiro.

De acordo com o relatório de 2025 da Agenda 2030, o desempenho brasileiro permanece crítico no cumprimento da ODS 15, que visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, comprometendo diretamente as ações de enfrentamento das mudanças climáticas nacionais e globais (ODS 13). As elevadas taxas de desmatamento no Brasil entre 2018 e 2021 (23.740 km²/ano) elevaram as emissões líquidas nacionais de cerca de 1,5 para 2,1 Gt CO₂e — patamar não observado desde 2008. Entre 1999 e 2018, Amazônia e Cerrado concentraram 80% dos mais de 16 milhões de focos de calor detectados no país, liberando 8,1 Gt CO₂e. A substituição da vegetação nativa por lavouras ou pastagens desencadeia mudanças biofísicas, como observado no Cerrado, elevando as temperaturas médias em cerca de 0,9 °C e 0,6 °C, respectivamente,

enquanto florestas secas degradadas da Caatinga podem apresentar temperaturas até 3 °C mais altas que áreas conservadas. Estima-se que 75% da redução das chuvas na estação seca (~21 mm) nos últimos 35 anos na Amazônia tenha sido causada pelo desmatamento.

A conservação e a regeneração da vegetação natural — especialmente em Terras Indígenas (TIs) e Unidades de Conservação (UCs) — são cruciais para a redução das emissões líquidas de GEE no Brasil. UCs e TIs armazenam 58% do carbono da Amazônia (42 GtC), desempenhando papel crítico nos estoques nacionais. Em 2023, 61% das emissões do setor de Mudança de Uso da Terra foram compensadas pela remoção de 642 Mt CO₂e, majoritariamente pela vegetação primária (60%) e regeneração natural (39,5%). Entre 2017 e 2022, a vegetação secundária cobriu cerca de 5 milhões de hectares fora de terras públicas, alcançando quase metade da meta de restaurar 12 milhões de hectares até 2030. Apesar disso, essa vegetação ainda não é formalmente protegida, tornando incertos seus benefícios de longo prazo para mitigação climática.

As elevadas emissões incorporadas nas importações provenientes do comércio internacional evidenciam os desafios do Brasil na transição para uma economia de baixo carbono. Apesar da matriz elétrica brasileira ter 85% de participação renovável, a dependência de combustíveis fósseis ainda é significativa, gerando 395,6 Mt CO₂e em 2022. Além disso, 38% da pegada energética e 38,5% da pegada de carbono vêm de importações, evidenciando os desafios de mitigar as emissões incorporadas no comércio internacional.

As mudanças climáticas têm causado impactos graves e crescentes na biodiversidade e na população brasileira, elevando o risco de pontos de não

retorno ecológicos e agravando problemas sociais e econômicos, incluindo pobreza, insegurança alimentar, riscos à saúde e geração de energia limpa, e acesso limitado a água doce no país. Desmatamento, degradação e mudanças climáticas ameaçam a biodiversidade e reduzem a resiliência dos ecossistemas, aproximando os ecossistemas de pontos de não retorno. No semiárido nordestino, a seca, a variabilidade das chuvas, falta de irrigação e degradação do solo tornam a agricultura familiar especialmente vulnerável às secas extremas. Chuvas intensas e ondas de calor também afetam a saúde pública, intensificando doenças infecciosas, aumentando as hospitalizações por doenças cardiovasculares, e comprometendo o abastecimento de água e o bem-estar de populações vulneráveis, incluindo crianças, idosos e comunidades tradicionais. A magnitude desses impactos é influenciada pela urbanização, degradação ambiental, acesso ao saneamento, desigualdades sociais e eficácia das políticas de saúde.

Desde 2000, o país vem construindo um arcabouço jurídico e institucional robusto para a política climática, com destaque para a Política Nacional sobre Mudança do Clima (2009), o fortalecimento dos planos setoriais e subnacionais, e a formulação do Plano Clima 2024–2035, que consolida os eixos de mitigação, adaptação e transição ecológica de longo prazo. Desde os anos 2000, o país vem avançando de uma estrutura centralizada para uma governança climática multinível, com destaque para o Plano Clima 2024–2035, o Pacto pela Transformação Ecológica e o Compromisso pelo Federalismo Climático (2024). Iniciativas como o PPCDAm, Planaveg e o Programa ABC+ articulam mitigação, adaptação e transição energética, embora desafios persistam quanto à integração institucional, financiamento e participação social.

Figura 2.1 - Modelo DPSIR aplicado às mudanças climáticas no Brasil.



Fonte: elaborado pelos autores.

Forças motrizes das mudanças climáticas no Brasil

O planeta enfrenta uma emergência climática, com efeitos que se consolidam como uma das maiores ameaças à estabilidade ecológica e à segurança humana no século XXI (IPCC 2003). Entre o segundo semestre de 2023 e abril de 2025, a temperatura média global ultrapassou o limite crítico de 1,5°C acima do período pré-industrial (1850–1900), enquanto eventos extremos — como secas prolongadas, chuvas torrenciais, fortes rajadas de vento, ondas de calor, incêndios florestais e elevação do nível do mar — têm causado impactos severos em ecossistemas e populações ao redor do mundo (IPCC, 2023). O ano de 2024 foi registrado como o mais quente em 175 anos de medições, com temperatura média global de $1,55 \pm 0,13^\circ\text{C}$ acima do período pré-industrial (WMO, 2025). No cenário internacional, o Brasil assume seu papel ao ratificar o Protocolo de

Quioto e o Acordo de Paris (COP21, 2015), estabelecendo na sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) metas ambiciosas de redução de 59% a 67% das emissões líquidas de gases do efeito estufa até 2035, considerando 2005 como ano de referência. Além disso, ocupa posição central nas decisões climáticas, apresentando grande potencial para soluções baseadas na natureza no combate à crise climática, como conservação, restauração florestal e manejo sustentável de ecossistemas.

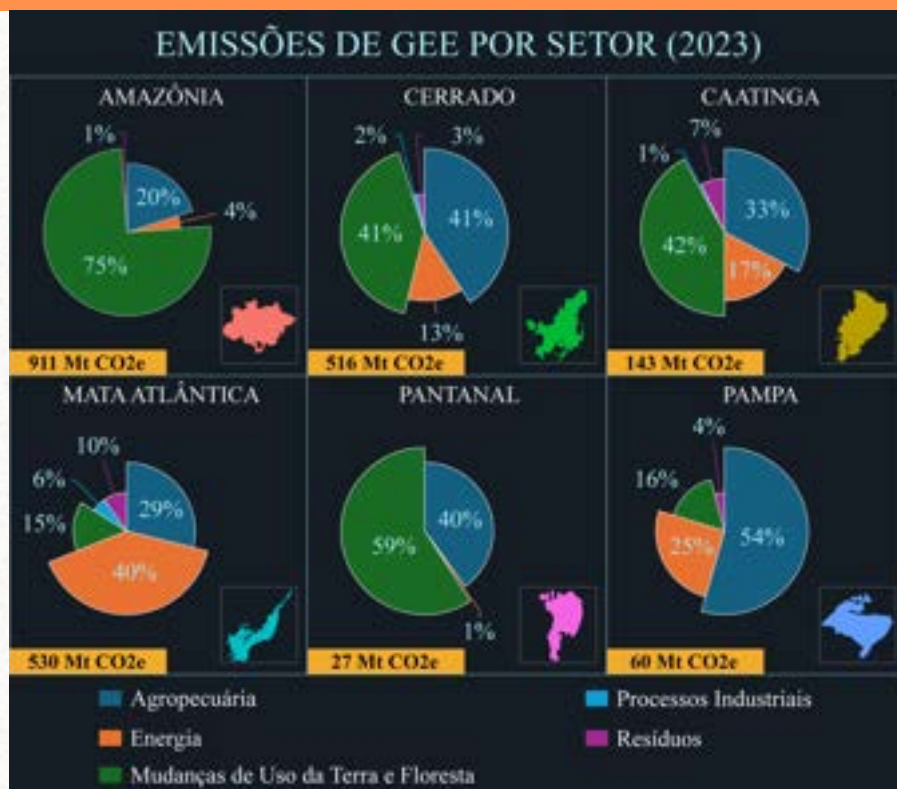
Os ecossistemas naturais brasileiros — como florestas tropicais úmidas, savanas tropicais e florestas estacionais — exercem um papel estratégico na estabilidade climática, indo muito além da função de sumidouros de carbono. Juntas, as florestas tropicais úmidas — como a Amazônia e a Mata Atlântica — e as savanas tropicais, como o Cerrado brasileiro, cobrem cerca de 67% da América do Sul (Borma et al., 2022). Por meio do sequestro de CO_2 e da regulação climática via evapotranspiração e transporte de umidade (Costa et al., 2021), esses ecossistemas naturais contribuem de forma integrada para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas — apoiando iniciativas REDD+ (Redução de Emissões de gases de efeito

estufa provenientes do Desmatamento e da Degradação florestal), e os compromissos de restauração florestal assumidos no Acordo de Paris (COP21, 2015). Dotados de uma das maiores biodiversidades do planeta, coproduzem os próprios processos ecológicos que sustentam o clima e o ciclo hidrológico (Borma et al., 2022).

As mudanças climáticas já são uma realidade consolidada e figuram entre as maiores ameaças à estabilidade ecológica e à segurança humana no século XXI (Ranasinghe et al., 2021). Essas mudanças resultaram do contínuo acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, devido aos padrões insustentáveis de geração de energia, produção, consumo e uso da terra em escala global (IPCC, 2023). Anualmente, mais de 40 bilhões de toneladas de CO₂ são

lançadas na atmosfera (Friedlingstein et al., 2024). Em 2022, as emissões globais ultrapassaram 50 GtCO₂, sendo 76% provenientes do setor de energia, especialmente em países industrializados como China e Estados Unidos, enquanto os usos da terra (desmatamento e agropecuária) responderam por 21% das emissões (IPCC, 2014; Crippa et al., 2023). O Brasil figura entre os seis maiores emissores do mundo, com um perfil de emissões fortemente ligado à conversão de ecossistemas naturais: em 2022, 70% das emissões nacionais tiveram origem no desmatamento e agropecuária, sendo 39,5% desmatamento e 30,5% agropecuária (MCTI, 2025). A contribuição de cada setor apresenta variações regionais (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Emissões brutas de CO₂e por setor econômico em 2023 nos seis biomas brasileiros.



Fonte: elaborado pelos autores. Dados SEEG, 2025.

As disparidades nas emissões de GEE per capita entre países e regiões são notáveis. Enquanto a média global em 2023 foi de 6,6 tCO₂e por habitante ao ano, sem considerar LULUCF, Estados Unidos e Rússia registram entre 18 e 19 tCO₂e, respectivamente (Olhoff et al., 2024), refletindo altos padrões de consumo e forte dependência de combustíveis fósseis. Em 2023, o Brasil registrou emissões brutas per

capita de 12,8 tCO₂e - considerando todas as fontes de emissões de GEE. O setor energético é responsável por 21% das emissões brasileiras (MCTI, 2025), ocupando uma posição central nos debates atuais sobre mitigação no país. Embora o Brasil se destaque internacionalmente por sua elevada participação de fontes renováveis — como biodiesel, hidráulica, e as emergentes energias solares e eólicas (MME, 2025) —, o

setor energético ainda enfrenta desafios estruturais para alcançar a descarbonização plena.

Enquanto as mudanças climáticas se manifestam como fenômenos físicos, suas forças motrizes estão profundamente enraizadas em dinâmicas sociais, políticas e econômicas (Paterson, 2019; Hecht et al., 2021), que resultaram na queima de combustíveis fósseis e a conversão e degradação de ecossistemas. Modelo de desenvolvimento baseado na exploração intensiva dos recursos naturais para produção e exportação de commodities — como o que se consolidou no Brasil — contribui diretamente para o agravamento da crise climática. A agricultura moderna, moldada pelos preceitos da Revolução Verde, caracterizou-se pela mudança de paradigma na produção agropecuária a partir de um conteúdo tecnocientífico adaptado às condições tropicais, de transformar terra, trabalho e capital em commodities de demanda altamente crescente, priorizando produtividade e competitividade por meio de mecanização, fertilizantes químicos, sementes modificadas, uso excessivo de defensivos agrícolas e irrigação intensiva. Esse modelo, associado a políticas de colonização agrícola e crédito subsidiado, impulsionou principalmente a expansão da fronteira agropecuária, destacando-se a pecuária extensiva, responsável por 68% das emissões do país em 2022, provenientes tanto do desmatamento quanto da criação de animais (MCTI, 2025). Embora este modelo tenha promovido ganhos expressivos em produção em algumas regiões, também gerou desmatamento, degradação ambiental, concentração fundiária e desigualdades sociais (Octaviano, 2010). Essa lógica de exploração intensiva de recursos se reflete também no setor energético, historicamente dominado pela queima de combustíveis fósseis. Fatores como crescimento populacional e aumento da renda impulsionam as emissões de CO₂ relacionadas à energia (Koilkou et al., 2024), enquanto forças econômicas e políticas globais, por meio do lobby climático dos setores de transporte e combustíveis fósseis, reforçam a manutenção desse modelo de produção energética baseado em combustíveis fósseis (Brulle, 2018).

Os efeitos colaterais desse modelo de desenvolvimento não se distribuíram de forma homogênea pelo território, refletindo dinâmicas regionais marcadas por desigualdades históricas, decisões políticas, interesses econômicos, incentivos institucionais e fluxos comerciais (Benzeev et al., 2022; De Castro et al., 2022; Costa et al., 2023). Na Amazônia, a expansão da pecuária sobre áreas de floresta muitas vezes encobre o principal interesse na região: a especulação fundiária, amparada por sistemas de ilegalidades que envolvem posse ilegal de terra pública ou não destinada, mineração e extração de madeira (Costa et al., 2023). No Cerrado, bioma que concentrou 48% da produção nacional de soja em 2015 (Soterroni et al., 2019), a conversão de ecossistemas nativos em lavouras de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar continua sendo incentivada por políticas públicas que oferecem subsídios, isenções fiscais e perdão de dívidas (Pires, 2020; Rodrigues et al., 2022). Na Mata Atlântica, o desmatamento é impulsionado por uma combinação de fatores históricos e contemporâneos, incluindo a expansão agropecuária intensiva, o crescimento urbano desordenado em áreas de risco, fragilidades na aplicação da legislação ambiental e o aumento da vulnerabilidade ao fogo em regiões fragmentadas (MMA, 2025).

Esse contexto exige um novo tipo de conhecimento e ações, capazes de integrar histórias profundas de exploração dos recursos naturais e inequidade social com os desafios contemporâneos de mitigação e adaptação climática. Superar a lógica que reduz o clima a metas de emissão é essencial: é preciso compreendê-lo como uma condição estruturante da vida contemporânea — uma força que molda e é moldada por práticas cotidianas, decisões corporativas, políticas públicas e infraestrutura. Nessa perspectiva, o Brasil deve liderar ações climáticas ancoradas na justiça social, ciência e inovação e responsabilidade ecológica, promovendo a conservação e a restauração de seus biomas e fortalecendo a descarbonização dos setores de uso da terra, agropecuária e energia.

Pressões sobre o sistema climático regional

As mudanças climáticas no Brasil são influenciadas por ações humanas associadas principalmente ao desmatamento, à degradação florestal, às queimadas e ao manejo da terra para usos agrícolas (MCTI, 2021; Tsai et al., 2024). Esses processos constituem fortes pressões sobre o sistema climático, alterando-o por meio da perda e da degradação da vegetação natural e do uso intensivo do solo, que provocam mudanças nos ciclos biogeoquímicos e resultam no aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de outros gases de efeito estufa, como óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e ozônio (O₃),

contribuindo para o aquecimento global. Ao mesmo tempo, desencadeiam mudanças biofísicas nos fluxos de água, calor e energia, influenciando diretamente o clima em escalas local e regional.

Desmatamento, Degradação Florestal e Queimadas

Alterações biogeoquímicas

O desmatamento continua sendo o principal vetor de emissões de GEE no Brasil, refletido nas flutuações nacionais registradas pelo Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (MCTI, 2025) (Figura 2.3). O Brasil acumulou uma perda de 379.835 km² de vegetação nativa entre 2008 e 2023, com incremento médio anual de desmatamento de 23.740 km² (INPE, 2025a) (Tabela 2.1). O Cerrado e a Amazônia representaram as maiores taxas médias de perda neste período, com 9.558 km² e 7.749 km², respectivamente (INPE, 2025b).

Tabela 2.1 - Resumo estatístico das taxas de desmatamento dos biomas brasileiros em quilômetros quadrados no período de 2008 a 2023.

Biomass	Acumulado	Média anual	Desvio padrão amostral	Menor taxa (Ano)	Maior taxa (Ano)
Amazônia	123.979	7.749	2.896	4.127 (2012)	12.479 (2022)
Caatinga	51.064	3.191	1.168	1.868 (2019)	6.351 (2008)
Cerrado	152.931	9.558	2.127	6.319 (2019)	13.482 (2013)
Mata Atlântica	24.174	1.511	783	765 (2023)	4.004 (2008)
Pampa	18.122	1.133	382	655 (2023)	2.119 (2014)
Pantanal	9.565	598	135	370 (2014)	824 (2021)
Brasil	378.835	23.740	4.617	(2017)	(2008)

Fonte: Dados do Terrabrasilis/INPE, 2025.

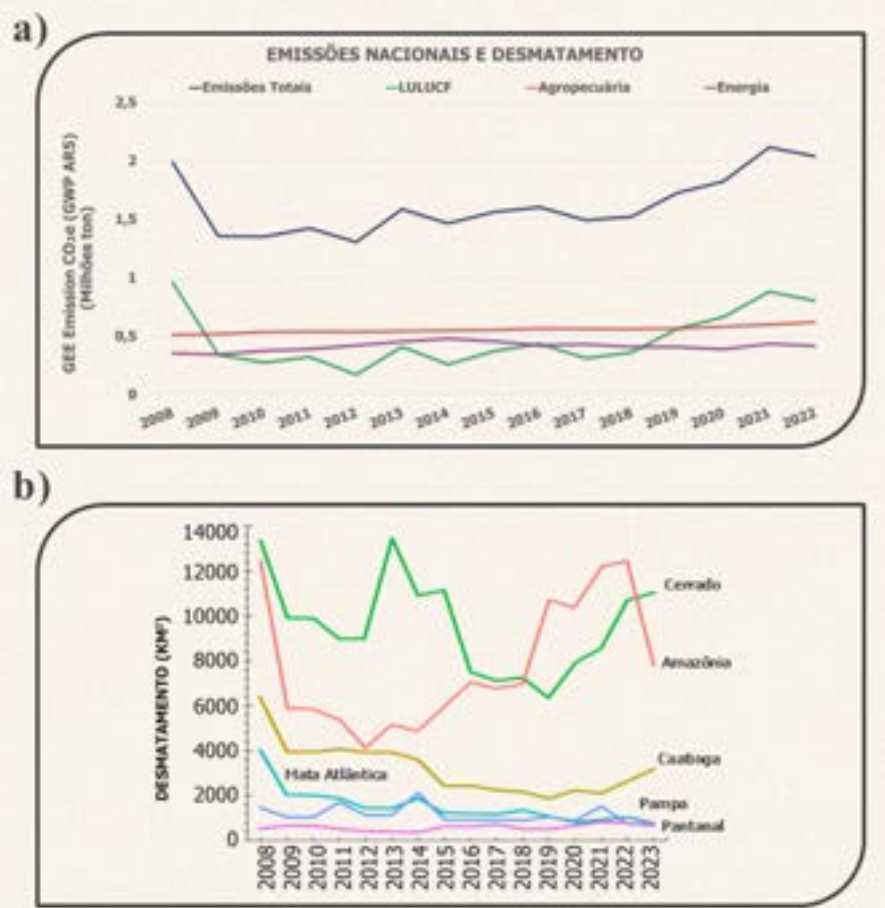
A expansão agropecuária respondeu por mais de 98% da perda de vegetação nativa entre 2019 e 2024, especialmente no Cerrado, na Amazônia e na Caatinga (Mapbiomas, 2025). As altas taxas de desmatamento de 2018 a 2021 resultaram em um aumento das emissões líquidas nacionais de cerca de 1,5 para 2,1 Gt CO₂e, um nível não observado desde 2008, enquanto as emissões por mudança de uso da terra (MUT) cresceram de 362 milhões para 883 milhões de tCO₂e, representando um aumento de aproximadamente 143,6%

no período. A escalada do desmatamento a partir de 2019 a 2021, causada pelo enfraquecimento e descontinuação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e pela redução da capacidade estatal de combate e prevenção ao desmatamento (Candido et al., 2023; Soares et al., 2025), fez o país se afastar ainda mais das metas estabelecidas em acordos internacionais, aumentando em 22,5% as emissões líquidas nacionais e em 55,6% as emissões por MUT (MCTI, 2025). Segundo o SEEG (2025), as

emissões brutas nacionais de 2022 atingiram cerca de 2,6 Gt CO₂e (2,4 Gt CO₂e nos dados oficiais nacionais) (MCTI, 2025), das quais 53% derivaram de MUT, sendo 92,5% destes associados ao desmatamento da vegetação primária e secundária (SEEG, 2025). Amazônia e Cerrado foram

responsáveis por 89% das emissões (1,2 Gt CO₂e) por MUT e 45% do total nacional. O desmatamento reduziu apenas no Pampa (50,5%; 772 km²) e no Pantanal (4,36%; 36 km²), resultando em quedas de 52,8% (13 Mt CO₂e) e 17,1% (1,8 Mt CO₂e), em 2022 em relação ao ano anterior respectivamente (SEEG, 2025).

Figura 2.3 - A. Evolução histórica das emissões totais líquidas de GEE (em CO₂e) e pelos setores de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas (LULUCF), Agropecuária e Energia. B. Desmatamento no Brasil (em km²) de 2008 a 2023.



Fonte: MCTI, 2025, INPE, 2025a.

Em 2023, a retomada das ações de combate e prevenção do desmatamento resultou em sua queda expressiva de 37% (4.667 km²) na Amazônia e de 14,9% no total nacional em relação a 2022 (INPE, 2025a). Neste ano, pela primeira vez no registro nacional, o desmatamento em formações de savana superou o de formações florestais, representando 54,8% e 38,5% do total, respectivamente (Mapbiomas, 2023). Enquanto o desmatamento na Amazônia recuava, as perdas de vegetação primária cresceram no Cerrado (32,8%; 3.148 km²), na Caatinga (11,3%; 511 km²) e no Pantanal (69,2%; 369

km²). Entre 2022 e 2023, cerca de 40.000 km² de florestas e savanas foram convertidos, sendo 44% para pastagens, 0,3% para lavouras e 0,005% para silvicultura (MapBiomas, 2023). Mesmo com essas perdas, a redução do desmatamento no Brasil contribuiu para a queda das emissões nacionais: em 2023, as emissões brutas por MUT caíram 23,7% e as totais do país caíram 11,9% segundo o SEEG (SEEG 2025), reforçando o papel das políticas de combate e prevenção do desmatamento.

Entre 2023 e 2024, o Brasil apresentou redução de 18,9% (comunicação pessoal Cláudio Almeida)¹ no desmatamento,

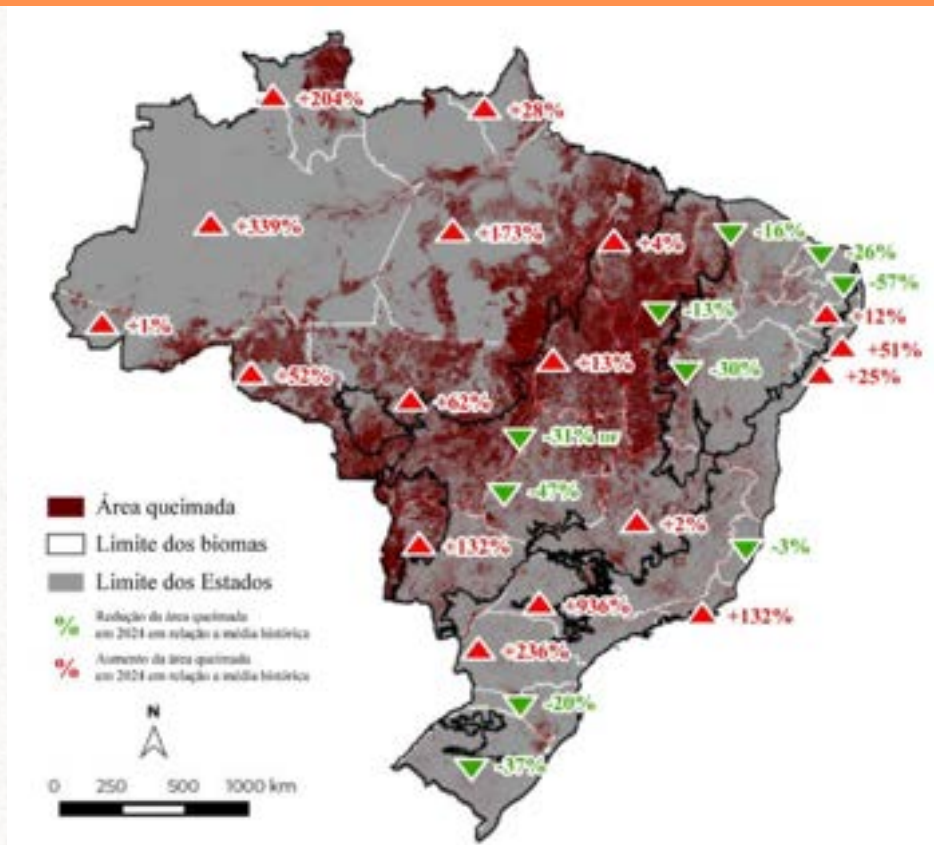
¹Os dados de desmatamento de 2024 dos seis biomas brasileiros estarão disponíveis até dezembro de 2025 no site TerraBrasilis (<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>).

impulsionada pela Amazônia, com queda de 22% entre agosto de 2023 e julho de 2024 (6.518 km²; 28% na Amazônia Legal), e pelo Cerrado, que registrou retração de 26% após anos de alta (INPE, 2025a). Em 2024, perdas em áreas de fisionomia herbáceo-arbustivas (52,4%) foram superiores às de áreas florestais (42,7%) (Mapbiomas, 2025a). Em 2024, o Cerrado concentrou 43% do desmatamento nacional, principalmente na fronteira agrícola do Matopiba — sul de Tocantins e partes do Maranhão, Piauí e Bahia —, responsável por 82% das perdas do bioma, embora apenas 3% da área tenha proteção legal estrita (IPAM, 2025; MapBiomas, 2025). A irregularidade é um fator central na trajetória de desmatamento e emissões no país. Entre 2019 e 2024, 82,4% da área desmatada apresentou indícios de irregularidade ou atividade ilegal, com 19,9% do desmatamento ocorrendo dentro de Reservas Legais, reforçando os desafios estruturais no combate ao desmatamento no Brasil (MapBiomas, 2023, 2025a).

A degradação florestal, embora não contabilizada formalmente nas emissões nacionais, é um importante emissor de GEE no Brasil, impulsionada por secas,

queimadas, fragmentação (efeito de borda) e extração seletiva de madeira (Lapola et al., 2023). Entre 2015 e 2024, a Amazônia brasileira registrou 214 mil km² de florestas degradadas, quase quatro vezes a área desmatada no mesmo período (59 mil km²), sendo 67% dessa degradação associada a cicatrizes de incêndio (INPE, 2025c). Estima-se que a degradação na Amazônia gere perdas de 0,18 a 0,73 Gt CO₂ por ano, valores comparáveis aos do desmatamento (Lapola et al., 2023). Os incêndios florestais — em sua maioria ilegais (95%) — são grandes emissores de CO₂, afetando 24% do território brasileiro entre 1985 e 2024 (Mapbiomas, 2025b) (Figura 2.4). Entre 1999 e 2018, Amazônia e Cerrado responderam por 80% dos mais de 16 milhões de focos de calor detectados no Brasil, emitindo 8,1 Gt CO₂ (Amazônia 60,7%; Cerrado 32%) (Silva Júnior et al., 2020). Em 2024, os incêndios no Pantanal liberaram 195 Mt CO₂ (Copernicus Atmosphere Monitoring Service, 2024). Na Caatinga, incêndios recorrentes de origem humana vêm aumentando, somando 21.550 ocorrências em 2023 — alta de 39% em relação a 2022 (Pivello et al., 2021; INPE, 2025c).

Figura 2.4 - Distribuição da área queimada acumulada por estados brasileiros (1985-2024) e tendência de redução ou aumento da área queimada em 2024 em relação à média histórica do estado



Fonte: IPAM, 2025b.

A conservação e a regeneração da vegetação natural — especialmente em Terras Indígenas (TIs) e Unidades de Conservação (UCs), são cruciais para a redução das emissões líquidas no Brasil. UCs e TIs armazenam 58% do carbono da Amazônia (42 Gt C), desempenhando papel crítico na manutenção dos estoques nacionais (Walker et al., 2020). Em 2023, 61% das emissões nacionais de LULUCF foram compensadas pela remoção de 642 Mt CO₂e, resultado da ação conjunta da vegetação primária e da regeneração natural (vegetação secundária), que responderam, respectivamente, por 60% e 39,5% dessa

remoção (SEEG, 2025). Desse total, 74% das remoções ocorreram na Amazônia, 10% no Cerrado e 7% na Mata Atlântica (SEEG, 2025) (Figura 2.5). Entre 2017 e 2022, a vegetação secundária ocupou cerca de 5 milhões de hectares fora de terras públicas, quase metade da meta brasileira de restaurar 12 milhões de hectares até 2030 (Dutra et al., 2024), concentrando-se principalmente na Amazônia e Mata Atlântica (Smith et al., 2021). Apesar de sua importância para a remoção de carbono, estas florestas ainda não possuem proteção legal, tornando incertos seus benefícios climáticos de longo prazo (Smith et al., 2021).

Figura 2.5 - Série histórica de emissões e remoções de GEE (CO₂e) por bioma.



Fonte: Dados SEEG, 2025

Alterações biofísicas

A redução da cobertura florestal e savânica provoca alterações biofísicas que modificam os balanços de energia e água, comprometendo o papel da vegetação na estabilidade climática (Gash & Nobre, 1997; Lawrence et al., 2022; Rodrigues et al. 2022). O controle da temperatura da superfície terrestre depende de características essenciais da cobertura do solo, como albedo (i.e., quantidade de luz solar que é refletida), índice de área foliar, estrutura do

dossel, profundidade das raízes, umidade do solo e capacidade fotossintética (Borma et al. 2022). A conversão completa da floresta em pastagem ou monocultivos de culturas anuais pode elevar a temperatura média regional entre 2,5 °C e 4,2 °C na Amazônia (Nobre et al., 1991; Sampaio et al., 2007) (Figura 2.6). No Cerrado, a substituição da vegetação savânica por lavouras ou pastagens resulta em aumentos médios de 0,9 °C e 0,6 °C, respectivamente (Rodrigues et al., 2022), enquanto florestas secas degradadas da

Caatinga podem ser até 3°C mais quentes que florestas conservadas (Oliveira et al., 2021). A evapotranspiração das árvores contribui para umidificar a atmosfera e resfriar o microclima (Borma et al. 2022). Na Amazônia, a evapotranspiração da floresta é responsável por reciclar entre 24% e 35% da água da chuva (Costa et al., 2021). Estima-se que 74% da redução de 21 mm nas chuvas durante a estação seca, observada nos últimos 35 anos neste bioma, tenha sido causada pelo desmatamento (Franco et al., 2025), enquanto a degradação florestal pode diminuir a evapotranspiração nessa estação

entre 2% e 34% (Lapola et al., 2023). No Cerrado, a conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas e pastagens pode reduzir a evapotranspiração anual em 39–44% e diminuir cerca de 10% o volume de água reciclada para a atmosfera (Rodrigues et al., 2022). Sob um cenário de desmatamento acelerado, a evapotranspiração anual do bioma poderia diminuir até 84 mm (171 km³) e a temperatura média aumentar 0,7°C até 2050, especialmente na região do Matopiba, que concentra áreas críticas de vegetação nativa sob pressão de conversão (Rodrigues et al., 2022).

Figura 2.6 - Efeitos da perda de cobertura florestal sobre as condições climáticas locais. A redução da evapotranspiração e da reciclagem de precipitação diminui a umidade do ar e a formação de nuvens, elevando a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor (DPV). A menor emissão de compostos orgânicos voláteis biogênicos (COV) reduz a formação de núcleos de condensação de nuvens (NCN), enfraquecendo os processos microfísicos de precipitação e intensificando o aquecimento e a aridificação locais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A perda de vegetação natural e o uso intensivo do solo também alteram propriedades essenciais do solo, como conteúdo de matéria orgânica, umidade e porosidade, impactando a infiltração e a retenção de água no solo, que garantem suprimento de água para a vegetação em meses de precipitação reduzida (Sone et al., 2019, Rubert et al., 2018). Em áreas de Cerrado não perturbadas, a interceptação da copa da vegetação retém entre 4% e 20% da precipitação, favorecendo a infiltração, especialmente em solos arenosos (Oliveira et al., 2014). Graças a um sistema radicular profundo, fisionomias de cerrado denso

mantém taxas de evapotranspiração entre 1,8 e 2,2 mm por dia durante a estação seca — o que representa um acréscimo potencial de 216 a 264 mm de vapor d'água à atmosfera entre julho e outubro (Oliveira et al., 2005). O desmatamento, por outro lado, pode elevar o escoamento superficial em até 20 vezes, afetando o armazenamento de água no solo que, em camadas profundas (1–4 m), respondem por até cerca de 75% da água total utilizada em um Cerrado típico (Oliveira et al., 2015). Em áreas úmidas, como o Pantanal, barragens, dragagem, retificação de canais e o desmatamento podem reduzir a infiltração e a recarga do

lençol freático em períodos críticos na estação de seca, influenciando o fluxo de umidade entre rio e planície de inundação, e destes para a atmosfera (Fleishmann et al., 2023; Girard et al., 2025).

Uso e Manejo da Terra para Agricultura e Pecuária

A agricultura e a pecuária são atividades de grande relevância econômica nacional, cujo manejo — relacionado ao tamanho do rebanho, à escala e qualidade da produção agrícola e ao uso de insumos — tem impulsionado tendências crescentes de emissões no setor agropecuário (MCTI, 2022). Entre 2002 e 2022, as emissões do setor aumentaram 152 MtCO₂e, correspondendo a um crescimento de 32,4%, segundo o sistema de registro nacional de emissões (MCTI, 2025). Em 2022, o setor respondeu por 30,5% das emissões líquidas nacionais (622 MtCO₂e), abrangendo CH₄, N₂O, CO₂ e gases indiretos como monóxido de carbono (CO), NO_x e compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC) (MCTI, 2025). Em 2023, as emissões totais alcançaram 631 Mt CO₂e, com Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica se destacando como principais emissores, somando 537 MtCO₂e — aproximadamente 85% do total — conforme estimativas consolidadas pelo SEEG (2025). A Caatinga (47 MtCO₂e) e o Pantanal (11 MtCO₂e) registraram os maiores crescimentos recentes de emissões, com altas de 6% e 9,8% entre 2022 e 2023, enquanto o Pampa, único bioma com redução, emitiu 32,5 MtCO₂e em 2023, caindo cerca de 2% entre 2021 e 2023.

A expansão da pecuária permanece como a principal força de pressão sobre os ecossistemas naturais e sobre os esforços de mitigação climática no Brasil. O rebanho bovino cresceu de 185 milhões de cabeças em 2002 para 239 milhões em 2023 — um aumento de aproximadamente 29% (Santos et al., 2024; Estevam et al., 2023). Esse crescimento influencia diretamente as emissões do setor, tanto pela fermentação entérica — responsável pela maior fração das emissões (65% em 2022) — quanto pelo manejo dos solos, que respondeu por 23% das emissões agropecuárias (MCTI, 2025). Em 2023, o setor concentrou 75,5% das emissões nacionais de metano (441 Mt CH₄), sendo a fermentação entérica responsável por

69% desse total (SEEG, 2025), com cada bovino emitindo, em média, 55 a 58 kg de CH₄ por ano (Assad et al. 2023). Mato Grosso, com o maior rebanho bovino do país (34 milhões de cabeças, 14% do total) e líder no uso de fertilizantes nitrogenados (1,2 milhão de t, 20% do consumo nacional) e calcário (21%), registrou 92,4 MtCO₂e em 2023, correspondendo a 15% das emissões agropecuárias nacionais (SEEG, 2025). Embora o potencial de aquecimento global do metano seja cerca de 25 vezes maior que o do dióxido de carbono, sua vida atmosférica (9 a 12 anos) é de 5 a 20 vezes menor (Archer et al. 2009, Boucher et al., 2009), o que torna as estratégias de redução particularmente eficazes para resultados em médio prazo.

O Brasil possui cerca de 28 milhões de hectares de pastagens degradadas, com perda de fertilidade, substituição de forrageiras por espécies menos exigentes ou invasoras e aumento de solo exposto, evidenciando o papel crítico do manejo do solo nas emissões e remoções de GEE (Embrapa & LAPIG; Bolfe et al., 2024). Em 2023, as emissões brutas de carbono pelo solo no setor agropecuário somaram 92,6 Mt CO₂, sendo 48% provenientes de pastagens degradadas e 51% de lavouras convencionais (Tsai et al., 2024). Pastagens bem manejadas e em recuperação no Sul e Sudeste poderiam sequestrar 0,43–1,27 Gt CO₂ em 20 anos, contribuindo significativamente para mitigação (Fronza et al., 2024). A retenção de carbono no solo representa cerca de 25% do potencial das soluções climáticas naturais, combinando proteção de estoques existentes (40%) e recomposição de áreas degradadas (60%) (Bossio et al., 2020). No Cerrado, os solos armazenam até 78% do carbono do ecossistema (123,13 t C.ha⁻¹) (Terra et al., 2023; Fonseca & Bustamante, 2025), enquanto no Pantanal campos nativos acumulam 93–127 t C.ha⁻¹ no horizonte superficial (Freitas et al., 2024).

Energia

Entre 2000 e 2018, as emissões de CO₂ caíram 28%, sendo que o principal fator dessa redução foi a estrutura energética — influenciada pela alta participação de renováveis (27%) (Koilkou et al. 2024). A matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável (84,4%), com 214 GW de potência

centralizada — 51% hídrica, 16% eólica, 8,8% solar e 8% biomassa — enquanto fontes não renováveis representam 29%, com destaque para gás natural (9,3%) e petróleo e derivados (3,6%), e menor participação de carvão mineral (1,8%) e energia nuclear (0,9%) (ANEEL, 2025). Em 2023, o transporte liderou as emissões do setor energético (224 MtCO₂e), seguido por indústria (154 Mt), produção de combustíveis (44 Mt), geração elétrica (38 Mt), edificações (30 Mt) e agropecuária (23 Mt) (Tsai et al., 2024). As emissões apresentam forte contraste regional: a Mata Atlântica lidera com 210,3 MtCO₂e, impulsionada por transporte (127,3 Mt), indústria (15,9 Mt) e produção de combustíveis (9,6 Mt); o Cerrado soma 68,9 Mt, principalmente transporte (46,4 Mt) e produção de combustíveis (39,2 Mt); a Caatinga (24,4 Mt) e a Amazônia (34,1 Mt) têm perfis dominados pelo transporte, com maior participação de agropecuária (2,2 Mt) e geração elétrica (5,3 Mt) na Amazônia; o Pampa registra 15,0 Mt, concentradas no transporte (7,4 Mt); e o Pantanal, apenas 0,2 Mt, refletindo baixa densidade populacional e limitada atividade industrial. Esses dados mostram que, mesmo com uma matriz energética três vezes mais limpa que a média global, o transporte e a indústria movidos a combustíveis fósseis, permanecem como principais determinantes das emissões do setor de energia do Brasil. Além disso, o uso total de energia no país também inclui combustíveis fósseis importados, o que adiciona uma pegada de carbono externa equivalente a 38,5% das emissões associadas. Essa dependência de importações reduz a participação efetiva de fontes renováveis no consumo energético brasileiro para cerca de 47,5%, evidenciando que os desafios de mitigação das emissões devem considerar as emissões incorporadas no comércio internacional (Montoya et al., 2021).

Mudanças climáticas no Brasil: Estado e projeções

O Brasil enfrenta mudanças climáticas caracterizadas pelo aumento contínuo da temperatura, intensificação de extremos — como secas prolongadas e chuvas severas — e maior variabilidade nos regimes de precipitação e vazões (Tabela 2.2). Essas tendências são potencializadas pelas interações entre aquecimento global e alterações do uso da terra, incluindo desmatamento, degradação florestal e manejo do solo, que afetam o clima regional e os regimes hidrológicos. Cenários futuros indicam intensificação dessas tendências, ressaltando a necessidade de fortalecimento de práticas e políticas de mitigação e adaptação climática. Dada a dimensão continental e a heterogeneidade ambiental e socioeconômica do país, análises regionalizadas são essenciais para orientar estratégias diferenciadas de mitigação e adaptação em cada bioma.

Amazônia

Nos últimos 40 anos (1979–2018), a floresta Amazônica apresentou um aquecimento médio de aproximadamente 1,02 °C (Gatti et al., 2021; Marengo et al. 2021a). Entre 1961 e 2000, a temperatura na Amazônia brasileira apresentou um aumento médio de aproximadamente 0,3 °C por década (Marengo et al., 2024). A tendência de aquecimento é evidente em todas as estações do ano, variando conforme os gradientes climáticos naturais da região, a sazonalidade e as mudanças no uso e cobertura da terra (Gatti et al., 2021; Marengo et al., 2021a, 2024). Nos meses mais secos (agosto-setembro), o aumento chega a 1,37 °C em 39 anos, enquanto o leste da Amazônia, que acumula grande parte do desmatamento, aquece quase duas vezes mais que o oeste, com até 2,5 °C na estação seca (Gatti et al., 2021). A atmosfera sobre a Amazônia também está se tornando progressivamente mais seca, com aumento contínuo do déficit de pressão de vapor entre 1979 e 2016 (Barkhordarian et al., 2019). Embora a precipitação média anual

na Amazônia não apresente uma tendência significativa de mudança em toda a região, observa-se, durante a estação mais seca — entre agosto, setembro e outubro — uma redução de 17% na precipitação em 39 anos (Gatti et al., 2021). No sul da Amazônia, observa-se uma tendência de redução nos extremos de chuva, enquanto o norte apresenta comportamento oposto, especialmente durante a estação mais úmida (de dezembro a maio), quando o volume de precipitação aumentou de 180 para 600 mm entre 1979 e 2015 (Wang et al., 2018). No nordeste da região, com 37% da floresta suprimida, a precipitação anual caiu 9%, chegando a 34% de redução na estação seca; no sudeste, a queda foi de 24% (Gatti et al., 2021). A estação seca se prolongou 4–7 semanas na porção sul entre 1979 e 2019, atrasando cerca de 5 semanas seu término, aproximando a sazonalidade do Cerrado (Marengo et al., 2021a). Nos últimos 40 anos, a Amazônia intensificou extremos hidrológicos, com maior frequência e intensidade de secas e inundações (Marengo et al., 2021a, 2024). Mega-inundações ocorreram em 2009, 2012, 2014 e 2021, ligadas a La Niña e à fase quente do Atlântico Norte Tropical (Espinoza et al., 2022; Marengo et al., 2024). A seca severa passou de quatro eventos por século para quatro em menos de 25 anos (Costa et al., 2023). A seca de 2023–2024, associada a El Niño e à fase quente do Atlântico Norte, reduziu chuvas em 100–300 mm nos estados do Amazonas, Acre, Roraima e Rondônia (Costa & Marengo, 2023). Em 2024, o rio Negro em Manaus atingiu 12,17 m — o menor nível em 122 anos (SGB, 2024) — e temperaturas máximas bateram recorde, até 5,1 °C acima da média 1991–2020 (INMET, 2024). Em 2023, seis ondas de calor afetaram o oeste e norte da bacia durante seis meses (Costa et al., 2024). Modelos climáticos projetam aumento da temperatura média anual da Amazônia de até 2 °C em cenários moderados de GEE (RCP4.5) e 6 °C em cenários mais severos de mudanças climáticas (RCP8.5) até o final do século, com queda da precipitação, principalmente no sul e leste, e prolongamento da estação seca (Marengo et al., 2021b).

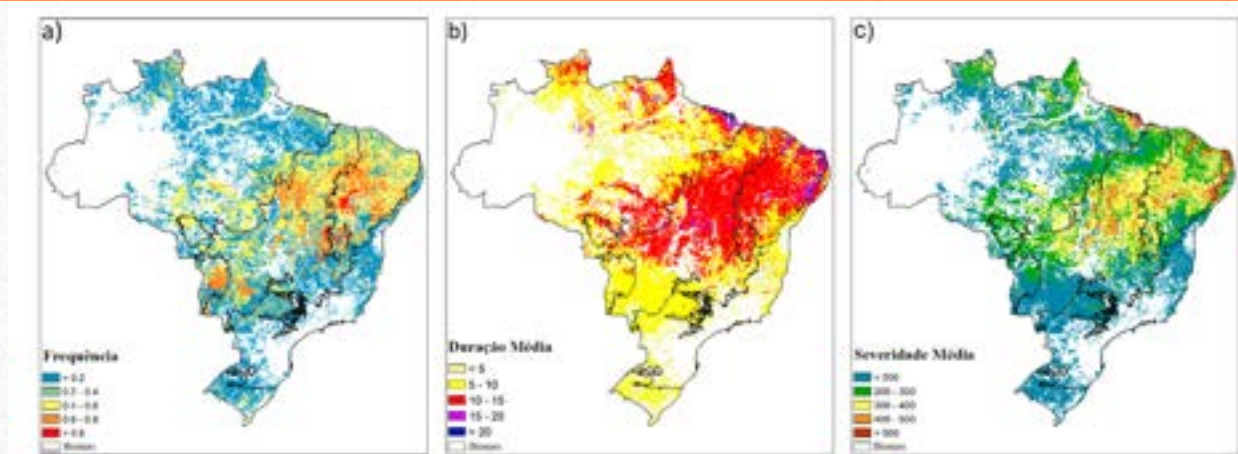
Cerrado

O Cerrado é um hotspot de biodiversidade altamente vulnerável às mudanças climáticas na América do Sul (Manes et al., 2021). Entre 1961 e 2019, o bioma registrou aquecimento acelerado, especialmente nas temperaturas máximas e mínimas durante a estação seca, com elevação das máximas entre 2,2 °C (agosto) e 4 °C (outubro) e aumento das mínimas mensais em até 2,8 °C em outubro (Hofmann et al., 2021). O aquecimento diurno e noturno tem sido intenso na estação seca e na transição seca–chuva, com taxas de 0,3 a 0,7 °C por década (Hofmann et al., 2025), refletindo a interação entre aquecimento global, desmatamento e queimadas. Além do aumento da temperatura, o Cerrado enfrenta crescente redução das chuvas variando regionalmente entre 5% e 15% do total anual entre 1960 a 2021, com diminuição de 5,2 dias de precipitação, especialmente na porção central; maiores quedas ocorreram no centro e oeste, enquanto Maranhão, sudeste de Minas Gerais e sul de São Paulo registraram aumento devido a dinâmicas atmosféricas e variações de altitude (Campos et al., 2020; Hofmann et al., 2023). A redução das chuvas iniciada nos anos 60 está associada ao aumento dos gases de efeito estufa e à expansão da célula de Hadley, que intensificou o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), deslocando a umidade para outras regiões e reduzindo o número de dias chuvosos. O aquecimento do Atlântico Tropical Norte também contribui para esta redução, através do enfraquecimento do transporte de umidade do oceano para o continente (Hofmann et al., 2025). Por fim, o desmatamento intensificou essa redução ao diminuir a evapotranspiração regional (Rodrigues et al., 2022). Entre 1961 e 2019, a umidade relativa do ar no Cerrado caiu cerca de 15% devido à redução da evapotranspiração (Hofmann et al., 2021). A interação entre desmatamento e mudanças climáticas reduziu a vazão dos rios em 19.718 m³/s ao longo de 33 anos, podendo chegar a 23.653 m³/s até 2050, equivalente a 33,9% de redução (Salmona et al., 2023), configurando tendências inéditas no bioma (Stríkis et al., 2024). O prolongamento do período seco e o aumento do déficit de pressão de vapor, combinados com a menor

precipitação, ampliam os meses de déficit hídrico, intensificando a aridez e o estresse da vegetação (Hofmann et al., 2025). Isso favorece a expansão de áreas semiáridas e secas repentinas, que reduzem rapidamente o conteúdo de água no solo (Tomasella et al., 2023, 2025; Hofmann et al., 2025) (Figura 2.7). Entre 1961 e 2020, o número, duração e severidade das secas repentinas aumentou, principalmente nas transições com Amazônia, Mata Atlântica e Caatinga, e na porção sul, concentrando eventos de 50–75 dias no centro e norte e os mais severos na região central (Tomasella et al., 2025). Projeções até o final do século indicam

redução da precipitação média anual de $-2,6$ (SSP2-4.5) a $-5,2\%$ (SSP5-8.5) (Centro-Oeste), $-2,0$ (SSP2-4.5) a $-4,6\%$ (SSP5-8.5) (Leste) e $-0,5$ (SSP2-4.5) a $+0,1\%$ (SSP5-8.5) (Sul), com verões mais chuvosos e primaveras mais secas. Espera-se forte aumento da sazonalidade e do déficit de pressão de vapor (VPD) — 34% a 68% (SSP5-8.5) no Centro-Oeste, 31% (SSP2-4.5) a 59% (SSP5-8.5) no Leste e 29% (SSP2-4.5) a 59% (SSP5-8.5) no Sul — indicando condições mais quentes e secas, maior estresse hídrico e risco elevado de incêndios (Cattelan et al., 2024).

Figura 2.7 - a) Frequência, b) duração e c) severidade de secas repentinas no Brasil considerando o intervalo de 1961 a 2020.



Fonte: Tomasella et al. 2025

Caatinga

A Caatinga possui uma faixa restrita de resiliência climática, o que a torna um dos biomas mais vulneráveis às mudanças climáticas (Pinho et al., 2020). Entre 1901 e 2000, a temperatura média da Caatinga aumentou cerca de $0,8^{\circ}\text{C}$, com redução de noites e dias frios e aumento menos pronunciado de noites e dias quentes (Torres et al., 2017). No período mais recente, entre 1981 e 2010, o aquecimento se intensificou, alcançando aproximadamente $1,4^{\circ}\text{C}$ (Delazeri et al., 2018). Enquanto a precipitação média anual não apresenta tendência clara de mudança no bioma, observa-se grande variabilidade sazonal e espacial nos padrões de chuva, com períodos secos intensificando e agravando a deficiência hídrica (Torres et al., 2017). Historicamente, a região semiárida do Nordeste, mais de dois terços coberta pela Caatinga, é marcada por secas recorrentes e degradação ambiental, problemas que se

reforçam mutuamente, criando ciclos de vulnerabilidade (Niemeyer e Vale, 2022). Observa-se intensificação das condições áridas na Caatinga, com áreas do centro-norte da Bahia, na divisa com Pernambuco, aproximando-se de condições desérticas devido ao aumento da demanda atmosférica por água associado ao aquecimento global. No período 1990–2020, surgiram 17.289 km^2 classificados como áridos, correspondendo à expansão do semiárido no centro da região Nordeste (Tomasella et al., 2023). Projeções para 2100 indicam agravamento das tendências históricas na Caatinga, com aquecimento de $1,3^{\circ}\text{C}$ ($0,5\text{--}1,9^{\circ}\text{C}$) em cenários de baixa concentração de GEE (RCP2.6) e até $4,4^{\circ}\text{C}$ ($2,7\text{--}6,2^{\circ}\text{C}$) em cenários de altas emissões (RCP8.5), sendo mais intenso no centro do bioma durante a estação seca (JJA) e na transição para a estação úmida (SON) (Torres et al., 2017). A precipitação apresenta maior incerteza, com redução média anual de até $0,3 \text{ mm/dia}$ sob

altas emissões e aumento de eventos extremos de seca (Marengo et al., 2017). Dias consecutivos secos podem passar de 100 em 1901 para 140 em 2100 (Marengo et al., 2017), com déficits hídricos de 3–4 mm/dia após 2041 e aumento do período seco de 8 a mais de 28 dias entre 2071–2100, elevando o risco de incêndios (Torres et al., 2017; Pivello et al., 2021). Essas tendências projetam reconfiguração da Caatinga, com expansão do semiárido em 225.000 km² (1990–2020) sobre áreas hoje ocupadas por Mata Atlântica e Cerrado (Pinho et al., 2020; Tomasella et al., nota).

Mata Atlântica

As mudanças climáticas na Mata Atlântica apresentam padrões regionais distintos. No litoral, as temperaturas máximas aumentaram em média 2,2 °C, com redução de 9,7 % na fração de dias frios, especialmente no nordeste do bioma (Bulhões & Zabiboni, 2025). Na faixa central, onde se concentra grande parte da população urbana, o aquecimento médio foi de 1,1 °C, influenciado tanto pelo aquecimento global quanto por fatores antrópicos, como urbanização e alterações no uso do solo (Abreu et al., 2019). Nessa região, extremos térmicos intensificaram-se: dias muito quentes subiram 0,12–0,32 °C/década e noites muito frias 0,06–0,21 °C/década, enquanto noites frias tornaram-se menos frequentes e noites quentes mais comuns, refletindo maior variabilidade térmica (Avila Diaz et al., 2020). No sul do bioma, o aquecimento foi mais intenso nas mínimas (+0,5 a +0,8 °C/década) do que nas máximas (+0,4 °C/década), reduzindo a amplitude térmica diária (Marengo & Camargo, 2008). A temperatura superficial do mar aumentou 0,5 °C em média (1982–1998 a 2000–2016), associada à intensificação da Corrente do Brasil e ao deslocamento da bifurcação da Corrente Sul-Equatorial (Franco et al., 2020). A precipitação também apresenta mudanças significativas: na faixa litorânea nordeste houve redução de 9,2 mm/ano (de 1961 a 2020) (Bulhões & Zabiboni, 2025); na região central (Sergipe a nordeste de São Paulo), os dias chuvosos diminuíram de 27 a 63 mm por década (1980–2016), períodos consecutivos de chuva reduziram-se e os de seca aumentaram, enquanto chuvas intensas tornaram-se mais frequentes,

elevando o risco de deslizamentos em áreas urbanas (Avila-Diaz et al., 2020; Marengo et al., 2021b). Em São Paulo, a precipitação anual aumentou 425 mm (1933–2010), com redução de chuvas fracas e crescimento de eventos intensos, intensificados pela ilha de calor urbana (Silva Dias et al., 2013). No sul do bioma (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), a precipitação média pode aumentar mais de 15 % em cenários de aquecimento global acima de 1,5 °C (Gulizia et al., 2022). Projeções sob o cenário RCP 8.5 indicam aumento médio de temperatura de 4,8–5,6 °C, com máximas podendo subir até 8 °C e mínimas 4–6 °C (Vale et al., 2021; Lyra et al., 2018). Eventos de calor extremo tornar-se-ão muito mais frequentes, enquanto ondas de frio praticamente desaparecerão, aumentando desconforto térmico, consumo energético e riscos à saúde (Silva Dias et al., 2013); no verão, ondas de calor devem passar de 5% (1961–1990) para 27% até 2055 em cenários otimistas e 40% em cenários de aumento de GEE (Feron et al., 2019). A precipitação total anual deve reduzir cerca de 12 %, mas os dias muito úmidos devem aumentar 10 % e eventos intensos 5 %, enquanto períodos consecutivos de seca podem se alongar em aproximadamente 21 %, indicando maior variabilidade e extremos hídricos no bioma (Avila-Diaz et al., 2020).

Pampa

O bioma Pampa é predominantemente um ecossistema campestre que, no Brasil, apresenta alta sensibilidade às variações climáticas, dependendo de uma faixa estreita de temperatura (18 °C a 22 °C) e de pluviosidade anual entre 1.100 e 2.000 mm. Tendências crescentes de aquecimento no bioma, assim como eventos extremos de precipitação, afetam a capacidade de seus ecossistemas de se recuperarem após distúrbios e desafiam a adaptabilidade de suas espécies (Pinho et al., 2020). Dados históricos indicam que, entre 1913 e 2006, os verões no Sul do Brasil tornaram-se mais chuvosos, com aumento de 93 mm por século sobre uma média de 367 mm. Durante o mesmo período, as temperaturas mínimas subiram 1,7 °C por século, enquanto as máximas apresentaram leve queda de 0,6 °C por século no verão (Sansigolo e Kayano, 2010). O Pampa é especialmente suscetível a eventos extremos de precipitação que tornam os verões mais úmidos, os quais,

diferentemente de outras regiões do Brasil, estão associados ao fenômeno El Niño. Por outro lado, episódios recentes de La Niña, como o prolongado e intenso evento de 2020–2022, resultaram em secas severas no bioma e em outras áreas do Sul do país (Da Rocha et al., 2021). Essas mudanças climáticas são agravadas pelo histórico de desmatamento e pela inserção da silvicultura em áreas de campos naturais, que resultaram em perda de 32% da vegetação campestre até 2022, influenciando o balanço hídrico regional (Pinho et al., 2020; MapBiomias, 2023). Além disso, secas repentinas, resultantes de déficits de chuva e alta evapotranspiração, têm se tornado cada vez mais frequentes no bioma, ainda que apresentem curta duração e baixa intensidade (Tomaselle et al., 2025).

A região que abrange o sul da Mata Atlântica e o bioma Pampa apresenta projeções consistentes de aquecimento sob cenários globais acima de 1,5 °C. O aumento da temperatura média do ar varia de +0,8 °C a +1,1 °C sob aquecimento global de 1,5 °C, e de +1,3 °C a +1,6 °C sob 2 °C, em relação ao período histórico de 1981–2000. A frequência de dias de geada e de gelo, já baixa no período histórico (0 a 10 dias por ano e praticamente nula em algumas áreas), apresenta projeções de redução de cerca de 1,6 dia/ano, alcançando valores próximos de zero mesmo sob 1,5 °C. O índice de precipitação máxima em cinco dias consecutivos tende a aumentar cerca de +7,7% sob cenário de aquecimento de 1,5 °C e +16,6% sob 3 °C, com picos de até +25%, alterando profundamente a dinâmica climática e ecológica regional (Gulizia et al., 2022). Com aquecimento de 2°C, espera-se um aumento no déficit hídrico de até 258 mm em anos secos ou normais e tendência de redução das chuvas no verão, o que prolonga a estação seca e agrava a escassez hídrica (Rocha et al., 2021). Mesmo com essa redução, há projeções de aumento da intensidade e concentração das chuvas, ampliando os riscos de inundações, estiagens e movimentos de massa (Marengo et al., 2021b; Cruz et al., 2023).

Pantanal

O Pantanal, a maior planície de inundação continental contígua do mundo, tem sofrido mudanças significativas em seu regime de cheias e secas, processos governados pela

variabilidade no regime de chuvas, principal motor da manutenção de sua biodiversidade e dos modos de vida tradicionais (Junk et al., 2016; Lázaro et al., 2020). Historicamente, o bioma alterna entre ciclos úmidos (1951–1964 e 1976–2000) e secos (1965–1975 e 2001–2021). Durante o ciclo seco de 1965–1975, por exemplo, o nível do rio Paraguai no município de Ladário, Mato Grosso do Sul, esteve 50% abaixo da média de longo prazo. Entre 1990 e 2020, o Pantanal registrou um aumento histórico de temperatura máxima de 0,76 °C por década, acumulando cerca de 3 °C nas últimas quatro décadas (Libonati et al., 2022). A aridez se intensificou especialmente no período 2001–2021, com a evapotranspiração potencial aumentando de 1.839 para 1.885 mm/ano, a temperatura média anual subindo de 25,0 °C para 25,6°C, e o déficit de pressão de vapor de 1,31kPa para 1,38 kPa, indicando maior estresse hídrico associado às mudanças climáticas (Caballero et al., 2025). Na região norte do Pantanal, registraram-se 13% mais dias sem chuva e redução de 16% na massa de água disponível durante a estação seca em 10 anos (Lázaro et al., 2020). A superfície de água anual caiu 68% em 2023 (381 mil ha), em comparação com a média histórica de 956 mil ha (1985–2023) (MapBiomias, 2023). Eventos combinados de calor e seca tornaram-se mais frequentes (Cunha et al., 2024; Calim Costa et al., 2024), com destaque para quatro grandes secas nas últimas quatro décadas: 1993–1994 (moderada), 2013–2014 (severa), 2019–2020 e 2023–2024 (megassecas). A seca de 2019–2020 foi inédita por afetar também áreas de planalto, resultando de aquecimento anômalo do oceano Pacífico Nordeste, redução de até 32% nas chuvas e intensificação do estresse hídrico. Esse aquecimento respondeu por 73,5% das anomalias de precipitação no Pantanal e 84,5% nos planaltos, com impactos detectados em apenas dois meses (Thielen et al., 2021; Caballero et al., 2025). A partir de junho de 2019, as chuvas ficaram 32% abaixo da média histórica, com 83,3% dos meses registrando precipitação inferior ao normal. Em nove meses, mais de 60% da planície e 30% dos planaltos já enfrentavam seca extrema. Em março de 2020, 90% do Pantanal estava em seca, sendo 60% em nível extremo, condição que ainda afetava 82,2% da área em junho de 2021 (Thielen et al., 2021). Cenários futuros sugerem que, até 2100, o Pantanal poderá enfrentar

aquecimento de até 7 °C e redução de até 30% da precipitação, intensificando déficits hídricos, eventos extremos e ameaçando a

resiliência socioecológica do bioma (IPCC, 2023).

Tabela 2.2 - Resumo das tendências climáticas observadas e projetadas nos seis biomas brasileiros

Bioma	Temperatura	Precipitação e Umidade do Ar	Extremos Climáticos
Amazônia	Histórico +1,02 °C (1979-2018); +0,3 °C/década (1961-2000); Meses secos ago-set +1,37 °C; Leste: +2 °C ano / +2,5 °C estação seca (1979 e 2018)	Estação seca (1979 e 2018): Total: redução 17%; Nordeste: -9%; Nordeste estação seca -34%; Sudeste anos; Sul: estação seca -24%; prolongamento estação seca 4-7 semanas Estação úmida (1979 e 2015): de 180 para 600 mm	Mega-inundações 2009, 2012, 2014, 2021; Secas severas: 4 eventos por século → 4 em < 25 anos Seca 2023-2024: precipitação -200 a -400 mm, 5 ondas de calor até 90 dias duração
	Projeção +2°C (RCP4.5) a +6°C (RCP8.5)	Redução precipitação, prolongamento estação seca	Aumento frequência/intensidade secas e inundações
Cerrado	Histórico Máximas meses secos(1961- 2019): +2,2 °C (ago) a +4 °C (out); Mínimas: até +2,8 °C; Taxa aquecimento: +0,3- 0,7 °C/década	Redução precipitação, prolongamento estação seca Redução da precipitação anual: 5- 15%, dos dias de chuva: 5,2 dias, e da umidade relativa: 15% (1961 a 2019)	Secas repentinas (1961 e 2020): aumento do número, duração, severidade; Eventos de até 50- 75 dias concentrados centro/norte do bioma
	Projeção 2100: -2,6 % a-5,2% (Centro-Oeste), -2,0 % a-4,6 % (Leste) e -0,5% a +0,1% (Sul)	aumento da sazonalidade: 12-18 % (Centro-Oeste), 13-20 % (Leste) e 11-17% (Sul) e do déficit de pressão de vapor (VPD) de 34- 68% (Centro-Oeste), 31-59 % (Leste) e 29-59% (Sul)	Continuidade aumento aridez e estresse hídrico, expansão áreas semiáridas
Caatinga	Histórico temperatura média: +0,8 °C (1901-2000); +1,4 °C (1981– 2010); Redução noites/dias frios; Aumento menos pronunciado noites/dias quentes	Intensificação condições áridas	Secas recorrentes e prolongadas
	Projeção +1,3 °C (RCP2.6) a +4,4 °C (RCP8.5), mais intenso centro do bioma e estação seca	Redução média anual 0,3 mm/dia (2100); Aumento eventos de seca; Dias consecutivos de seca: +40 dias (1901 a 2100); Prolongamento período seco 8 → >28 dias Déficit hídrico 3-4 mm/dia;	Expansão semiárido ~225.000 km²
Mata Atlântica	Histórico Região Litorânea: máximas +2,2 °C e -9,7% dias frios (1961-2020); Parte Central: +1,1 °C (1955 e 2004); mais quentes: +0,12- 0,32 °C/década; Noites mais frias: +0,06- 0,21 °C/década; Sul: mínimas +0,5-0,8 °C/década, máximas +0,4 °C/década; Superfície do mar +0,5 °C (2000-2016 versus 1950-1999)	Litoral nordeste (1961 e 2020): -9,2 mm/ano; Central (1986 e Dias 2005): total anual -27 a -63 mm/década; Períodos consecutivos de chuva -0,5-1,5 dias/década; Períodos consecutivos seca +0,9- 4,7 dias/década; Sul: precipitação +15% (1981 e 2000)	Chuvas intensas/repentinhas em áreas metropolitanas
	Projeção Temperatura média:+4,8- 5,6 °C (2100); SP/RJ com Máximas+8 °C; Mínimas +4- 6°C; Até 190 dias de ondas de calor	2100: Redução total anual ~12%; +10% dias muito úmidos; +5% dias chuvas intensas; +21% períodos secos	Maior variabilidade e extremos mais intensos
Pampa	Histórico Mínimas: +1,7 °C por século e Máximas: -0,6 °C por século (1913 e 2006)	Precipitação no Verão: +93 mm/século (1913 a 2006);	Secas repentinas curtas e baixas, Eventos extremos El Niño/La Niña
	Projeção +0,8-1,1 °C (cenário de >1,5 °C); +1,3-1,6 °C (cenário de >2 °C)	Precipitação no Verão: +93 mm/século (1913 a 2006); Precipitação máxima 5 dias +7,7% (cenário de >1,5 °C) a +16,6% (cenário de >3 °C); Déficit hídrico até 258 mm (cenário de >2,0°C); Chuvas mais intensas/concentradas	Aumento intensidade e concentração das chuvas
Pantanal	Histórico +0,76 °C/década (1990-2020); Média anual 25,0 → 25,6 °C; Evapotranspiração 1.839 → 1.885 mm/ano; Déficit pressão de vapor 1,31 1,38 kPa (2001-2021)	Norte do bioma: + 13% dias sem chuva; redução da precipitação de até 32% nas chuvas (2019-2020); Massa água disponível -16%; Superfície água anual 956 → 381 mil ha	Ciclos úmidos/secos; Quatro grandes secas 1993- 1994, 2013-2014, 2019-2020, 2023-2024; Seca 2019-2020 inédita;
	Projeção Até +7 °C (2100)	Redução até -30% (2100)	Intensificação déficits hídricos e eventos extremos

Fonte: Elaborado pelos autores. Referências estão no texto.

Impactos Críticos das Mudanças Climáticas e de Uso da Terra: Implicações para o Alcance da Agenda 2030

Estudos recentes mostram que os impactos de um mundo 1,5 °C mais quente já se manifestam no Brasil, reforçando a urgência de ações integradas de mitigação e adaptação climática (Bevacqua et al., 2025). A intensificação de eventos extremos, o avanço do desmatamento, degradação da vegetação e solo, além dos crescentes incêndios florestais impõe desafios crescentes ao acesso à água e alimentos, exacerbando vulnerabilidades socioeconômicas já existentes no país (Clarke et al., 2024; Fletcher et al., 2024). Embora as taxas de desmatamento tenham diminuído e haja iniciativas de restauração promissoras (ver Quadro 2.1), o país ainda apresenta sinais de estagnação nos esforços de proteção e recuperação de ecossistemas terrestres e aquáticos. De acordo com o relatório de 2025 da Agenda 2030 (Sachs et al., 2025), o desempenho brasileiro permanece crítico no cumprimento do ODS 15, que visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, evidenciando a necessidade de ampliar e acelerar ações estruturantes para reverter a perda de biodiversidade e degradação ambiental. Essa estagnação compromete diretamente as ações de enfrentamento das mudanças climáticas nacionais e globais (ODS 13). Em consequência, impactos climáticos mais severos agravam problemas sociais e econômicos, como a erradicação da pobreza (ODS 1), a segurança alimentar (ODS 2), a garantia de saúde e bem-estar (ODS 3), a disponibilidade e o acesso à água potável (ODS 6), a provisão de energia limpa (ODS 7) e a redução das desigualdades (ODS 10).

Impactos sobre os ecossistemas terrestres (ODS 15)

O Brasil abriga uma das biodiversidades mais ricas do planeta, incluindo dois hotspots globais — o Cerrado e a Mata Atlântica —, além da Caatinga e da Amazônia, que concentram algumas das florestas secas e úmidas mais diversas do mundo (Zapata-Rios et al., 2021; Borma et al., 2022; Hauff, 2010). O país também possui ecossistemas frágeis, como os campos do Pampa (Roesch et al., 2009). Mudanças climáticas e alterações no uso da terra impactam biodiversidade e serviços ecossistêmicos em todos os biomas brasileiros. Na Amazônia, desmatamento e estações secas prolongadas têm alterado a composição de espécies arbóreas, especialmente no sudeste, com projeção de perda de até 58% da riqueza de espécies até 2050 e 53% ameaçadas de extinção (Esquivel-Muelbert et al., 2019; Gomes et al., 2019). No Pampa, Caatinga e Mata Atlântica, alterações de temperatura e precipitação podem reduzir drasticamente áreas viáveis para espécies típicas, como *Vitex megapotamica* (–57,5%) e *Campomanesia xanthocarpa* (–52,4%) no Pampa, e *Cecropia glaziovii* (–86,6%) na Mata Atlântica (Da Silva et al., 2022; Almeida et al., 2024). O aumento da aridez, temperaturas extremas e queimadas ameaça plantas e animais, impactando severamente Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. O megaincêndio de 2020, que matou pelo menos 17 milhões de vertebrados (Tomas et al., 2021).

A velocidade das mudanças climáticas e de uso da terra supera a capacidade de adaptação de muitas espécies, acentuando perdas de biodiversidade e funções ecossistêmicas críticas, favorecendo transições irreversíveis para estados degradados (tipping points), com retroalimentações entre aquecimento global, perda de vegetação, queimadas e alterações hidrológicas (Albert et al., 2023; Nobre et al., 2016; Hirota et al., 2021). O El Niño que atingiu o Brasil em 2023 e 2024, ampliou os riscos de queimadas, resultando em um aumento de 47% nos focos de incêndio e de 59% na área queimada (Mapbiomas, 2025). Na Mata Atlântica, mais de 85% da cobertura foi suprimida, alterando o balanço hidrológico e aumentando a erosão, com impactos no

clima regional, incluindo verões mais chuvosos e invernos secos semelhantes aos do Cerrado (Pinto & Voivodic, 2021; Solorzano et al., 2021). A Amazônia e o Cerrado se aproximam de pontos de não retorno hidroclimáticos, perdendo a capacidade de manter funções essenciais de regulação climática (Bustamante et al., 2012; Nobre et al., 2016; Hirota et al., 2021; Hofmann et al., 2021, 2023). Entre essas funções, destacam-se a reciclagem de chuva pela floresta amazônica — que sustenta até 50% das chuvas locais (Costa et al., 2021) — e o transporte de vapor d'água pelos “Rios Voadores”, cuja descarga, estimada entre 10 e 23 Gt por dia, é comparável à do rio Amazonas. Esses fluxos atmosféricos são fundamentais para a segurança hídrica de dezenas de milhões de pessoas que vivem em outros biomas, como Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica (Arraut et al., 2012; Zemp et al., 2017; Costa et al., 2021; Bergier et al., 2018). Essa umidade aumenta a parcela da chuva na Bacia do Prata de 18–23% para 24–29% na estação chuvosa (Zemp et al. 2014).

No Pampa, a resiliência diminui, com sua contração a pequenas áreas no extremo sul e expansão limitada em regiões de Cerrado de baixa resiliência (Braga & Laurini, 2024). No Cerrado, cenários de colapso projetam redução de 84 mm/ano na evapotranspiração e aumento de 0,7 °C até 2050, com impactos concentrados no Matopiba (Rodrigues et al., 2022). Na Caatinga, desertificação, degradação do solo e aumento da aridez colocam 94% do bioma sob risco moderado a alto, comprometendo biodiversidade, água, carbono e manutenção de ecossistemas produtivos (Torres et al., 2017; da Silva et al., 2017). No Pantanal, a redução da disponibilidade de água durante a estação seca (Lázaro et al., 2020) prolonga os períodos de vazante, afetando diretamente peixes e invertebrados que desempenham papel essencial na regeneração da vegetação e no ciclo do carbono (Correa et al. 2018; Girard et al., 2025). Os impactos das mudanças climáticas se estendem às zonas costeiras da Mata Atlântica, onde aquecimento, elevação do nível do mar, erosão e acidificação oceânica intensificam perda de vegetação e ameaçam a fauna

aquática (IPCC, 2021; Ranasinghe et al., 2021, Franco et al. 2020).

Projeções indicam que, até 2050, entre 10% e 47% das florestas amazônicas poderão sofrer distúrbios que provoquem transições ecológicas e agravam a crise climática (Flores et al., 2024). Esses efeitos já transformaram Amazônia e Cerrado em fontes líquidas de carbono, emitindo 1,1 Gt CO₂ e 0,86 Gt CO₂, respectivamente (Gatti et al., 2023; Gomes et al., 2024). A capacidade de absorção de carbono na Amazônia caiu 25% em 20 anos, podendo chegar quase a zero em secas extremas, elevando o CO₂ atmosférico em até 85 ppm e a temperatura global entre 1,2 °C e 1,7 °C (Brienen et al., 2015; Albert et al., 2023). O Cerrado já é um bioma vulnerável devido à proteção limitada de seus ecossistemas naturais (apenas 7,5% em UCs e 20% em reservas legais). A expansão do agronegócio nessas áreas remanescentes, combinada com os impactos das mudanças climáticas, ameaça 397 espécies endêmicas e pode liberar até 8,5 GtCO₂e — valor superior a 2,5 vezes todas as reduções de emissões obtidas na Amazônia entre 2005 e 2013 (Strassburg et al., 2017). Ecossistemas costeiros, como manguezais, já perderam até 15% de carbono devido a secas, com emissões de até 993 t CO₂e ha⁻¹ (Gomes et al., 2021; Castro et al., 2025). No conjunto, essas transformações demonstram que mudanças climáticas e pressões antrópicas estão colocando em risco a resiliência de todos os biomas terrestres brasileiros, ameaçando a biodiversidade, serviços ecossistêmicos fundamentais para a segurança ambiental de milhões de pessoas.

Impactos na Produção Agrícola e Segurança Alimentar (ODS 2)

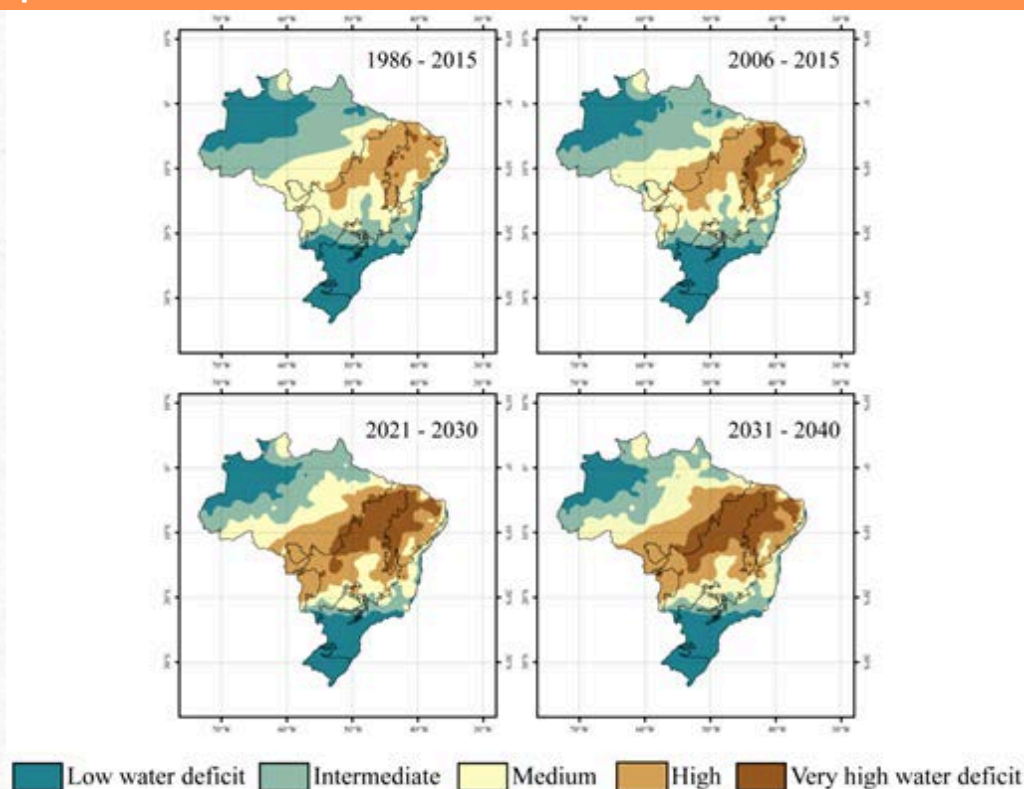
A produção agropecuária no Brasil é fortemente influenciada por temperatura, chuvas, umidade atmosférica e água no solo, fatores que podem explicar até 30% da variação da produtividade das culturas (Pereda & Alves, 2018; Assad & Assad, 2024). A agricultura empresarial representa cerca de 27,4% do PIB nacional (2021) (MAPA, 2022), enquanto a agricultura familiar é responsável por 69,6% da produção de feijão, 83% da mandioca e 45,6% do milho (2006), sendo crucial para a segurança alimentar do país (Hoffmann, 2014). Ambos os sistemas são impactados por secas severas,

geadas e variabilidade interanual das chuvas (Braga et al., 2021; Marengo et al., 2022), afetando produção, comércio e acesso aos alimentos (Assad & Assad, 2024; Borges, 2024; Santos et al., 2024; Paiva et al. 2025). Tais eventos podem esgotar economias locais e forçar a venda de bens produtivos, gerando impactos sociais e econômicos duradouros (FAO, 2016).

O aumento projetado da deficiência hídrica do solo nas próximas décadas deve agravar os impactos sobre a produtividade agrícola nacional (Figura 2.8) (Borges, 2024). A estiagem crônica iniciada em 2012 reduziu a produtividade da agropecuária — ou seja, a quantidade produzida com os recursos disponíveis — de 4,2% ao ano (1994–2011) para 1,5% (2012–2021), causando perda de 0,8 ponto percentual no PIB anual (Borges, 2024). O Cerrado é a maior área agrícola consolidada do Brasil, responsável por 12% da produção mundial de soja e 10% das exportações globais de carne bovina (Rodrigues et al., 2022). Entre os 8,1 milhões de hectares de duplo cultivo de soja e milho, 99% registraram atrasos no início da estação chuvosa; 61% tiveram redução das chuvas e 53% aumento das temperaturas máximas na primeira safra, enquanto na segunda safra 84% enfrentaram calor acima da média e 61% menor precipitação (Leite-

Filho et al., 2024). Sob cenários de aquecimento global, quedas acentuadas de produtividade de milho são previstas até o final do século (Camilo et al., 2018). Projeções indicam que a produção de soja e milho pode se deslocar gradualmente de Matopiba para regiões subtropicais do Cerrado e da Mata Atlântica (Zilli et al., 2020). No entanto, esse deslocamento terá limitações, pois cenários climáticos apontam perda significativa da aptidão agrícola no Sul do Brasil (65,7% até 2049), afetando especialmente o milho como segunda safra (Tanure et al., 2020). No Rio Grande do Sul, em março de 2020, lavouras de milho e soja tiveram perdas diretas de 21% e 16%, totalizando R\$ 4,8 bilhões (MAPA, 2022). No Pampa, meses chuvosos cada vez mais raros comprometem a subsistência e a produção de pecuaristas familiares (Rocha et al., 2021). Quedas de temperatura no inverno em 2005 e 2006 reduziram a eficiência agrícola entre 6,2% e 10%, com perdas de lucro de 13,2% devido ao frio e 30,5% devido às secas (Pereda & Alves, 2018). No sudeste da Amazônia, a aptidão agrícola pode cair até 84,9%, e a expansão de áreas cultivadas seria insuficiente para compensar as perdas de produtividade, inclusive na cana-de-açúcar, com impacto na geração de empregos e no PIB regional (Tanure et al., 2020).

Figura 2.8 - Projeção do aumento da deficiência hídrica no solo nas próximas décadas por modelos climáticos.



A combinação de alta variabilidade das chuvas, falta de irrigação, degradação do solo e pobreza rural torna o semiárido nordestino — que abriga 38% da agricultura familiar do país (Melo & Voltolini, 2019) — especialmente vulnerável aos extremos climáticos e aos impactos na segurança alimentar (Marengo et al., 2022). A seca afeta de forma crítica a produtividade agrícola e os meios de vida dos pequenos agricultores, configurando também um problema de saúde pública (Niemeyer & Vale, 2022). Entre 1981 e 2016, eventos prolongados de seca severa afetaram grandes áreas da Caatinga, com destaque para 2011–2016, quando a região enfrentou a pior seca em décadas, impactando mais de 50% do território e gerando déficit de umidade do solo de -14mm em 2014 (Getirana, 2016; Brito et al., 2018). Os efeitos sobre a agricultura foram significativos, incluindo perdas na produção de culturas essenciais, redução de pastagens e rebanhos, com impactos diretos na segurança alimentar e econômica: R\$ 3,6 bilhões na agricultura, R\$ 3,2 bilhões na pecuária e R\$ 3,2 bilhões em seguros, totalizando aproximadamente R\$ 10 bilhões (Brito et al., 2018). Na Amazônia, a seca de 2023 afetou mais de 150 mil famílias e mais de 600 mil pessoas, incluindo grupos vulneráveis como povos indígenas, populações rurais e ribeirinhas que dependem do transporte fluvial para acessar alimentos (Costa et al., 2023; Mamede et al., 2025). No Brasil, 27 milhões de habitantes urbanos enfrentam insegurança alimentar severa. Eventos extremos — como secas, ondas de calor e inundações — agravam essa situação, destruindo cultivos, interrompendo a distribuição de alimentos, comprometendo estoques e elevando os custos de armazenamento e transporte (Sotto et al., 2024).

Impactos sobre a Saúde e Segurança da População (ODS 3)

Tendências de aquecimento, fenômenos climáticos como El Niño e La Niña, secas, enchentes, ondas de calor e aumento das precipitações têm afetado a saúde pública no Brasil, ampliando a incidência de doenças infecciosas transmitidas por animais, doenças crônicas não transmissíveis e riscos

associados a desastres ambientais (Ferreira et al., 2023). A magnitude desses impactos varia conforme o grau de urbanização e degradação ambiental, o acesso a saneamento básico, as desigualdades socioeconômicas e a eficácia das políticas públicas de saúde (Ferreira et al., 2023; Marengo et al., 2023; Carvalho et al., 2025). Entre 2013 e 2024, doenças infecciosas corresponderam a 22,8% dos desastres que afetaram o território brasileiro (CNM, 2025). A propagação de zoonoses — doenças infecciosas emergentes transmitidas por animais — está relacionada a múltiplos fatores, incluindo densidade populacional, cobertura florestal, clima, práticas agrícolas e expansão urbana (Winck et al., 2022). O Brasil possui hotspots de risco para zoonoses como dengue, zika, chikungunya, oropouche, malária e febre amarela (Ferreira et al., 2023). Esses hotspots concentram-se em áreas densamente povoadas da Mata Atlântica, especialmente nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, onde eventos climáticos extremos intensificam os surtos (Allen et al., 2017), e na Amazônia, onde a alta diversidade de mamíferos hospedeiros e a limitada disponibilidade de atendimento especializado aumentam os riscos (Winck et al., 2022). Em contraste, regiões como o Ceará, com predominância de florestas secas da Caatinga, e os estados de Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, abrangendo Cerrado, Mata Atlântica e Pampa, apresentam riscos relativamente menores (Winck et al., 2022). Além das zoonoses, as mudanças climáticas intensificam doenças de veiculação hídrica, frequentemente associadas a enchentes que expõem populações urbanas a águas contaminadas. Entre 2000 e 2018, 65 enchentes causaram 2.435 mortes (88% das fatalidades) e surtos de leptospirose, além de aumentar o risco de cólera (Ferreira et al., 2023). Na Amazônia, flutuações extremas do rio Amazonas elevaram a incidência de diarreia, leptospirose e dermatites (Hacon et al., 2019).

Além dos efeitos sobre a saúde, eventos climáticos extremos têm provocado perdas e danos crescentes, muitas vezes além da capacidade de adaptação de populações e instituições. Chuvas intensas causaram grandes desastres na Mata Atlântica e no

Pampa (Marengo et al., 2021b), com 3.620 alertas de desastres socioambientais concentrados em São Paulo, Belo Horizonte, Rio de Janeiro e Salvador (CEMADEN, 2024). Em 2024, o rio Acre transbordou, forçando evacuação de comunidades ribeirinhas (Serviço Geológico do Brasil, 2024), enquanto chuvas extremas no Rio Grande do Sul elevaram o rio Guaíba a 5,35m — o maior registro histórico — afetando 478 municípios e 2,4 milhões de pessoas, com 183 mortes, 27 desaparecidos, 806 feridos e mais de 15 mil casos de leptospirose (ANA, 2025) (Figura 2.9). Entre 2013 e 2024, essas chuvas causaram R\$ 215 bilhões em prejuízos no Brasil, concentrados na Região Sul (37,9%), Sudeste (23,5%) e Nordeste (22,1%), afetando infraestrutura pública e os setores agrícola, pecuário e habitacional (CNM, 2025). Eventos cada vez mais frequentes de secas severas e ondas de calor representam um risco crescente à saúde no Brasil, sobretudo nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, que abrangem os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal (Ferreira et al., 2023). A exposição ao calor está associada ao aumento de hospitalizações por doenças cardiovasculares,

respiratórias e renais, afetando de forma desproporcional populações urbanas de baixa renda, crianças e idosos (Xu et al., 2020). Projeções de aquecimento de +4 °C indicam que mortes por estresse térmico podem crescer até 40% no Norte, 35% no Nordeste e 25% no Centro-Oeste (Ferreira et al., 2023; Castelo et al., 2025), especialmente em áreas com infraestrutura precária (Ferreira et al., 2023). No Sudeste, ondas de calor associadas às secas extremas de 2013–2015 (Soriano et al., 2016) também elevaram a mortalidade e as internações por doenças cardiovasculares, respiratórias, renais, mentais e neoplásicas, além de aumentar a incidência de partos prematuros (Ferreira et al., 2023). Os incêndios florestais, agravados por secas prolongadas e atividades ilegais, têm provocado impactos severos, devastando ecossistemas e ameaçando a saúde pública. Em escala nacional, queimadas estão associadas a aumento de 23% nas internações respiratórias e 21% nas circulatórias; na região Norte, esses índices sobem para 38% e 27%, respectivamente, devido à poluição atmosférica (Réquia et al., 2021; Paiva et al., 2025).

Figura 2.9 - Sobrevoio das áreas afetadas pelas chuvas em Canoas em 2024, grande Porto Alegre.



Foto: Ricardo Stuckert / Licença Creative Commons PR: CC BY-SA 2.0

Impactos na provisão de Água e Energia Renovável (ODS 6, ODS 7)

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos enfrenta desafios tanto pela escassez, como no semiárido, quanto pelo excesso de demanda em grandes centros urbanos (ANA, 2014). Mudanças nos padrões de precipitação e o aumento da evapotranspiração, impulsionados pelas mudanças climáticas e pelo uso da terra, têm alterado o regime hidrológico e o fluxo de água em ecossistemas de água doce (ANA, 2024). Essas alterações afetam a disponibilidade hídrica, a qualidade da água e a geração de energia, altamente dependente de volumes expressivos de água. Atualmente, cidades, indústria e agricultura irrigada consomem 83% da água captada no país, reforçando a necessidade de políticas integradas de gestão hídrica frente aos desafios climáticos e sociais (ANA, 2024). Mudanças no uso da terra e desmatamento, combinados a efeitos climáticos, já reduziram em 19.718 m³/s a vazão média dos rios do Cerrado, podendo chegar a 23.653 m³/s até 2050 — uma perda equivalente a 33,9% da vazão regional — com impactos severos sobre agricultura, energia, biodiversidade e abastecimento (Salmona et al., 2023). A conversão de vegetação nativa e o aumento da irrigação podem reduzir em 30–40% as vazões médias e mínimas das bacias, levando à descontinuidade de rios e comprometendo a produção agrícola, a geração elétrica e o abastecimento durante a estação seca (Kolling & Souza, 2024). Secas prolongadas, chuvas irregulares, ocupação desordenada e falhas de planejamento já comprometeram os sistemas de abastecimento urbano. A seca histórica de 2014–2015 no Sudeste afetou o Sistema Cantareira e usinas hidrelétricas, evidenciando a vulnerabilidade da matriz elétrica à variabilidade hídrica e os impactos sobre o bioma da Mata Atlântica (Soriano et al., 2016). Mesmo após o aumento das chuvas, a crise hídrica persistiu até 2016, revelando a interação entre secas e eventos de excesso hídrico (Castellanos et al., 2022). Com alta densidade populacional, apenas 6% da água doce do país e elevada demanda urbana, industrial e agrícola, o Sudeste é uma das regiões mais vulneráveis (ANA, 2024). No Nordeste semiárido, dominado pela Caatinga e marcado pela pobreza rural, secas recorrentes reduzem a recarga de aquíferos,

agravada por saneamento precário e mudanças na precipitação (Hirata & Conicelli, 2012). Projeções indicam reduções severas de recarga subterrânea — até 70% nos aquíferos do Nordeste e entre 30% e 70% na região Norte até 2050. Entre 2012 e 2015, cerca de 38% da população do semiárido (9 milhões de pessoas) foi afetada pelas secas mais severas das últimas décadas, com impactos diretos sobre água, energia e segurança alimentar (Torres et al., 2017; Delazeri et al., 2018). A escassez crescente tem levado à exploração intensiva de aquíferos e poços privados, muitas vezes irregulares, aumentando o risco de estresse hídrico. As projeções indicam que os impactos climáticos não se limitam à hidrologia: alterações na radiação solar e nos padrões de vento podem afetar o potencial das fontes solar e eólica, aumentando os custos de expansão da matriz energética e exigindo investimentos adicionais entre US\$ 12 e 114 bilhões até 2100 para manter metas de descarbonização e garantir confiabilidade energética (Da Silva et al., 2021).

Governança Climática: Desafios à mitigação e adaptação climática

A agenda climática é, por natureza, transversal e requer cooperação entre União, estados e municípios, como reconhecido no Pacto pela Transformação Ecológica (Decreto nº 12.223/2024) e no Compromisso para o Federalismo Climático, formalizado pela Resolução nº 3/2024 do Conselho da Federação. Inspirada na adesão do Brasil à Coalition for High Ambition Multilevel Partnerships (CHAMP) durante a COP28, essa arquitetura busca superar a lógica centralizadora, promovendo maior integração entre políticas setoriais, fortalecimento das capacidades locais e

coordenação federativa frente aos impactos dos eventos climáticos extremos. Nesse contexto, como explicado no Quadro 2.1, o conceito de governança climática multinível vai além da articulação entre entes federativos, pressupondo a participação ativa de múltiplos atores — sociedade civil, setor privado, academia, povos indígenas, comunidades tradicionais e outros segmentos sociais — no processo de formulação, implementação e monitoramento das políticas climáticas.

O fortalecimento da governança climática

multinível e do federalismo climático constitui condição essencial para que o Brasil cumpra os compromissos assumidos no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e operacionalize seus instrumentos nacionais. Esses arranjos institucionais e colaborativos são fundamentais para articular e coordenar a ação entre União, estados e municípios, bem como para engajar a sociedade civil, o setor privado e a academia no enfrentamento da emergência climática (conforme exemplos na Tabela 2.3).

Quadro 2.1 - Conceitos e características do Federalismo Climático e da Governança Climática

O federalismo climático é uma abordagem fundamental e urgente para articular os esforços de todos os níveis de governo no enfrentamento da crise climática (Oliveira, 2020; Grin & Abrucio, 2017). Ganhou relevância internacional pela percepção de que a execução das ações e metas climáticas ocorre sobretudo nos territórios subnacionais e consolidou-se como uma estratégia política, administrativa e jurídica essencial no contexto da complexa federação brasileira (Oliveira, 2020). Mais do que uma formulação teórica, representa uma forma de colaboração entre União, estados e municípios para formular, implementar e monitorar políticas públicas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e de adaptação ao cenário climático, reconhecendo a transversalidade das questões que vão do uso do solo ao planejamento urbano (Grin & Abrucio, 2017; Grin, Lotta, & Abrucio, 2023). Essa abordagem se justifica pela urgência em responder às emergências climáticas, com a definição de responsabilidades claras e a garantia de recursos adequados, previsíveis e não onerosos, assegurando que o financiamento climático não amplie o endividamento dos entes subnacionais (Oliveira, 2020).

Nesse contexto, o fortalecimento da governança climática multinível torna-se elemento central do federalismo climático, refletindo o reconhecimento de que a ação climática não se restringe mais aos governos centrais, mas se distribui por múltiplos níveis de governança, a ação climática não se restringe mais aos governos centrais, mas se distribui por múltiplos níveis de governança, impulsionada pela atuação persistente de entes subnacionais e de diferentes atores sociais (Climate Chance, 2021). Nessa perspectiva, a governança climática multinível envolve a ação articulada e estruturada de governos, sociedade civil, setor privado, academia e outras partes interessadas na agenda de enfrentamento da mudança do clima (Climate Chance, 2021). Essa cooperação se materializa tanto em instâncias formais, como conselhos e consórcios, quanto em arranjos flexíveis, baseados em redes, pactos e articulações voluntárias, que fortalecem a capacidade de resposta e a ação local, sobretudo em territórios mais vulneráveis (Grin, Lotta, & Abrucio, 2023; Climate Chance, 2021). Ao integrar diferentes esferas e setores, a governança climática amplia a legitimidade das políticas, mobiliza recursos adicionais, incorpora múltiplos saberes e reforça a capacidade do país de responder de forma coordenada, participativa e inclusiva à crise climática (Climate Chance, 2021; Grin, Lotta, & Abrucio, 2023).

A governança climática compartilha com o federalismo climático o foco na cooperação interfederativa e na necessidade de institucionalização e coordenação entre União, estados e municípios para enfrentar uma emergência que não reconhece limites administrativos (Oliveira, 2020; Grin & Abrucio, 2017). Trata-se de um processo ativo, dialogado e colaborativo, que busca superar a fragmentação típica do federalismo brasileiro, assegurando que as ações de adaptação e mitigação se enraízem nos territórios e alcancem as populações em seus contextos de vida e produção (Grin, Lotta, & Abrucio, 2023). Ambas convergem ao reconhecer que a política climática deve ser transversal, integrada entre setores, orientada por ciência e resultados, e sustentada pelo fortalecimento das capacidades subnacionais, pelo planejamento coordenado e pelo compromisso com uma transição justa (Climate Chance, 2021; Grin, Lotta, & Abrucio, 2023).

Quadro 2.1 - Conceitos e características do Federalismo Climático e da Governança Climática

Entre as características comuns ao federalismo climático e à governança climática multinível, destacam-se:

- Priorização da agenda climática: a mudança do clima deve ocupar posição central na pauta governamental em todos os níveis.
- Transversalidade e integração setorial: políticas climáticas devem ser planejadas, implementadas e monitoradas de forma integrada, articulando setores como uso da terra, transporte, indústria, resíduos e agricultura.
- Planejamento e ação coordenada: elaboração de planos, instrumentos e metas de forma contínua, progressiva, coordenada e participativa, com espaços formais para alinhar estratégias e respostas.
- Fortalecimento de capacidades subnacionais: ampliação das capacidades institucionais, técnicas e informacionais de estados e municípios, com apoio técnico e financeiro da União.
- Protagonismo local: reconhecimento do papel estratégico dos municípios, por estarem mais próximos dos impactos diretos e das vulnerabilidades locais.
- Uso de evidências científicas e orientação por resultados: decisões baseadas em ciências sustentadas por metas e indicadores que assegurem a efetividade das políticas.
- Transição justa: compromisso com a redução das desigualdades sociais, de gênero e de raça, promovendo equidade, inclusão e cidadania climática.
- Participação inclusiva e multissetorial: engajamento de diferentes atores — governos, sociedade civil, setor privado e academia — em instâncias formais e informais de governança.

Foto: Elaborado pelos autores.

Nesse contexto, a atual Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em Inglês) do Brasil, apresentada à UNFCCC em 2024, estabelece a meta de reduzir entre 59% e 67% das emissões líquidas até 2035 em relação a 2005 e alcançar a neutralidade climática até 2050, o que é consistente, em termos absolutos, com um nível de emissões de 1,05 a 0,85 GtCO₂e, de acordo com os dados mais recentes do inventário nacional (Brasil, 2024a). Esse compromisso abrange toda a economia do país e gases de efeito estufa (GEE), estando embasado no modelo integrado Brazil Land-Use and Energy System model (BLUES) (Brasil, 2024a) e orientado pela ambição global de limitar o aquecimento a 1,5°C (UNFCCC, 2023). O dado oficial mais recente, presente no Primeiro Relatório Bial de Transparência (BTR1), mostra que o país emitiu 2 GtCO₂e em 2022 (Brasil, 2024b). Portanto, será necessário reduzir entre 0,95 e 1,15 GtCO₂e nas emissões líquidas anuais até 2035, em relação ao valor observado em 2022, para que a meta assumida pelo Brasil seja cumprida.

Embora represente um avanço importante em relação a ciclos anteriores, a NDC

brasileira, quando comparada à linha de base de 2019 — adotada como referência global para avaliação da ambição das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) das Partes do Acordo de Paris desde o Global Stocktake (GST) finalizado na COP 28, em dezembro de 2023 — corresponde a uma redução de 39% a 50%, ficando abaixo das metas globais orientadoras definidas a partir dessa primeira rodada do mecanismo, que indicam a necessidade de reduzir as emissões em 43% até 2030 e 60% até 2035, em relação àquele ano (UNFCCC, 2023). Nesse contexto, a NDC poderia refletir com maior intensidade o elevado potencial de mitigação do Brasil, sobretudo por meio do controle do desmatamento e da transição para sistemas produtivos sustentáveis, especialmente nos setores LULUCF e agropecuária.

Embora represente um avanço importante em relação a ciclos anteriores, a NDC brasileira, quando comparada à linha de base de 2019 — adotada como referência global para avaliação da ambição das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) das Partes do Acordo de Paris desde o Global Stocktake (GST) finalizado na COP 28, em dezembro de 2023 —

corresponde a uma redução de 39% a 50%, ficando abaixo das metas globais orientadoras definidas a partir dessa primeira rodada do mecanismo, que indicam a necessidade de reduzir as emissões em 43% até 2030 e 60% até 2035, em relação àquele ano (UNFCCC, 2023).

Nesse contexto, a NDC poderia refletir com maior intensidade o elevado potencial de mitigação do Brasil, sobretudo por meio do controle do desmatamento e da transição para sistemas produtivos sustentáveis, especialmente nos setores LULUCF e agropecuária. O estudo *Net Zero Brazil by 2040*, em desenvolvimento, aponta que a combinação de agricultura de baixa emissão de carbono, agricultura regenerativa, reflorestamento em larga escala e recuperação de pastagens degradadas poderia antecipar a neutralidade climática do país em cerca de uma década. Os resultados preliminares indicam que os setores LULUCF e agropecuária teriam capacidade de gerar remoções líquidas de aproximadamente 1,3 GtCO₂/ano até 2040, impulsionadas pela intensificação sustentável da produção e pelo aumento do sequestro de carbono em solos e biomassa florestal.

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima 2024–2035 (Plano Clima) passa a exercer papel central na articulação das ações de mitigação e adaptação climática em âmbito nacional, funcionando como instrumento de coordenação federativa e de fortalecimento da governança climática para o alcance das metas e compromissos assumidos pelo país em âmbito global (Brasil, 2024a, p. 10). Vinculado à Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009, o Plano foi originalmente concebido como seu principal instrumento de planejamento estratégico e de médio a longo prazo. Sua versão atual — em elaboração pelo Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) e em consulta pública, com mais de 1.300 contribuições abertas entre junho e setembro de 2024, além de plenárias regionais em todos os biomas — prevê um escopo ampliado, promovendo integração entre políticas setoriais e agendas temáticas, coordenação federativa e alinhamento com as metas de emissões líquidas do país, por meios de três pilares principais: (i) a Estratégia Nacional de Mitigação; (ii) a Estratégia Nacional de Adaptação; e (iii) a Estratégia Transversal, abordando temas comuns a ambos os eixos (Brasil, 2024c).

Tabela 2.3 - Exemplos de iniciativas de governança híbrida voltadas à mitigação e adaptação climáticas

Iniciativa	Tipo	Natureza	Escala	Principais instrumentos e mecanismos
AdaptaCidades Programa Cidades Verdes Resilientes (MMA)	Iniciativa nacional de apoio à adaptação climática urbana	Híbrida (pública com cooperação internacional e multissetorial)	Nacional (com execução estadual e municipal)	Apoio técnico a planos municipais e regionais de adaptação; capacitação; governança multinível; acesso a financiamento; integração federativa.
Estratégia PCI Produzir, Conservar e Incluir	Estratégia jurisdicional de desenvolvimento rural sustentável	Híbrida (pública Subnacional e multissetorial)	(Mato Grosso)	Governança multissetorial (CEEPCI e Instituto PCI), metas jurisdicionais de uso da terra, parcerias público-privadas, REDD+ e Carbono Neutro, captação de recursos climáticos
Pacto pela Restauração da Mata Atlântica	Coalizão multissetorial para restauração ecológica do bioma	Híbrida (sociedade civil, setor privado, poder público e instituições de pesquisa)	Bioma (17 estados do bioma Mata Atlântica)	Movimento nacional criado em 2009; meta de restaurar 15 milhões ha até 2050; mais de 300 instituições participantes; governança colegiada (Conselho de Coordenação, GTs e Unidades Regionais); protocolos técnicos de monitoramento e certificação; plataforma geoespacial para registro e acompanhamento de áreas restauradas
LEAF Coalition (Lowering Emissions by Accelerating Forest Finance)	Coalizão público-privada de financiamento climático	Híbrida (governos nacionais/subnacionais + setor privado internacional)	Internacional, com atuação em jurisdições nacionais/subnacionais	Pagamentos baseados em resultados (REDD+ jurisdicional), uso do padrão ART/TREES, critérios rígidos para compradores corporativos, envolvimento de povos indígenas e comunidades locais

Tabela 2.3 - Exemplos de iniciativas de governança híbrida voltadas à mitigação e adaptação climáticas

Iniciativa	Tipo	Natureza	Escala	Principais instrumentos e mecanismos
Programa Boina Linha	Programa de rastreabilidade e transparência da cadeia bovina liderado pelo Imaflora	Híbrida (sociedade civil, setor privado, filantropia internacional e MPF)	Amazônia Legal	Protocolos de auditoria e monitoramento; plataforma de transparência que conecta produtores, frigoríficos, varejistas e investidores; compromissos de fornecedores quanto à origem do gado; verificação de fornecedores diretos e combate a "vazamento" e "lavagem de gado"; dados públicos e relatórios de progresso
Moratória da Soja	Acordo setorial voluntário	Privada (empresas e ONGS)	Bioma (Amazônia)	Compromisso de não comercializar soja oriunda de áreas desmatadas após 2008; monitoramento por satélite; autorregulação setorial
BRB Finance Coalition	Coalizão empresarial do setor financeiro	Privada (instituições financeiras)	Nacional e internacional	Compromisso voluntário com metas de descarbonização de carteiras; relatórios TCFD; finanças sustentáveis e risco climático
Floresta Viva 2025	Programa de financiamento e apoio técnico para restauração ecológica em todos os biomas.	Parceria público-privada liderada pelo BNDES (setor público federal) com co-financiamento e execução por organizações da sociedade civil e instituições de pesquisa.	Nacional	Fundo (BNDES Fundo Socioambiental) com aporte inicial de até R\$ 100 milhões, ampliável a R\$ 250 milhões mediante parcerias. Execução via chamada pública de parceiro gestor, responsável por selecionar, contratar e acompanhar projetos. Inclui capacitação e fortalecimento institucional de pelo menos 20 associações ou coletivos de povos e comunidades tradicionais, assentados e agricultores familiares. Promove projetos de pequena e média escala voltados à restauração e ao uso sustentável da biodiversidade.

Desafios à Mitigação: Respostas às Forças Motrizes e Pressões Setoriais

A maior responsabilidade pelo cumprimento da meta de mitigação da NDC brasileira recai sobre os setores LULUCF e agropecuária, especialmente nos biomas Amazônia e Cerrado. Isso inclui a eliminação do desmatamento ilegal, a redução da supressão legal da vegetação nativa e o estímulo a modelos econômicos sustentáveis (Brasil, 2024a, 2024c), por meio do fortalecimento de ações de comando e controle e adoção e ampliação de incentivos e mecanismos financeiros, como pagamentos por serviços ambientais, linhas de financiamento verdes e programas jurisdicionais de REDD+. Para viabilizar o compromisso brasileiro, o Plano Clima 2024-2035 e a própria NDC reforçam o papel de instrumentos como os PPCDAm e do Cerrado (PPCerrado), a Estratégia Nacional de REDD+ (ENREDD+) e o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg 2025–2028) (Brasil, 2024a, 2024c). Desde 2023, medidas como a retomada do Fundo Amazônia, o uso de embargos remotos pelo IBAMA, o lançamento do programa União com Municípios e o fortalecimento do

monitoramento e da transparência ambiental reforçaram os instrumentos de comando e controle (Brasil, 2024a). Embora esses instrumentos tenham histórico de resultados expressivos — como a redução de 83% do desmatamento na Amazônia entre 2004 e 2012 —, enfrentam hoje desafios de sustentabilidade financeira, descontinuidade institucional e baixa coordenação intersetorial. O sucesso futuro dessas estratégias dependerá da capacidade de assegurar financiamento previsível, integração com políticas e planos subnacionais e engajamento contínuo dos atores privados e da sociedade civil (ver Tabelas 2.3 e 2.4).

O Plano Clima 2024-2035 também reconhece o papel dos territórios públicos e coletivos — como Unidades de Conservação e Terras Indígenas — na redução de emissões, propondo como prioridades a destinação de terras públicas, a demarcação e gestão participativa de territórios tradicionais, o fortalecimento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), e a valorização do conhecimento dos Povos Indígenas e comunidades locais. Na Amazônia, florestas maduras com vegetação

primária e baixa degradação, manejadas historicamente por populações Indígenas, se mantiveram como importantes sumidouros de carbono entre 2001 e 2021, removendo cerca de 340 milhões de toneladas de CO₂ por ano, enquanto regiões fora desses territórios fizeram emissões líquidas de cerca de 270 milhões de toneladas por ano (World Resources Institute, 2023).

A proposta de uma agricultura agroambiental vem ganhando força, com a adoção crescente de práticas de baixa emissão de carbono e agricultura e pecuária regenerativas, baseadas no equilíbrio ambiental, redução de insumos externos e agrotóxicos, e aumento do carbono no solo, resultando em menor emissão de GEE. Novos bioinsumos também podem reduzir as emissões da pecuária. Pesquisas da Embrapa Agrobiologia indicam que o uso de leguminosas em pastagens reduz em 20% a 30% as emissões de GEE ao diminuir o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, promovendo a transição para uma pecuária regenerativa. O consórcio de leguminosas com gramíneas fixa nitrogênio atmosférico, melhora a fertilidade do solo, amplia a biodiversidade e favorece a circulação de nutrientes. Essas práticas

podem sequestrar até 4,4 tCO₂e/ha/ano e recuperar o carbono perdido com a mudança do uso da terra. Além disso, permitem elevar a lotação para até 2,5 cabeças de bovinos por hectare (Estevam et al., 2023).

O Cerrado brasileiro, apesar de seu papel crítico na segurança hídrica nacional e na conservação da biodiversidade, permanece altamente vulnerável ao avanço agropecuário e carece de proteção efetiva. Segundo Strassburg et al. (2017), a restauração de 6,4 milhões de hectares nesse bioma — o equivalente ao déficit de vegetação do Código Florestal — poderia evitar até 83% das extinções projetadas de espécies endêmicas, além de fortalecer a provisão de serviços ecossistêmicos e a resiliência frente à mudança do clima. Os autores defendem um cenário de desenvolvimento sustentável baseado no aumento da produtividade de pastagens, direcionamento da expansão agrícola para áreas já convertidas e implantação coordenada de políticas como PPCerrado, ENREDD+, Pagamentos por Serviços Ambientais e restauração ecológica, com apoio de instrumentos como o Fundo Amazônia e o Fundo Verde para o Clima (Quadro 2.2).

Tabela 2.4. Exemplos de Políticas Subnacionais de Mitigação Climática.

Estado	Lei ou Política	Descrição resumida
Acre (AC)	Sistema Estadual de Incentivos a Serviços Ambientais (SISA) (Lei nº 2.308 de 2010)	Institui o SISA como marco pioneiro de incentivos a serviços ambientais no Brasil, voltado a fomentar a manutenção e ampliação de serviços ecossistêmicos, como o sequestro e conservação de carbono, a regulação climática, a conservação da sociobiodiversidade, das águas, do solo e da beleza cênica, além da valorização cultural e do conhecimento tradicional. O Programa ISA Carbono tornou-se o primeiro programa de REDD+ jurisdicional do Brasil.
Amapá (AP)	Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação e Incentivos aos Serviços Ambientais (PECISA) (Lei nº 3.128 de 2024)	A PECISA possui o objetivo geral de promover e incentivar ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e de conservar os serviços ambientais no estado do Amapá.
Amazonas (AM)	Sistema Jurisdicional de REDD+ do Estado do Amazonas (Lei nº 7.432 de 2024)	Estabelece o marco estadual para o REDD+ jurisdicional, com objetivos de alcançar a neutralidade de carbono, erradicar o desmatamento ilegal, restaurar áreas degradadas e preservar os estoques florestais de carbono. Promove a transição para uma economia de baixas emissões, fortalecendo cadeias sustentáveis e a bioeconomia, com repartição justa de benefícios e valorização dos ativos ambientais do estado. O sistema se orienta por princípios de transparência, integridade, justiça climática, salvaguardas socioambientais e respeito aos direitos de povos indígenas e comunidades tradicionais.
Bahia (BA)	Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais - PEPSA (Lei nº 13.223 de 2015)	Sistema público de PSA que prevê pagamentos monetários ou incentivos condicionados pela prestação de serviços ambientais. Visa valorizar economicamente os serviços ecossistêmicos, promover sua conservação e fortalecer a interação entre provedores, pagadores e mediadores. É direcionado prioritariamente a agricultores familiares e povos e comunidades tradicionais, incluindo ações de certificação, assistência técnica e educação ambiental, sob coordenação da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA/BA).

Tabela 2.4. Exemplos de Políticas Subnacionais de Mitigação Climática.

Estado	Lei ou Política	Descrição resumida
Ceará (CE)	Política Estadual sobre Pagamento por Serviços Ambientais (Lei nº 18.427 de 2023)	Institui o marco estadual de PSA voltado à manutenção e valorização dos serviços ambientais dos biomas cearenses. Busca criar instrumentos econômico-financeiros para conservação e mitigação climática, fortalecer a agricultura familiar e comunidades tradicionais, e integrar políticas estaduais e municipais de desenvolvimento sustentável. Prevê ações de capacitação, valoração de ativos ambientais, criação de corredores ecológicos e redução da pobreza em áreas provedoras de serviços ambientais.
Espírito Santo (ES)	Programa Capixaba de Mudanças Climáticas (PCMC)	Coordena políticas e ações estaduais voltadas à mitigação e adaptação climática, promovendo a redução das emissões de GEE e o aumento da resiliência da população capixaba. Integra órgãos da administração estadual em mais de 70 projetos e ações — incluindo iniciativas estratégicas — voltadas à transição para um modelo de desenvolvimento sustentável, resiliente e de baixo carbono.
Goiás (GO)	Estratégia Goiás Carbono Neutro 2050	Define a meta estadual de neutralidade de carbono até 2050, promovendo uma matriz produtiva tecnologicamente sofisticada, ambientalmente limpa e economicamente competitiva. Busca integrar esforços públicos e privados para o desenvolvimento sustentável, conservação dos biomas e resiliência hídrica, por meio de gestão jurisdicional, elaboração de Plano de Ação Climática e estímulo a práticas e tecnologias de baixo carbono, conservação florestal e participação nos mercados de carbono.
Mato Grosso (MT)	Sistema Estadual de REDD+ (Lei nº 9.878 de 2013)	Estabelece base legal e institucional para o REDD+ jurisdicional no Estado, com o objetivo de promover a redução progressiva, consistente e sustentada das emissões de gases de efeito estufa decorrentes de desmatamento e degradação florestal, bem como a conservação, o manejo florestal sustentável e a manutenção e aumento dos estoques de carbono florestal, com vistas ao alcance das metas do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Estado de Mato Grosso, da Política Estadual de Mudanças Climáticas e da Política Nacional de Mudança do Clima e demais legislação pertinente. Integra-se à Estratégia Produzir, Conservar e Incluir (PCI).
São Paulo (SP)	Plano de Ação Climática - PAC 2050	Plano de desenvolvimento de baixo carbono que visa a neutralidade de emissões até 2050, alinhado à campanha global Race to Zero. Baseia-se em transformações estruturais na infraestrutura, tecnologias e comportamentos sociais, integrando ações setoriais e transversais em energia, transporte, uso do solo e inovação. Promove crescimento econômico competitivo, reformas institucionais e disseminação de novos modelos de negócios e financiamento climático.
Rio Grande do Sul (RS)	ProClima 2050: Estratégias de Enfrentamento das Mudanças Climáticas	Plano estadual de mitigação e adaptação climática que define estratégias para alcançar a neutralidade de emissões até 2050. Estruturado em eixos setoriais, promove a descarbonização da economia gaúcha, o fortalecimento da governança climática e a resiliência de ecossistemas e comunidades. Integra ações em energia, agropecuária, uso do solo e gestão de riscos, articulando políticas públicas e instrumentos financeiros para a transição rumo a um modelo sustentável e de baixo carbono.
Tocantins (TO)	Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais - PEPSA (Lei nº 4.111 de 2023)	A Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PEPSA) estabelece diretrizes para implementação do PSA no estado, orientando a atuação do poder público, sociedade civil e setor privado na manutenção, recuperação e melhoria dos serviços ecossistêmicos. Valoriza econômica, social e culturalmente esses serviços, contribuindo para a regulação do clima, a redução de emissões de GEE por desmatamento e degradação, e a promoção de alternativas econômicas sustentáveis para os provedores de serviços ambientais.

Para enfrentar o risco de vazamento de emissões para regiões com menor fiscalização, o que pode comprometer os resultados nacionais de mitigação (Moffette & Gibbs, 2021), o governo federal elaborou planos de prevenção e controle do desmatamento para os outros biomas — Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica e Pampa — superando a abordagem fragmentada anterior. A efetividade desses planos depende da superação de desafios como a ausência de orçamento vinculado, a baixa articulação entre sistemas de informação e a

fragilidade de instrumentos de rastreabilidade e fomento territorial. Requer-se também uma governança climática capaz de integrar União, estados e municípios, respeitando competências constitucionais (CF 1988, arts. 23, 24 e 30; LC 140/2011), e articulando estratégias entre biomas com diferentes características ecológicas, econômicas e sociais (Brasil, 2024c). Dada a estrutura federativa do Brasil, as ações dos entes subnacionais — estados, Distrito Federal e municípios — serão fundamentais para o alcance das metas estabelecidas

para 2035 (Brasil, 2024a).

A regeneração natural da Caatinga sobre áreas degradadas incrementa significativamente os estoques de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo no solo. Após 35 anos, esses estoques aumentam em cerca de 115% (SOC), 110% (N) e 117% (P) em comparação à pastagem degradada. Ainda assim, os valores absolutos permanecem baixos, o que ressalta a necessidade de estratégias de restauração e manejo adicional para recuperar a fertilidade plenamente (Silva et al., 2024). Essas ações são mais eficazes quando planejadas em nível paisagístico e considerando múltiplas dimensões simultaneamente (Antongiovanni et al., 2022). No Pantanal, a mitigação climática depende do controle de incêndios florestais, da restauração de áreas degradadas e da adoção de práticas

produtivas sustentáveis. Entre as estratégias destacam-se o fortalecimento do manejo integrado do fogo, a capacitação de brigadas locais, a recuperação de margens de rios e áreas de vegetação nativa e o manejo sustentável de pastagens nas zonas de amortecimento, ações que contribuem para conservar a integridade ecológica do bioma e reduzir emissões associadas à conversão de áreas naturais (Ribeiro & Pereira, 2023). No Pampa, sistemas de pecuária com pastagens naturais e baixa lotação, frequentemente com manejo rotativo, conservam a vegetação nativa, evitam degradação do solo e promovem sequestro de carbono no solo — com absorção líquida média anual de 207 g C m^{-2} em estudos recentes. Esse manejo regenerativo preserva biodiversidade e potencial de retenção de carbono superior ao da biomassa aérea (Roberti et al., 2024).

Quadro 2.2 - A restauração da vegetação nativa como elemento central para mitigação e adaptação climática no Brasil

A restauração da vegetação nativa é tratada pelo Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg 2025–2028) como uma das principais estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Brasil. A meta nacional reafirmada no documento é recuperar 12 milhões de hectares até 2030, com foco na conversão de áreas degradadas, especialmente pastagens de baixa aptidão agrícola, para sistemas sustentáveis como Sistemas Agroflorestais (SAFs), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Silvicultura de Espécies Nativas. O plano reconhece a restauração como solução baseada na natureza de alto custo-efetividade, com impactos positivos diretos sobre a resiliência dos ecossistemas e dos territórios, sendo valorizada tanto pelo seu potencial de remoção de carbono e geração de empregos quanto pela sua contribuição à segurança hídrica, à redução de riscos climáticos e à proteção da biodiversidade (Brasil, 2024d). Para viabilizar sua implementação em grande escala, são propostas estratégias como o fortalecimento da governança federativa, a criação de incentivos financeiros e legais, o apoio à inovação tecnológica e à cadeia de sementes e mudas nativas, bem como o engajamento de múltiplos atores — desde agricultores familiares até grandes produtores, Povos Indígenas, comunidades tradicionais e assentados da reforma agrária. Também estão previstas ações em áreas públicas, incluindo Unidades de Conservação e Terras Indígenas, por meio de instrumentos como projetos de recuperação ecológica. Apesar desses avanços, o plano reconhece desafios estruturais, como a baixa articulação institucional, a insegurança jurídica e a limitação de financiamento de longo prazo, que ainda dificultam a expansão da restauração como eixo estruturante da transição para uma economia de baixo carbono no Brasil (Brasil, 2024d).

A restauração florestal em escala no Brasil deve ser compreendida como um conjunto de práticas integradas que inclui não apenas ações de recomposição ecológica com espécies nativas, mas também estratégias de recuperação de áreas degradadas e regeneração natural com diferentes finalidades. O conceito de restauração abrange múltiplas abordagens — como regeneração natural, plantio ativo, SAFs, ILPF e silvicultura de nativas — mas a fragmentação normativa ainda dificulta sua aplicação combinada. A implementação em grande escala requer a integração entre áreas públicas e privadas, com destaque para terras públicas na Amazônia, que demandam modelos contratuais inovadores e fortalecimento da governança fundiária. Também é necessário superar barreiras à articulação entre restauração obrigatória e voluntária, incluindo entraves regulatórios e econômicos. A consolidação de marcos regulatórios, o fortalecimento da coordenação institucional e a mobilização de instrumentos financeiros —

Quadro 2.2 - A restauração da vegetação nativa como elemento central para mitigação e adaptação climática no Brasil

como o mercado de carbono e os pagamentos por serviços ambientais — são condições essenciais para viabilizar a restauração como eixo da transição ecológica no país (Lopes & Chiavari, 2024).

Estudo recente de Dutra et al. (2024) reforça o papel central da restauração florestal para a mitigação das emissões e aponta que o Brasil possui cerca de 16 milhões de hectares de áreas de Reserva Legal a serem restauradas, concentradas principalmente na Amazônia (59%), Cerrado (25%) e Mata Atlântica (14,5%). Adicionalmente, o país conta com aproximadamente 37,5 milhões de hectares de pastagens severamente degradadas, com alta concentração também nesses três biomas. O custo estimado para restaurar os 12 milhões de hectares previstos no Planaveg varia entre US\$ 9,1 e US\$ 15,5 bilhões no total. Os autores destacam que a regeneração natural apresenta melhor relação custo-benefício e maior sucesso ecológico do que métodos convencionais de plantio, sendo, portanto, uma estratégia prioritária para alcançar escala e efetividade climática na restauração florestal no Brasil.

O Arco da Restauração é uma iniciativa do governo federal, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente, ICMBio e BNDES, que visa recuperar 6 milhões de hectares de áreas degradadas até 2030 na região do Arco do Desmatamento, onde a Amazônia sofre maiores pressões de desmatamento. Financiado pelo Fundo Amazônia, o programa busca transformar essa faixa crítica em um cinturão verde de proteção e restauração, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos para as comunidades locais. Sua principal ação é o Restaura Amazônia, lançado em 2024, com R\$ 450 milhões destinados à restauração de Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais, em alinhamento ao Planaveg e à meta nacional de restaurar 12 milhões de hectares.

De acordo com estudo de Brancalion et al. (2022), o Brasil pode gerar entre 1 e 2,5 milhões de empregos diretos até 2030 com a restauração de 12 milhões de hectares, conforme previsto no Planaveg, considerando uma média de 42 postos de trabalho a cada 100 hectares restaurados por plantio de mudas e sementes. Além de seus benefícios ambientais de longo prazo, a restauração ecológica representa uma oportunidade concreta e imediata de desenvolvimento socioeconômico, sobretudo em áreas rurais e vulneráveis. A cadeia produtiva da restauração, composta por viveiros, coletoras de sementes, cooperativas e pequenas empresas, já emprega milhares de pessoas, mas permanece altamente dependente de políticas públicas e financiamento estável. Os autores reforçam que o cumprimento do Código Florestal, aliado a incentivos econômicos regionais, pode transformar a restauração em um setor estratégico para a transição ecológica com justiça social.

Na Mata Atlântica, a recuperação de áreas degradadas e a implementação do Código Florestal, com foco na regularização de APPs e RLs, são estratégias prioritárias para a mitigação climática e a restauração de serviços ecossistêmicos (Dutra et al., 2024). A restauração ecológica orientada por conectividade e estoques de carbono apresenta alta relação custo-benefício e recupera funções como regulação hídrica e climática. Estratégias espacialmente otimizadas podem triplicar os ganhos de conservação e reduzir os custos pela metade, quando comparadas a abordagens não planejadas (Strassburg et al., 2019; Niemeyer et al., 2019). Agroecologia, sistemas agroflorestais e silvicultura com espécies nativas conciliam conservação, segurança alimentar e renda em pequenas

propriedades inseridas na restauração da Mata Atlântica (Shennan-Farpón et al., 2022). Ferramentas de inteligência espacial e cenários de política (como PSA e mercados de carbono) modelados por meio de abordagens espaciais indicam que metas de restauração — como 15 Mha até 2050 — podem ser alcançáveis com arranjos institucionais articulados (Shennan-Farpón et al., 2024). A meta de restaurar 15 Mha até 2050, promovida pela Aliança pela Restauração da Mata Atlântica, demanda integração entre políticas ambientais, agrícolas, climáticas e de emprego verde — ilustrada por estudos de acordo com o cenário de recuperação legal e restauração das APPs (Rezende et al., 2018).

Embora o setor de uso da terra concentre a maior parcela do potencial de mitigação, o

cumprimento integral da NDC brasileira exige sinergias com outros setores emissores, especialmente o energético e o urbano. O Plano Clima 2024–2035 propõe estratégias para descarbonizar a matriz elétrica, ampliar o uso de biocombustíveis e hidrogênio verde, promover a eficiência energética e reduzir emissões no transporte e nos centros urbanos, que concentram cerca de 85% da população e uma parcela crescente das emissões nacionais. O Brasil, cuja matriz depende majoritariamente da geração hidrelétrica, está particularmente exposto aos impactos climáticos sobre os recursos renováveis. Estudos indicam que considerar apenas a variabilidade hídrica subestima os custos e riscos da expansão energética, já que alterações no potencial solar e eólico também afetam a confiabilidade do sistema. As projeções apontam que o país deverá responder por parcela relevante dos investimentos adicionais estimados entre US\$ 12 e 114 bilhões na região até 2100, reforçando a necessidade de diversificar a matriz com fontes como solar, eólica e biomassa, e planejar a expansão elétrica com base em critérios de resiliência climática (Sando da Silva et al., 2021).

Desafios à Adaptação: Respostas aos Impactos

A adaptação climática avança lentamente no Brasil, apesar de sua institucionalização desde 2016 com o Plano Nacional de Adaptação (PNA), vinculado à Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) (Brasil, 2016). Estruturado de forma intersetorial e multiescalar, o PNA trouxe avanços como a criação do CEMADEN, o aprimoramento dos cenários climáticos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a plataforma AdaptaBrasil do Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. A experiência do PNA 2016 revelou avanços institucionais, mas também fragilidades na governança da adaptação. Apesar de ter promovido diagnósticos intersetoriais e diretrizes temáticas, o plano careceu de metas orçamentárias e de um sistema efetivo de monitoramento e coordenação federativa. Sua execução foi prejudicada pela descontinuidade administrativa, ausência de orçamento vinculado e fragmentação de responsabilidades entre ministérios e estados

(WRI Brasil, 2024). Esses fatores limitaram a transição do plano de um instrumento diagnóstico para uma política de implementação efetiva.

A urgência da adaptação ganhou destaque em 2023, diante da intensificação de eventos climáticos extremos no Sul e no Norte do país. A NDC de 2024 foi a primeira a incluir expressamente esse tema e a nova Estratégia Nacional de Adaptação (ENA), que integrará o Plano Clima 2024–2035, busca corrigir as fragilidades do PNA ao prever metas e indicadores setoriais/temáticos, arranjos de governança e integração com planos subnacionais (Lei nº 14.904/2024), com monitoramento e avaliação coordenados pelo CIM/GTA. A ENA propõe diretrizes voltadas à justiça climática, proteção ambiental e fortalecimento institucional, com planos setoriais para 16 áreas — entre elas agropecuária, energia, biodiversidade e Povos Indígenas. A biodiversidade brasileira, a mais rica do mundo, é considerada um eixo central dessa estratégia, pois a elevação das temperaturas, a alteração dos regimes de chuvas e a intensificação de eventos extremos reduzem a resiliência dos ecossistemas e comprometem serviços ecossistêmicos essenciais — como polinização, dispersão de sementes e regulação hídrica — dos quais dependem setores produtivos e modos de vida tradicionais. Diante disso, a ENA articula-se à Estratégia e Planos de Ação Nacionais para a Biodiversidade (EPANB) e ao Marco Global de Kunming-Montreal, priorizando três objetivos temáticos: conservação de espécies ameaçadas, manutenção da resiliência dos ecossistemas e incremento da conectividade ecológica (Brasil, 2024e).

A adaptação climática é estratégica para a resiliência do setor agropecuário brasileiro, essencial à economia, sociedade e meio ambiente. As perdas com a seca de 2021/2022, sobretudo no Sul, Sudeste e Centro-Oeste, evidenciam a urgência de fortalecer instrumentos como seguro rural e vigilância sanitária. O seguro rural — ao indenizar perdas decorrentes de eventos climáticos extremos, reduzir a vulnerabilidade econômica e viabilizar a adoção de tecnologias mais resilientes — é reconhecido como um instrumento-chave de adaptação climática. No entanto, sua implementação ainda enfrenta desafios relevantes, como

baixa cobertura geográfica e setorial, custo elevado mesmo com subsídio, pouca penetração em sistemas produtivos diversificados e limitada integração com políticas climáticas mais amplas. Também são prioritários o manejo sustentável da água e da biodiversidade, além da proteção de Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanentes, fundamentais para serviços ecossistêmicos como polinização e controle de pragas. A adaptação deve promover justiça climática, com foco em pequenos agricultores, mulheres e comunidades tradicionais. Ao integrar o Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (ABC+) à Estratégia Nacional de Adaptação, o país visa proteger sua segurança alimentar, base produtiva e meios de vida rurais diante dos riscos climáticos crescentes (Brasil, 2024e).

Embora tenha pouca participação nas emissões do setor agropecuário, a agricultura familiar é altamente vulnerável aos impactos das mudanças climáticas, especialmente em regiões com baixa capacidade adaptativa, como o semiárido. Perdas produtivas, insegurança hídrica e infraestrutura precária são recorrentes entre agricultores familiares mais frágeis (Obermaier & Rosa, 2013; Brasil, 2024f). Estratégias de adaptação com enfoque em justiça climática são essenciais para garantir que mulheres e grupos marginalizados tenham acesso equitativo a políticas, tecnologias e financiamento (Brousseau et al., 2024). A agroecologia, destacada em diretrizes globais como a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2023) e relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), fortalece a resiliência, assegura o direito à alimentação e apoia compromissos internacionais. Para alcançar escala, é necessário estruturar políticas públicas integradas com apoio técnico-financeiro, inclusão produtiva e coordenação territorial (Lucena et al., 2018).

A assistência técnica e extensão rural (ATER) atuou como importante facilitador da adaptação climática nos biomas brasileiros,

apoiando práticas de convivência resiliente ao semiárido. Na Caatinga, o Projeto Rural Sustentável Caatinga promoveu a implantação de Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono (TecABC), integrando ATER e cooperativas locais (Mattos et al., 2024). Já o Programa Dom Hélder Câmara II (PDHC II) demonstrou que ATER, quando associada a apoio financeiro, melhora a capacidade de resposta à seca, reduz pobreza e fortalece experiências de agricultura sustentável (Delgrossi et al., 2024).

As estratégias de adaptação climática no Brasil têm considerado as especificidades ecológicas, sociais e econômicas de cada bioma, reconhecendo que os impactos das mudanças climáticas— como eventos extremos, perda de biodiversidade e insegurança hídrica — afetam territórios e populações de forma desigual (Tabela 2.5). Em 2024, o arcabouço institucional foi ampliado com marcos importantes, como a Lei nº 14.904/2024, que exige planos de adaptação em todas as esferas federativas, integrando políticas setoriais, avaliação de riscos e participação social, e o Programa Cidades Verdes Resilientes (Decreto nº 12.041/2024), voltado à integração entre políticas urbanas e climáticas e à valorização de serviços ecossistêmicos urbanos. Apesar dos avanços, persistem lacunas críticas: maioria das políticas de adaptação carece de metas quantificadas, indicadores de risco e mecanismos robustos de financiamento e monitoramento (WRI Brasil, 2025). A baixa articulação interfederativa e a limitada capacidade técnica local dificultam a implementação em escala. Nesse cenário, a transversalização da adaptação em políticas de desenvolvimento e planos setoriais representa uma diretriz estratégica, capaz de gerar sinergias e ganhos de escala. A efetividade da Estratégia Nacional de Adaptação do Clima dependerá da consolidação de instrumentos de governança, responsabilização e financiamento que garantam sua execução integrada e contínua.

Tabela 2.5 - Focos e políticas para adaptação climática nos biomas brasileiros

Região / Bioma	Principais focos e políticas para adaptação climática
Amazônia	A adaptação climática na Amazônia envolve práticas como manejo florestal sustentável, restauração ecológica e sistemas agroflorestais resilientes, reforçando a resiliência das comunidades tradicionais a eventos extremos como seca e incêndios (Gastauer et al., 2020; Wright et al., 2014). Planos como o PPCDam, Planaveg e ENREDD+ desempenham papel estratégico ao integrar segurança climática com segurança hídrica, alimentar e territorial (Brasil, 2024a). A restauração florestal representa uma medida altamente eficaz para garantir serviços ambientais, incluindo regulação do ciclo hidrológico e conservação da biodiversidade (Strassburg et al., 2020).
Cerrado	A degradação do Cerrado causada por queimadas e eventos extremos tem sido enfrentada com manejo integrado do fogo, restauração ecológica e ações voltadas à regulação hídrica (Klink et al., 2020; Schmidt et al., 2018). Essas práticas promovem serviços ecossistêmicos essenciais, especialmente para a segurança hídrica e a mitigação de incêndios em paisagens agrícolas e nas zonas de recarga (Klink et al., 2020). Programas oficiais como PPCerrado e Planaveg ainda são centrais para estruturar a resiliência climática no bioma.
Caatinga	Na Caatinga, a adaptação climática tem priorizado a restauração de áreas degradadas com foco na conectividade, biodiversidade e resiliência ecológica (Antongiovanni et al., 2022). A regeneração natural da vegetação nativa em áreas degradadas tem sido apontada como uma estratégia eficaz para recuperar estoques de carbono, nitrogênio e fósforo no solo, contribuindo para aumentar a resiliência ecológica e recuperar a fertilidade (Silva et al., 2024). Estudos também destacam que práticas agroecológicas combinadas com diversificação produtiva, bem como o uso de sistemas agroflorestais adaptados ao semiárido, podem melhorar a segurança hídrica e a sustentabilidade produtiva (Oresca et al., 2024). A adaptação baseada em ecossistemas (EBA) na Caatinga é uma estratégia custo-efetiva, mas sua efetividade depende da superação de obstáculos institucionais e da integração com o paradigma da Convivência com o Semiárido, valorizando práticas sustentáveis e saberes locais (Niemeyer & Vale, 2022.)
Mata Atlântica	Na Mata Atlântica, a adaptação climática está fortemente relacionada à restauração ecológica, à gestão territorial integrada e à proteção de florestas secundárias. Medidas como a recuperação de áreas degradadas com base em critérios de conectividade ecológica e resiliência climática têm sido consideradas fundamentais para enfrentar a perda de serviços ecossistêmicos, como regulação hídrica e contenção de desastres (Strassburg et al., 2019). Políticas públicas voltadas à agricultura familiar, como o PRONAF Parcelamento Verde e iniciativas estaduais de restauração, são cruciais para aumentar a capacidade adaptativa de pequenos produtores, fortalecer a segurança alimentar e promover práticas sustentáveis em regiões fragmentadas como a Mata Atlântica (Shennan-Farpón et al., 2022).
Pampa	No bioma Pampa, a adaptação climática depende fortemente da conservação dos campos nativos e da adoção de práticas de manejo sustentável. A valorização do saber local e o estímulo a políticas de governança territorial participativa são considerados pilares importantes para fortalecer a resiliência das comunidades frente às mudanças climáticas (Roberti et al., 2024). O bioma Pampa brasileiro enfrenta pressões significativas de uso intensivo da terra e invasão de espécies exóticas, o que compromete seus estoques de carbono, biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Estudos recentes ressaltam o potencial dos sistemas de manejo de pastagens nativas e de restauração ecológica para promover práticas agrícolas sustentáveis e fortalecer a conservação regional (Michel & Overbeck, 2024). A literatura também destaca o papel do sensoriamento remoto como ferramenta essencial para mapear a dinâmica da paisagem, monitorar fragmentação e contribuir para ações estratégicas de restauração e manejo de pastagens (da Rocha et al., 2023).
Pantanal	No Pantanal, a adaptação climática exige práticas integradas que combinem governança hídrica, restauração de áreas degradadas e manejo sustentável de pastagens naturais. Estratégias como o Manejo Integrado do Fogo (IFM) e a restauração natural de vegetação sensível são fundamentais para lidar com os ciclos cada vez mais irregulares de cheia e seca (Martins et al., 2022). Além disso, a formação de brigadas comunitárias, o uso de tecnologia de monitoramento climático (como o aplicativo Sigma) e a valorização do conhecimento tradicional têm fortalecido a resiliência territorial, especialmente diante de incêndios recorrentes e perda de biodiversidade (UNESCO, 2023). Por fim, o monitoramento participativo e a capacitação das comunidades locais também surgem como instrumentos prioritários para a tomada de decisões climáticas adaptativas (Chiaravalloti et al., 2021).

Financiamento Climático

O financiamento climático no Brasil ainda está em consolidação e enfrenta desafios significativos para alcançar a escala necessária à transição justa e resiliente. Estima-se que o país demandará até R\$ 1 trilhão até 2030 apenas para cumprir suas metas de mitigação, a depender das trajetórias escolhidas, além de volumes expressivos para ações de adaptação, cujos custos permanecem subdimensionados. Enquanto os setores de energia e transporte já atraem maior volume de recursos privados e instrumentos financeiros, com destaque para o crescimento de mercados de capitais e investimentos corporativos, a adaptação segue subfinanciada e fragmentada. Em 2024, por exemplo, o Fundo Clima destinou apenas R\$ 3,9 milhões para adaptação, evidenciando sua baixa prioridade institucional mesmo diante da crescente vulnerabilidade de regiões como o semiárido e as zonas costeiras. A ausência de uma estratégia nacional clara, a baixa articulação entre políticas públicas e instrumentos financeiros e a fraca mobilização de atores privados limitam o uso de mecanismos inovadores, como o blended finance, no campo da adaptação. Já a mitigação tem contado com fontes mais estruturadas, como o Fundo Amazônia, linhas do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), títulos verdes e a futura regulação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), além da atuação de programas como o PPCdAm, PPCerrado, Planaveg e iniciativas jurisdicionais de REDD+, que têm contribuído para estruturar parte do ecossistema nacional de financiamento climático (Instituto Talanoa, 2024).

Strassburg et al. (2017) enfatizam que políticas climáticas consolidadas — como a Estratégia Nacional de REDD+ (ENREDD+), o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) e o Fundo Amazônia — poderiam ser estendidas ao Cerrado para criar incentivos financeiros diretos à conservação e restauração. Essa ampliação não apenas corrigiria desigualdades na distribuição de recursos entre biomas, mas também potencializaria benefícios como segurança hídrica, mitigação de emissões e proteção da biodiversidade. Integrar esses instrumentos na lógica de pagamentos por

resultados no Cerrado representa uma estratégia essencial para fortalecer a governança climática e impulsionar o desenvolvimento sustentável em regiões com grande valor ecológico e desafios institucionais.

Entre 2021 e 2023, o financiamento climático voltado ao uso da terra no Brasil totalizou aproximadamente R\$ 18,3 bilhões, com predominância de recursos públicos e foco majoritário em ações de mitigação (65%). A maior parte desse montante foi destinada à agricultura de baixo carbono, conservação e restauração florestal, com destaque para instrumentos como o crédito rural do Programa ABC+, que respondeu por mais da metade dos recursos. Apesar do volume expressivo, persistem desafios relacionados à rastreabilidade e à transparência dos critérios climáticos adotados, o que limita a avaliação da efetividade dos investimentos. As ações de adaptação ainda são pouco priorizadas, especialmente no que se refere ao apoio estruturante à resiliência de sistemas produtivos e ecossistemas. Para ampliar o impacto do financiamento climático, recomenda-se o fortalecimento de mecanismos como fundos garantidores, blended finance e pagamento por resultados, além da consolidação de marcos regulatórios e de governança que assegurem coordenação intersetorial e territorial (CPI, 2024).

A NDC brasileira de 2024, conforme exemplificado na Tabela 2.6, apresenta instrumentos financeiros — em diferentes estágios de operacionalização — como essenciais à implementação das ações de mitigação e adaptação, incluindo fundos públicos, linhas de crédito, mecanismos de mercado e reformas estruturais (Brasil, 2024a). Apesar de avanços como os títulos sustentáveis e o programa Eco Invest Brasil, persistem desafios como a falta de coordenação institucional, a ausência de uma taxonomia sustentável implementada, a baixa mobilização do setor privado para adaptação e a escassez de projetos bancáveis, isto é, projetos estruturados de forma a serem viáveis técnica, econômica e financeiramente, atendendo aos critérios exigidos por financiadores públicos e privados. Para superá-los, recomenda-se articular capital público e privado via blended finance, fortalecer a governança climática e alinhar o Plano Clima e a NDC aos fluxos financeiros

disponíveis. A mobilização efetiva do financiamento climático no país exige ambiente regulatório estável, inovação

financeira e priorização clara de ações com foco na resiliência das populações mais vulneráveis (Instituto Talanoa, 2024).

Tabela 2.6 - Instrumentos de Financiamento Climático indicados na NDC brasileira de 2024

Instrumento	Status	Descrição	Papel climático
Fundo Clima	Operacional	Fundo público federal, criado pela Lei nº 12.114/2009, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, com recursos reembolsáveis (via BNDES) e não reembolsáveis (via MMA).	Apoia projetos de mitigação de GEE e adaptação climática no Brasil, financiando desde inovação tecnológica a infraestrutura climática urbana.
Taxonomia Sustentável	Em construção (Carece de aprovação final)	É um sistema de classificação técnica que define quais atividades econômicas se qualificam como sustentáveis em termos ambientais, sociais e climáticos.	Visa guiar fluxos de investimento, orientar políticas públicas e assegurar a consistência dos apoios financeiros com a agenda climática nacional.
Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE)	Em construção (Carece de regulamentação)	Instituído pela Lei 15.042/2024, o SBCE institui o mercado regulado de carbono brasileiro, com fases que incluem criação de um registro central e regulamentação por setor.	Busca reduzir emissões de GEE e criar incentivos financeiros para inovações de baixo carbono.
Fundo Amazônia	Operacional	Criado em 2008, através do Decreto 6.527/2008, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, e sob administração do BNDES, tem por finalidade captar doações - incluindo pagamentos por resultados de REDD+ reconhecidos pelo Brasil no âmbito da UNFCCC para investimentos não reembolsáveis.	Prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento, e de promoção da conservação e do uso sustentável da Amazônia Legal. Também apoia o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e controle do desmatamento no restante do Brasil e em outros países tropicais Contribui diretamente para a mitigação climática no setor LULUCF.
Plataforma Brasil de Investimentos Climáticos e para a Transformação Ecológica (BIP)	Operacional	Liderada pelo Ministério da Fazenda (MF), em conjunto com os ministérios do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), e de Minas e Energia (MME), a Plataforma apoia o Plano de Transformação Ecológica e demais planos de transição e adaptação climática do governo em setores-chave. O BNDES atua como Secretariado da Plataforma, gerindo o dia a dia das operações.	Ao identificar projetos com potencial de impacto ambiental e climático, a BIP contribui para a mobilização de capital em ações de mitigação de emissões e adaptação às mudanças climáticas, com foco em infraestrutura verde, energia limpa, uso da terra e resiliência socioambiental.
Títulos Soberanos Sustentáveis	Operacional	Títulos de dívida pública lastreados em orçamentos federais destinados exclusivamente a financiar projetos com impactos ambientais e sociais positivos, conforme critérios do arcabouço nacional, este formalizado em 5 de setembro de 2023. O primeiro título global foi emitido em 13 de novembro de 2023 (Global 2031, US\$ 2 bi), seguido do segundo em 20 de junho de 2024 (Global 2032, US\$ 2 bi).	Ao financiar iniciativas como energia renovável, conservação da biodiversidade, saneamento e adaptação urbana, esses títulos geram recursos concretos para mitigação e adaptação, com alocação de 50-60% para temas ambientais e 40-50 % para sociais.
Eco Invest Brasil	Operacional	Programa financeiro público com foco em investimento verde (MF e BNDES). Oferece linhas de crédito para mitigar riscos cambiais e viabilizar o amadurecimento de projetos, garantindo previsibilidade e redução de riscos para investimentos de longa maturação no país e linhas de crédito com recursos públicos em condições atrativas para alavancar investimentos privados, nacionais e internacionais.	O programa viabiliza projetos estratégicos para a indústria verde, recuperação de biomas, infraestrutura para lidar com os efeitos das mudanças do clima e de inovação tecnológica para a Transformação Ecológica. Os principais setores beneficiados são: Transição energética, Bioeconomia, Economia circular e Infraestrutura verde e adaptação.

Os programas jurisdicionais de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal, Manejo Florestal Sustentável e Conservação e Aumento de Estoques de Carbono Florestal (REDD+), com resultados mensurados em escala estadual ou nacional, com créditos de carbono de alta integridade, verificação externa e salvaguardas socioambientais, se destacam como o principal mecanismo atualmente operacional e escalável para viabilizar uma economia florestal baseada na conservação, regeneração e valorização da floresta em pé (Nepstad et al., 2025). Para os estados da Amazônia, representam uma oportunidade estratégica de captar financiamento climático, fortalecer a governança territorial e liderar a agenda climática. Ao seguir padrões como o ART-TREES, estados como Acre, Mato Grosso, Pará e Tocantins poderão emitir juntos até 100 milhões de créditos em 2026. Apenas as reduções de emissões de 2023 e 2024 poderiam gerar cerca de US\$1,5 bilhão, superando todo o volume histórico do Fundo Amazônia. O JREDD+ viabiliza uma estratégia federativa de mitigação e financiamento climático centrada nos estados (Nepstad et al., 2025).

O Fundo Florestas Tropicais para Sempre (TFFF) é uma proposta ambiciosa do Brasil de fundo fiduciário permanente para financiar conservação florestal com capital público e privado. O mecanismo prevê uma remuneração anual de aproximadamente US\$ 4 por hectare conservado, sujeito a penalidades para desmatamento ou degradação — além de destinar pelo menos 20% dos recursos a Povos Indígenas e comunidades locais (Global Foundation, 2024; UNDP, 2025). Estruturado como finanças híbridas, o TFFF pretende mobilizar até US\$ 125 bilhões para gerar pagamentos condicionados ao desempenho em conservação, complementando os instrumentos existentes como o REDD+. O fundo conta com apoio do G20 e do BRICS e será um modelo de pagamento por

serviços ecossistêmicos com potencial global.

A NDC brasileira de 2024 reafirma o interesse do país em participar dos mecanismos cooperativos do Artigo 6 do Acordo de Paris, incluindo a geração e transferência de Resultados de Mitigação Internacionalmente Transferíveis (ITMOs). Essa participação dependerá de autorização nacional prévia e ajustes correspondentes para assegurar integridade ambiental e evitar dupla contagem (Brasil, 2024a). A medida abre caminho para o reconhecimento de programas jurisdicionais de REDD+ como fonte legítima de ITMOs, ampliando o acesso a mercados internacionais de carbono e atraindo investimentos para conservação florestal e transição para uma economia de baixo carbono. A possibilidade de monetização via créditos verificados e uso de ITMOs tem aumentado o interesse de investidores (Instituto Talanoa, 2024).

Durante a presidência brasileira do BRICS, em julho de 2025, os líderes do bloco adotaram a Declaração de Referência sobre Financiamento Climático, estabelecendo um marco político para a construção de um sistema internacional mais justo, eficaz e acessível aos países em desenvolvimento (BRICS, 2025). O documento propõe reformas nos bancos multilaterais para mobilizar capital privado e ampliar financiamentos concessionais voltados à transição justa e à conservação florestal. Anuncia ainda uma parceria entre os países do bloco para desenvolver mercados de carbono, com foco em capacitação e intercâmbio técnico. Os líderes também rejeitaram medidas unilaterais como as taxas de carbono na fronteira e reconheceram a proposta brasileira do TFFF, reforçando a estratégia do Brasil de liderar os esforços multilaterais em financiamento climático rumo à COP30 em Belém.

Desafios para uma Governança Climática Transformadora

A implementação de uma governança climática transformadora no Brasil exige articulação intersetorial, coordenação federativa e o fortalecimento de mecanismos institucionais e participativos que assegurem coerência e efetividade das ações climáticas. A elaboração da NDC de 2024 e do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Plano Clima) representou avanços na tentativa de alinhar metas de mitigação e adaptação com objetivos de desenvolvimento socioeconômico e redução de desigualdades, além de incorporar princípios de transição ecológica (Instituto Talanoa, 2024; Observatório do Clima, 2024) (Quadro 2.3). Entretanto, persistem desafios estruturais — como fragilidade na coordenação interministerial e ausência de mecanismos sólidos de participação pública — que ainda limitam a transformação efetiva dos compromissos climáticos em ações sustentáveis (Climate Action Tracker, 2022; Fattorelli et al., 2015).

Um dos principais desafios diz respeito à superação da fragmentação institucional e de políticas setoriais contraditórias, ainda presente em diversas áreas da administração pública. Isso se reflete na dificuldade de articulação entre planos setoriais e planos temáticos de mitigação e adaptação, bem como na ausência de metas setoriais obrigatórias e em mecanismos robustos de monitoramento, relato e verificação (Keohane & Victor, 2010). Para garantir coerência nas políticas climáticas, é essencial que os objetivos ambientais sejam incorporados a instrumentos de planejamento e orçamento, como o Plano Plurianual (PPA), a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e planos setoriais de longo prazo — o que exige novas capacidades institucionais e maior integração entre níveis de governo e setores (Cairney & Heikkilä, 2019).

A legitimidade e a eficácia da governança climática também dependem da ampliação da transparência ativa e da participação social qualificada. Embora o governo tenha lançado a plataforma Brasil Participativo, utilizada para consultas sobre o Plano Clima, a NDC de 2024 não passou por um processo específico e estruturado de escuta da sociedade civil sobre seu conteúdo. A transparência ambiental permanece limitada por lacunas na disponibilização de dados, retrocessos em mecanismos participativos e dificuldade de monitoramento cidadão da implementação das metas. Para alcançar legitimidade pública e engajamento social, é urgente estabelecer canais permanentes e vinculantes de participação da sociedade civil organizada, incluindo representantes de Povos Indígenas, comunidades tradicionais, mulheres, juventudes, setor privado e academia, na formulação, implementação e avaliação das políticas climáticas (Imaflora, 2024).

A governança climática transformadora no Brasil requer a promoção da integração entre mitigação e adaptação, reconhecendo a interdependência entre setores e a natureza multidimensional dos riscos climáticos (IPCC, 2022). Para isso, é essencial superar silos institucionais, adotando análises combinadas de custo-benefício e custo de oportunidade que avaliem estratégias conjuntas de mitigação e adaptação, maximizando cobenefícios socioeconômicos e ambientais (Climate Policy Initiative & PUC-Rio, 2024). O fortalecimento de capacidades técnicas e institucionais, especialmente em níveis subnacionais, é condição para que os entes federativos planejem e executem ações climáticas baseadas em evidências e justiça territorial (Instituto Talanoa, 2024). Consolidar essa governança representa uma oportunidade estratégica para o Brasil trilhar um modelo de desenvolvimento mais justo, resiliente e sustentável (IPCC, 2022; WRI Brasil, 2023).

Quadro 2.3 - Sociobioeconomia de Saudáveis Florestas em Pé e Rios Fluindo: Um Exemplo de Governança Climática Transformadora.

A sociobioeconomia de saudáveis florestas em pé e rios fluindo é um conceito emergente nos países Amazônicos que prioriza o bem-estar das populações e a conservação ambiental, apoiando os direitos e saberes de Povos Indígenas, comunidades locais e demais habitantes. Inspirada por práticas dos Povos Indígenas — como o “Buen Vivir”, que valoriza a relação equilibrada entre natureza e comunidade — essa abordagem combina ciência, tecnologia, inovação e saberes tradicionais para atender às necessidades reais das populações (Garrett, Ferreira, et al. 2023), e convida os formuladores de políticas a considerarem as oportunidades negligenciadas de desenvolvimento inclusivo por não investirem em sociobioeconomias.

No contexto do enfrentamento da crise climática, a sociobioeconomia representa um conceito que pressupõe eliminar o desmatamento e todas as formas de degradação ambiental em ecossistemas terrestres e aquáticos, restaurar a vegetação nativa em áreas desmatadas e degradadas, e promover o uso sustentável, econômico e inovador da biodiversidade. Assim, esta sociobioeconomia pode contribuir para manter e restaurar o carbono estocado na vegetação natural e no solo, ao mesmo tempo em que promove justiça climática, engajando pessoas e organizações no uso inovador do potencial da biodiversidade brasileira (Brandão, Arieira, Nobre, 2024).

Há pelo menos quatro linhas de desenvolvimento da sociobioeconomia que podem contribuir com a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Neste contexto, destacam-se processos e produtos relacionados com matérias-primas, biotecnologia, gastronomia e biomimética (Nobre e Brandão, 2025). Porém, somente com investimentos volumosos em novos centros de ciência, tecnologia e inovação será possível realizar todo o potencial da sociobioeconomia, que poderá impulsionar o Produto Interno Bruto do Brasil em 1,12% e com estimativas apontando que as sociobioeconomias da Amazônia brasileira poderão atingir USD 7 bilhões até 2050 quase o triplo do valor registrado em 2020 (Nobre et al. 2023, Adeney, Barata, et al., 2024).

Bons exemplos de geração de valor a partir da biodiversidade são empreendimentos como a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), no Pará, e o Projeto RECA, em Rondônia. Eles demonstram que é possível produzir polpas de frutas, óleos vegetais, palmito, chocolates e muitos outros produtos a partir de matérias-primas regionais, promovendo restauração florestal e o uso sustentável da biodiversidade. Novos produtos com mais valor agregado, como um suplemento concentrado de proteína a base de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), para atender dietas veganas, restritivas e esportivas, podem ser criados com investimento em centros especializados de pesquisa e inovação.

A biotecnologia representa uma fronteira de enorme potencial em todos os biomas brasileiros. Por exemplo, a biodiversidade microbiana presente nos solos florestais da Amazônia, da Mata Atlântica, do Cerrado e da Caatinga pode ser a base para o desenvolvimento de bioinsumos, biofertilizantes e bioestimulantes. Esses produtos podem ser reproduzidos em centros de pesquisa e inovação para contribuir para a melhoria da qualidade dos solos em sistemas agrícolas e florestais, inclusive destinados para projetos de recuperação da vegetação nativa.

A gastronomia baseada na sociobiodiversidade brasileira tem raízes profundas nos conhecimentos de Povos Indígenas e comunidades locais, que domesticaram e utilizam centenas de espécies nativas. Entre elas, destacam-se o açaí e o guaraná na Amazônia, o caju na Caatinga, a araucária, jabuticaba e a erva-mate na Mata Atlântica, o pequi no Cerrado e o mamoncillo no Pantanal. Essas espécies, fundamentais na alimentação de muitas comunidades, hoje ganham espaço em mercados nacionais e internacionais. O potencial gastronômico do conhecimento tradicional da biodiversidade brasileira pode ser fortalecido por meio de cursos de ensino superior voltados ao desenvolvimento agroalimentar das espécies da sociobiodiversidade. Ao mesmo tempo, mecanismos de repartição justa e equitativa de benefícios devem ser aplicados para reconhecer e recompensar os conhecimentos tradicionais desses povos e comunidades.

Quadro 2.3 - Sociobioeconomia de Saudáveis Florestas em Pé e Rios Fluindo: Um Exemplo de Governança Climática Transformadora.

Por fim, a biomimética inspirada na biodiversidade brasileira desponta como uma fonte promissora de inovações sustentáveis para a indústria de alimentos, químicos e máquinas.

A partir da observação dos processos biológicos, físicos e químicos de milhares de espécies nativas, é possível desenvolver soluções tecnológicas como fermentações naturais, espessantes, conservantes, embalagens inspiradas em sementes e frutos, novos solventes, peças aerodinâmicas para drones, entre outros. Investir em centros de pesquisa voltados à biomimética, capacitar especialistas locais e transformar esse conhecimento em produtos e processos, pode posicionar o Brasil como referência global em inovação baseada na natureza.

Assim, a restauração ecológica associada à sociobioeconomia deixa de ser apenas uma resposta ambiental e se consolida como base material, econômica e cultural de um novo paradigma de desenvolvimento justo, regenerativo e enraizado nos territórios. Isso exige políticas públicas e governança multiescalar que reconheçam a diversidade de saberes, territórios e produtos, viabilizando cadeias de valor justas e inovadoras para conservar e usar a biodiversidade de forma sustentável, como previsto no Marco Legal da Biodiversidade (Lei 13.123/2015) (Ribeiro et al., 2020).

Referências

- Abreu, R. C., Tett, S. F. B., Schurer, A. & Rocha, H. R. Attribution of Detected Temperature Trends in Southeast Brazil. **Geophysical Research Letters** 46, 8407–8414 (2019).
- Adeney, J. M., Barata, L. E. S., de Assis Costa, F., Baptiste, B., Oliveira Brandão, D., Juárez Vélez, B., Koch-Weser, M., Oliveira, G., Rogez, H., Fartes Dos Santos E Silva, D., Varese, M., & Arieira, J. (2024). A network of science, technology, and innovation hubs to catalyze regenerative socio-bioeconomies for the Amazon region. **Sustainable Development Solutions Network (SDSN)**. [https://eng-briefs.sp-amazon.org/241018%20Innovation%20Hubs%20PB_Digital%20\(English\).pdf](https://eng-briefs.sp-amazon.org/241018%20Innovation%20Hubs%20PB_Digital%20(English).pdf)
- Albert, J. S., Carnaval, A. C., Flantua, S. G. A., Lohmann, L. G., Ribas, C. C., Riff, D., Carrillo, J. D., Fan, Y., Figueiredo, J. J. P., Guayasamin, J. M., Hoorn, C., Melo, G. H. de, Nascimento, N., Quesada, C. A., Ulloa, C. U., Val, P., Arieira, J., Encalada, A. C., & Nobre, C. A. (2023). Human impacts outpace natural processes in the Amazon. **Science**, 379(6630). <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABO5003>
- Allen, T. et al. Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nature Communications* 8, 1–10 (2017).
- Almeida, D. de M. et al. Climate change is expected to reduce the potential distribution of *Ceiba glaziovii* in Caatinga, the largest area of dry tropical forest in South America. **Bioscience Journal** 40, (2024).
- ANA - Agência Nacional De Águas. (2025). **As enchentes no Rio Grande do Sul: lições, desafios e caminhos para um futuro resiliente**. ANA. <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/25529>
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2025, October 19). **SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. <https://www.gov.br/aneel/>.
- Antongiovanni, M., Venticinque, E. M., Tambosi, L. R., Matsumoto, M., Metzger, J. P., & Fonseca, C. R. (2022). Restoration priorities for Caatinga dry forests: Landscape resilience, connectivity and biodiversity value. **Journal of Applied Ecology**, 59, 2287–2298. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14131>
- Archer, D. et al. Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences** 37, 117–134 (2009).
- Arraut, J. M., Nobre, C., Barbosa, H. M. J., Obregon, G. & Marengo, J. Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. **Journal of Climate** 25, 543–556 (2012).
- Assad, E. D., & Assad, M. L. R. C. L. (2024). Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades. **Estudos Avancados**, 38(112), 271–292. <https://doi.org/10.1590/S0103-4014.202438112.015>
- Assad, E., Arieira, J., Brandão, D. O., & Nobre, C. A. (2023). **Toward an Amazon Green Deal: the urgent need for an innovative sociobioeconomy and regenerative livestock farming to prevent the Amazon tipping point**.
- Avila-Diaz, A., Benezoli, V., Justino, F., Torres, R., & Wilson, A. (2020). Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Climate Dynamics**, 55(5–6), 1403–1426. <https://doi.org/10.1007/S00382-020-05333-Z/METRICS>
- Barkhordarian, A., Saatchi, S. S., Behrangi, A., Loikith, P. C., & Mechoso, C. R. (2019). A Recent Systematic Increase in Vapor Pressure Deficit over Tropical South America. **Scientific Reports**, 9(1), 15331. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51857-8>
- Benzeev, R., Wilson, B., Butler, M., Massoca, P., Paudel, K., Redmore, L., & Zarbá, L. (2022). What's governance got to do with it? Examining the relationship between governance and deforestation in the Brazilian Amazon. **PLOS ONE**, 17(6), e0269729. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0269729>
- Bergier, I., Assine, M. L., McGlue, M. M., Alho, C. J. R., Silva, A., Guerreiro, R. L., & Carvalho, J. C. (2018). Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of the Total Environment**, 619–620, 1116–1125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163>
- Bevacqua, E., Schleussner, C. F., & Zscheischler, J. (2025). A year above 1.5 °C signals that Earth is most probably within the 20-year period that will reach the Paris Agreement limit. **Nature Climate Change**, 15(3), 262–265. <https://doi.org/10.1038/S41558-025-02246-9>

Borges, B. (2024, March 15). **Estiagem de 2012-21, produtividade agropecuária e transbordamentos na economia | Blog do IBRE**. FGV-IBRE. <https://blogdoibre.fgv.br/posts/estiagem-de-2012-21-produtividade-agropecuaria-e-transbordamentos-na-economia>

Borma, L. S., Costa, M. H., da Rocha, H. R., Arieira, J., Nascimento, N. C. C., Jaramillo-Giraldo, C., Ambrosio, G., Carneiro, R. G., Venzon, M., Neto, A. F., van der Hoff, R., Oliveira, B. F. A., Rajão, R., & Nobre, C. A. (2022). Beyond Carbon: The Contributions of South American Tropical Humid and Subhumid Forests to Ecosystem Services. **Reviews of Geophysics**, 60(4), e2021RG000766. <https://doi.org/10.1029/2021RG000766>

Brancalion, P. H. S., de Siqueira, L. P., Amazonas, N. T., Rizek, M. B., Mendes, A. F., Santiami, E. L., Rodrigues, R. R., Calmon, M., Benini, R., Tymus, J. R. C., Holl, K. D., & Chaves, R. B. (2022). Ecosystem restoration job creation potential in Brazil. **People and Nature**, 4(6), 1426–1434. <https://doi.org/10.1002/pan3.10370>

Brandão, D. O., Arieira, J., & Nobre, C. A. (2024). Impactos das mudanças climáticas na sociobioeconomia da Amazônia. **Estudos Avançados**, 38(112), 249–270. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438112.014>
Brasil. (2016). **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA): Volume I – Estratégia Geral**. Ministério do Meio Ambiente.

Brasil. (2016). **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA): Volume I – Estratégia Geral**. Ministério do Meio Ambiente.

Brasil. (2024a). **Nationally determined contribution: Brazil's second nationally determined contribution to the Paris Agreement**. UNFCCC. <https://unfccc.int/documents/643337>

Brasil. (2024b). **First biennial transparency report (BTR1) of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. UNFCCC. <https://unfccc.int/documents/644852>

Brasil. (2024c). **Plano nacional sobre mudança do clima – Plano Clima 2024–2035 (versão para consulta pública)**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. <https://brasilparticipativo.presidencia.gov.br/processes/planoclima/>

Brasil. (2024d). **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg 2025–2028)**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbio/dflo/plano-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa-planaveg/planaveg_2025-2028_2dez2024.pdf

Brasil. (2024e). **Estratégia Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Versão para Consulta Pública**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. <https://brasilparticipativo.presidencia.gov.br/processes/planoclima/f/87/posts/480>

Brasil. (2024f). Plano Setorial de Adaptação à Mudança do Clima para a Agricultura Familiar (versão preliminar para consulta pública). **Anexo à Estratégia Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. <https://brasilparticipativo.presidencia.gov.br/processes/planoclima/f/87/posts/480>

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2017). **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Planaveg**. Brasília: MMA. Disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbio/dflo/plano-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa-planaveg> (Acesso em 22 jul. 2025).

BRICS. (2025). **BRICS leaders' framework declaration on climate finance**. https://brics.br/en/documents/presidency-documents/2507_brics_leaders-framework_declaration-on-climate-finance.pdf

Brienen, R. J. W., Phillips, O. L., Feldpausch, T. R., Gloor, E., Baker, T. R., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Monteagudo-Mendoza, A., Malhi, Y., Lewis, S. L., Vázquez Martínez, R., Alexiades, M., Álvarez Dávila, E., Alvarez-Loayza, P., Andrade, A., Aragaõ, L. E. O. C., Araujo-Murakami, A., Arets, E. J. M. M., Arroyo, L., Zagt, R. J. (2015). Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, 519(7543), 344–348. <https://doi.org/10.1038/nature14283>
Brito, D., et al. (2018)

Brousseau, J. J., Stern, M. J., Pownall, M., & Hansen, L. J. (2024). Understanding how justice is considered in climate adaptation approaches: A qualitative review of climate adaptation plans. **Local Environment**, 29(12), 1644–1663. <https://doi.org/10.1080/13549839.2024.2386964>

Bulle, R. J. (2018). The climate lobby: a sectoral analysis of lobbying spending on climate change in the USA, 2000 to 2016. **Climatic Change**, 149(3–4), 289–303. <https://doi.org/10.1007/S10584-018-2241-Z>/METRICS

Bulhões, E., & Zaniboni, B. B. (2025). Ensaio Sobre Índices De Extremos Climáticos No Litoral Brasileiro. **Brazilian Geographical Journal**, 16(1), 4–28. <https://doi.org/10.14393/BGJ-V16N1-A2025-69972>

- Bustamante, M. M. C., Nardoto, G. B., Pinto, A. S., Resende, J. C. F., Takahashi, F. S. C., & Vieira, L. C. G. (2012). Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, 72(3 SUPPL.), 655–671. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400005>
- Caballero, C. B., Biggs, T. W., Vergopolan, N., Camelo, L. G. G., de Andrade, B. C., Laipelt, L., & L. Ruhoff, A. (2025). Decadal hydroclimatic changes in the Pantanal, the world's largest tropical wetland. **Scientific Reports**, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01980-6>
- Cairney, P., Heikkilä, T., & Wood, M. (2019). **Policy capacity and climate governance integration in complex multi-level systems**. Em Making policy in a complex world. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108679053>
- Calim Costa, M., Marengo, J. A., Alves, L. M., & Cunha, A. P. (2024). Multiscale analysis of drought, heatwaves, and compound events in the Brazilian Pantanal in 2019–2021. **Theoretical and Applied Climatology**, 155(1), 661–677. <https://doi.org/10.1007/S00704-023-04655-2>
- Camilo, J. A., de Lelis Teixeira de Andrade, C., Amaral, T. A., Tigges, C. H. P., de Melo, M. L. A., Chan, C. S., & Garcia y Garcia, A. (2018). Impact of climate change on maize grown in the Brazilian cerrado. **ASABE 2018 Annual International Meeting**. <https://doi.org/10.13031/AIM.201800967>
- Campos, J. de O., & Chaves, H. M. L. (2020). Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 35(1), 157–169. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351019>
- Candido, S. E. A., Moura, L. H. L. de, Duarte, R. M., & Prieto, J. D. (2023). A construção e desconstrução de capacidades estatais de controle do desmatamento da Amazônia: Do PPCDAm a Bolsonaro. **Estudos de Sociologia**, e023014–e023014. <https://doi.org/10.52780/RES.V28IESP.2.18869>
- Carvalho, R. L., Anjos, D., Harmange, C., Pinter, A., Faust, C., Streicker, D., Lorenz, C., Prist, P. R., & Metzger, J. P. (2025). Unpacking the risks of zoonotic and vector-borne pathogen transmission to humans in the context of environmental change. **One Earth**, 8(8), 101348. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2025.101348>
- Castelo, R. A., Santos De Almeida, D., Luiz Bezerra Da Silveira, A., Da, J., Santos, S., & Olivares, E. L. (2025). Mortalidade na região sudeste do Brasil e acidentes cardiovasculares: ondas de calor como fator agravante e silencioso. **Revista de Medicina**, 104(3.esp.). <https://doi.org/10.11606/ISSN.1679-9836.V104I3.ESP.E-236373>
- Castro, J. W. A., Gouveia Junior, W. C., Fernandes, D., Cabral, C. L., Smith da Costa, G. T., de Miranda, F. M. P. S., Serrano, J. S., Carvalho, K. M., & Lima Junior, S. B. (2025). Impacts of climate change on coastal erosion and marine flooding in Rio de Janeiro city, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 165, 105680. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2025.105680>
- Cattelan, L. G., Mattos, C. R. C., Pamplona, M. B., & Hirota, M. (2024). Mapping Climatic Regions of the Cerrado: General Patterns and Future Change. **International Journal of Climatology**, 44(16), 5857–5872. <https://doi.org/10.1002/JOC.8670>
- CEMADEN. (2024c). Cemaden registra recorde de alertas e mais de 1,6 mil ocorrências de desastre no Brasil em 2024. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/noticias/cemaden-registra-recorde-de-alertas-e-mais-de-1-6-mil-ocorrencias-de-desastre-no-brasil-em-2024> Acesso em: 20 de junho de 2025.
- Cerri, C. E. P., Cherubin, M. R., Damian, J. M., Mello, F. F. C., & Lal, R. (2021). **Soil carbon sequestration through adopting sustainable management practices: potential and opportunity for the American countries**.
- Brasil. (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Recuperado de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.html
- Clarke, B., Barnes, C., Rodrigues, R., Zachariah, M., Stewart, S., Raju, E., Baumgart, N., Heinrich, D., Libonati, R., Santos, D., Albuquerque, R., Alves, L., Pinto, I., Otto, F., Kimutai, J., Philip, S., Kew, S., Bazo, J., & Wynter, A. (2024). Climate change, not El Niño, main driver of extreme drought in highly vulnerable Amazon River Basin. **Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)**. <https://doi.org/10.25561/108761>
- Climate Action Tracker. (2022). **Climate governance in Brazil: Context and challenges for boards of directors**. Climate Governance Series. ClimateWorks Foundation, NewClimate Institute & Climate Analytics. Retrieved from https://climateactiontracker.org/documents/1015/2022_02_CAT_Governance_Report_Brazil.pdf

CPI - Climate Policy Initiative. (2024). **Panorama de financiamento climático para uso da terra no Brasil: 2021–2023**. Retrieved from <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2025/01/Panorama-de-Financiamento-Climatico-para-Uso-da-Terra-no-Brasil-2021-2023.pdf>

CNM - Confederação Nacional de Municípios. (2025). **Estudo Panorama dos desastres no Brasil - 2013 a 2024**.

Copernicus Atmosphere Monitoring Service. (2024, September 23). **Pantanal and Amazon wildfires saw their worst wildfires in almost two decades**. <https://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-pantanal-and-amazon-wildfires-saw-their-worst-wildfires-almost-two-decades>

Correa, S. B., de Oliveira, P. C., Nunes da Cunha, C., Penha, J., & Anderson, J. T. (2018). Water and fish select for fleshy fruits in tropical wetland forests. *Biotropica*, 50(2), 312–318. <https://doi.org/10.1111/BTP.12524>

Costa, F. de A., Larrea, C., Araújo, R., Benatti, J. H., Giraldo, V., Hecht, S., Murmis, M. R., Peters, S., Schmink, M., Terán, E., & Treccani, J. (2023). Land market and illegalities: the deep roots of deforestation in the Amazon. <https://doi.org/10.55161/SLBQ1069>

Costa, F. R. C., Marengo, J. A., Albernaz, A. L. M., Cunha, A. P., Cuvi, N., Espinoza, J.-C., Ferreira, J., Jimenez-Muñoz, J. C., Páez, M. B., Carramaschi de Algão Querido, L., & Schöngart, J. (2024). **Policy Brief: Droughts in the Amazon**. <https://doi.org/10.55161/LVYB6857>

Costa, F., & Marengo, J. (2023). **Statement on the 2023 Amazon Drought**. Science Panel for the Amazon. https://www.theamazonwewant.org/spa_publication/statement-on-the-2023-amazon-drought/

Costa, M. H., Borma, L., Brando, P. M., Marengo, J. A., Saleska, S. R., & Gatti, L. v. (2021). Biogeophysical cycles: Water recycling, climate regulation. In C. et al. Nobre (Ed.), *Amazon Assessment Report 2021*. United Nations Sustainable Development Solutions Network.

Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Becker, W. E., Monforti-Ferrario, F., Quadrelli, R., Riquez, M. A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., & Vignati, E. (2023). GHG emissions of all world countries. **Publications Office of the European Union**, 134. <https://doi.org/10.2760/953322>

Cruz, R. C., Poletto, I., Carlos, A., Copetti, C., & Stoll Moraes, B. (2023). **Estratégias para a Mitigação das Mudanças Climáticas no bioma Pampa**. <https://www.researchgate.net/publication/391867071>

Cunha, A. P. M. A., Buermann, W., & Marengo, J. A. (2024). Changes in compound drought-heat events over Brazil's Pantanal wetland: an assessment using remote sensing data and multiple drought indicators. *Climate Dynamics*, 62(1), 739–757. <https://doi.org/10.1007/S00382-023-06937-X>

da Rocha, N. S., Veettil, B. K., de Carvalho, C. M., Käfer, P. S., Diaz, L. R., Rolim, S. B. A., & Cruz, R. C. (2021). Potential impacts of air temperature rise in the hydric balance of Brazilian Pampa biome. *Acta Geophysica*, 69(4), 1427–1445. <https://doi.org/10.1007/S11600-021-00589-3/METRICS>

da Silva, J. O., Galvão, F., da Silva, A. C., & Higuchi, P. (2022). Tree species of Atlantic forest and Pampa alluvial forests in the context of climate change. *Revista Árvore*, 46, e4613. <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000013>

da Silva, S. R. S., Hejazi, M. I., Iyer, G., Wild, T. B., Binsted, M., Miralles-Wilhelm, F., Patel, P., Snyder, A. C., & Vernon, C. R. (2021). Power sector investment implications of climate impacts on renewable resources in Latin America and the Caribbean. *Nature Communications*, 12(1), 1276. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21502-y>

David Tsai, Renata Potenza, Gabriel Quintana, Anderson Matheus Cardoso, Priscila Alves, Felipe Barcellos e Silva, Ingrid Graces, Helen Sousa, Iris Coluna, Joice Oliveira, Bárbara Zimbres, Julia Shimbo, Camila Silva, Celso Silva-Junior, Wallace Silva, Ane Alencar, & Claudio Angelo. (2024). **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do brasil 1970-2023**.

de Castro, D., de Lima, D. A. C., & Romano, C. (2022). The Telecoupling Approach to the Global Food System and Climate Change Regime: The Pivotal Role of Brazil and China. In **Environment and Climate-smart Food Production** (pp. 73–107). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71571-7_3

de Oliveira, M. L., dos Santos, C. A. C., de Oliveira, G., Perez-Marin, A. M., & Santos, C. A. G. (2021). Effects of human-induced land degradation on water and carbon fluxes in two different Brazilian dryland soil covers. *Science of The Total Environment*, 792, 148458. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148458>

- Delazeri, L. M. M., Cunha, D. A. da, & Couto-Santos, F. R. (2018). Climate change and urbanization: evidence from the semi-arid region of Brazil. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, 12(2), 129–154. <https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/view/260>
- Delgrossi, M. E., Vieira, L. C. G., Avila, M. L., Valencia Perafán, M. E., & Miranda Filho, R. J. (2024). **The impact of technical assistance and rural extension for poor family farmers: the case of the Dom Hélder Câmara II Program**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 62(2), e271282. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.271282en>
- Dutra, D. J., Silveira, M. V. F., Mataveli, G., Ferro, P. D., Magalhães, D. da S., de Medeiros, T. P., Anderson, L. O., & Aragão, L. E. O. e. C. de. (2024). Challenges for reducing carbon emissions from Land-Use and Land Cover Change in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 22(3), 213–218. <https://doi.org/10.1016/J.PECON.2024.04.004>
- Dutra, H. P., Metzger, J. P., & Brancalion, P. H. S. (2024). Restoration as a climate mitigation and adaptation strategy in the Atlantic Forest: Implementation gaps and policy opportunities. **Environmental Science & Policy**, 150, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.01.012.4>
- Espinoza, J. C., Marengo, J. A., Schongart, J., & Jimenez, J. C. (2022). The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods. **Weather and Climate Extremes**, 35, 100406. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2021.100406>
- Esquivel-Muelbert, A., Baker, T. R., Dexter, K. G., Lewis, S. L., Brienens, R. J. W., Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Monteagudo-Mendoza, A., Arroyo, L., Álvarez-Dávila, E., Higuchi, N., Marimon, B. S., Marimon-Junior, B. H., Silveira, M., Vilanova, E., Gloor, E., Malhi, Y., Chave, J., Barlow, J., ... Phillips, O. L. (2019). Compositional response of Amazon forests to climate change. **Global Change Biology**, 25(1), 39–56. <https://doi.org/10.1111/GCB.14413>
- Estevam, C. G., Pavão, E. M., & Assad, E. D. (2023). **Quantificação das emissões de GEE no setor agropecuário: Fatores de emissão, métricas e metodologias** (Relatório técnico). Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getulio Vargas - FGV, São Paulo, SP, Brasil.
- Estevam, C. G., Pavão, E. M., & Assad, E. D. (2023). **Quantificação das emissões de GEE no setor agropecuário: Fatores de emissão, métricas e metodologias** (Relatório técnico). Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getulio Vargas - FGV, São Paulo, SP, Brasil.
- FAO - Food and Agriculture Organization. (2016). **State of Food and Agriculture: Climate Change, agriculture, and food security**. Food & Agriculture Organization.
- FAO. (2023). *Agroecology for climate resilience and sustainable food systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/en/>
- Fatorelli, L., Gebara, M. F., May, P., Zhang, S., & Di Gregorio, M. (2015). The REDD+ governance landscape and the challenge of coordination in Brazil. **CIFOR Infobrief**, 115. Centre for International Forestry Research (CIFOR). <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/5508/>
- Feron, S., Cordero, R. R., Damiani, A., Llanillo, P. J., Jorquera, J., Sepulveda, E., Asencio, V., Laroze, D., Labbe, F., Carrasco, J., & Torres, G. (2019). Observations and Projections of Heat Waves in South America. **Scientific Reports**, 9(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-019-44614-4;SUBJMETA>
- Ferreira, M. A. M., Leite, Y. L. R., Junior, C. C., & Vicente, C. R. (2023). Impact of climate change on public health in Brazil. **Public Health Challenges**, 2(1), e62. <https://doi.org/10.1002/PUH2.62>
- Fleischmann, A. S., Laipelt, L., Papa, F., Paiva, R. C. D. de, de Andrade, B. C., Collischonn, W., Biudes, M. S., Kayser, R., Prigent, C., Cosio, E., Machado, N. G., & Ruhoff, A. (2023). Patterns and drivers of evapotranspiration in South American wetlands. **Nature Communications**, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/S41467-023-42467-0;TECHMETA>
- Fletcher, C., Ripple, W. J., Newsome, T., Barnard, P., Beamer, K., Behl, A., Bowen, J., Cooney, M., Crist, E., Field, C., Hiser, K., Karl, D. M., King, D. A., Mann, M. E., McGregor, D. P., Mora, C., Oreskes, N., & Wilson, M. (2024). Earth at risk: An urgent call to end the age of destruction and forge a just and sustainable future. **PNAS Nexus**, 3(4). <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae106>
- Flores, B. M., Montoya, E., Sakschewski, B., Nascimento, N., Staal, A., Betts, R. A., Levis, C., Lapola, D. M., Esquivel-Muelbert, A., Jakovac, C., Nobre, C. A., Oliveira, R. S., Borma, L. S., Nian, D., Boers, N., Hecht, S. B., ter Steege, H., Arieira, J., Lucas, I. L., ... Hirota, M. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. **Nature** 2024 626:7999, 626(7999), 555–564. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0>

- Fonseca, F. N. de A., & Bustamante, M. M. da C. (2025). The importance of indigenous territories for the provision of ecosystem services: A case study in the Brazilian Cerrado-Amazon Transition. **Ecosystem Services**, 72. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2025.101706>
- Franco, M. A., Rizzo, L. v., Teixeira, M. J., Artaxo, P., Azevedo, T., Lelieveld, J., Nobre, C. A., Pöhlker, C., Pöschl, U., Shimbo, J., Xu, X., & Machado, L. A. T. (2025). How climate change and deforestation interact in the transformation of the Amazon rainforest. **Nature Communications**, 16(1), 7944. <https://doi.org/10.1038/S41467-025-63156-0>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Landschützer, P., le Quéré, C., Li, H., Luijckx, I. T., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., ... Zeng, J. (2025). Global Carbon Budget 2024. **Earth System Science Data**, 17(3), 965–1039. <https://doi.org/10.5194/ESSD-17-965-2025>
- Garrett, R., Ferreira, J., Abramovay, R., Brandão, J., Brondizio, E., Euler, A., Pinedo, D., Porro, R., Rocha, E. C., Sampaio, O., Schmink, M., Torres, B., & Varese, M. (2023). **Supporting Sociobioeconomies of healthy standing forests and flowing rivers in the amazon.**
- Gash, J. H. C., & Nobre, C. A. (1997). Climatic Effects of Amazonian Deforestation: Some Results from ABRACOS. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 78(5), 823–830. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0823:CEOADS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0823:CEOADS>2.0.CO;2)
- Gatti, L. v., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H. L. G., Tejada, G., Aragão, L. E. O. C., Nobre, C., Peters, W., Marani, L., Arai, E., Sanches, A. H., Corrêa, S. M., Anderson, L., von Randow, C., Correia, C. S. C., Crispim, S. P., & Neves, R. A. L. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, 595(7867), 388–393. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
- Gatti, L. v., Costa, P. M., Arieira, J., Blackham, G., Alencar, A., Macedo, M., Brown, F., Garavito, S., Suruí, G., Silva, S., Beto Verissimo, Susanna Hecht, & Scott Saleska. (2023). **PB Human Impacts On Carbon Emissions, Losses In Ecosystems Services And Financial Solutions In The Amazon.**
- Getirana, A. (2016). Extreme Water Deficit in Brazil Detected from Space. **Journal of Hydrometeorology**, 17(2), 591–599. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0096.1>
- Girard, P., de Oliveira Roque, F., Cabral de Sousa, W., & Hamilton, S. K. (2025). Expansion of fluvial transport of commodities through the Pantanal floodplains of Brazil: Potential impacts and interference by climate change. **Conservation Science and Practice**, 7(7), e13126. <https://doi.org/10.1111/CSP2.13126>
- Global Forest Coalition. (2025, abril). **Tropical Forest Forever Facility (TFFF): Concept Note 2.0**. Retrieved from <https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2025/04/2025-02-24-TFFF-Full-Concept-Note-2.0-Final.pdf>
- Global Foundation. (2024). **Tropical Forests Forever Fund: Proposal for a Global Solution**. Global Foundation.
- Gomes, L. E. de O., Sanders, C. J., Nobrega, G. N., Vescovi, L. C., Queiroz, H. M., Kauffman, J. B., Ferreira, T. O., & Bernardino, A. F. (2021). Ecosystem carbon losses following a climate-induced mangrove mortality in Brazil. **Journal of Environmental Management**, 297, 113381. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113381>
- Gomes, L., Schüler, J., Silva, C., Alencar, A., Zimbres, B., Arruda, V., Silva, W. V. da, Souza, E., Shimbo, J., Marimon, B. S., Lenza, E., Fagg, C. W., Miranda, S., Morandi, P. S., Marimon-Junior, B. H., & Bustamante, M. (2024). Impacts of Fire Frequency on Net CO₂ Emissions in the Cerrado Savanna Vegetation. **Fire**, 7(8), 280. <https://doi.org/10.3390/FIRE7080280/S1>
- Gomes, V. H. F., Vieira, I. C. G., Salomão, R. P., & ter Steege, H. (2019). Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. **Nature Climate Change** 2019 9:7, 9(7), 547–553. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2>
- Gulizia, C. N., Raggio, G. A., Camilloni, I. A., & Saurral, R. I. (2022). Changes in mean and extreme climate in southern South America under global warming of 1.5 °C, 2 °C, and 3 °C. **Theoretical and Applied Climatology**, 150(1–2), 787–803. <https://doi.org/10.1007/S00704-022-04199-X/METRICS>
- Hacon, S. S., Oliveira, B. F. A., & Silveira, I. (2019). A Review of the Health Sector Impacts of 4 °C or more Temperature Rise. In **Climate Change Risks in Brazil** (pp. 67–129). Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4>

Hecht, S., Schmink, M., Abers, A., Assad, E., Bebbington, D. H., Brondizio, E., Costa, F., Durán Calisto, A. N., Fearnside, P., R., G., Heilpern, S., McGrath, D., Oliveira, G., Pereira, H., & Pinedo-Vazquez, M. (2021). Amazon in Motion: Changing politics, development strategies, peoples, landscapes, and livelihoods. In C. et al. Nobre (Ed.), **Amazon Assessment Report 2021**. United Nations Sustainable Development Solutions Network.

Hirata, R., & Conicelli, B. P. (2012). Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, 84(2), 297–312. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000037>

Hirota, M., Flores, B. M., Betts, R., Borma, L. S., Esquivel-Muelbert, A., Jakovac, C., Lapola, D. M., Montoya, E., Oliveira, R. S., & Sakschewski, B. (2021). Chapter 24: Resilience of the Amazon forest to global changes: Assessing the risk of tipping points. In **Amazon Assessment Report 2021**. UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN). <https://doi.org/10.55161/QPYS9758>

Hoffmann, R. (2014). A agricultura familiar produz 70% dos alimentos consumidos no Brasil? **Segurança Alimentar e Nutricional**, 21(1), 417–421. <https://doi.org/10.20396/SAN.V21I1.1386>

Hofmann, G. S., Cardoso, M. F., Alves, R. J. V., Weber, E. J., Barbosa, A. A., de Toledo, P. M., Pontual, F. B., Salles, L. de O., Hasenack, H., Cordeiro, J. L. P., Aquino, F. E., & de Oliveira, L. F. B. (2021). The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Global Change Biology**, 27(17), 4060–4073. <https://doi.org/10.1111/GCB.15712>

Hofmann, G. S., Silva, R. C., Weber, E. J., Barbosa, A. A., Oliveira, L. F. B., Alves, R. J. V., Hasenack, H., Schossler, V., Aquino, F. E., & Cardoso, M. F. (2023). Changes in atmospheric circulation and evapotranspiration are reducing rainfall in the Brazilian Cerrado. **Scientific Reports**, 13(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38174-x>

Hofmann, G. S., Weber, E. J., Bastazini, V. A. G., Rossatto, D. R., Franco, A. C., Granada, C. E., Kaminski, L. A., Ubaid, F. K., Leandro-Silva, V., Borges-Martins, M., Silva, R. C., Cardoso, M. F., Oliveira, L. F. B., Aquino, F. E., & Pereira, M. J. R. (2025). Climate Change in the Brazilian Cerrado: A Looming Threat to Terrestrial Biodiversity. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, 16(5), e70022. <https://doi.org/10.1002/WCC.70022>

Imaflora. (2024). **Mapeamento dos retrocessos de transparência e participação social na política ambiental**.

INPEa. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2025). **Monitoramento do Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Desflorestadas da Amazônia Legal—TerraClass Amazônia**. <http://Terrabrasilis.Dpi.Inpe.Br/Downloads/>
<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>

INPEb - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2025). COORDENAÇÃO-GERAL DE CIÊNCIAS DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DOS BIOMAS BRASILEIROS. Deter – **Monitoramento Diário da Supressão e Degradação da Vegetação Nativa – Alertas – Amazônia/Cerrado/Pantanal** – Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>.

INPEb - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2025). Coordenação-Geral de Ciências da Terra. Prodes – Programa de Monitoramento dos Biomas Brasileiros. **Monitoramento Anual da Supressão da Vegetação Nativa – Amazônia/Cerrado/Pantanal/Caatinga/Mata Atlântica/Pampa** – Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 15 julho. 2025.

INPEc (2025). **Banco de Dados de queimadas**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 22 de set. 2025

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. (2024). **Normais Climatológicas do Brasil**. <https://portal.inmet.gov.br/normais>.

Instituto Talanoa. (2024). **Financiamento climático por inteiro: O ecossistema do financiamento climático no Brasil**. https://institutotalanoa.org/wp-content/uploads/2024/09/00_NOAukpact-Desktop-v20240912.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers** (Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. (2025). **Sistema de Alerta de Desmatamento do Cerrado (SAD Cerrado)**. <https://Sadcerrado.Ipam.Org.Br/>

Amorim, L., Ferreira, R., Dias, M., Souza Jr., C., & Veríssimo, A. Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) – Julho de 2025. **Belém: Imazon**, 2025.

- IPCC. (2014). **Climate Change 2014: Synthesis Report**. [Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC. (2021). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (V. , Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou, Eds.). Cambridge University Press.
- IPCC. (2023). Sections. In H. Lee & J. Romero (Eds.), **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 (pp. 33–115). Geneva, Switzerland: IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Joly, C. A., Scarano, F. R., Bustamante, M., Gadda, T. M. C., Metzger, J. P. W., Seixas, C. S., Ometto, J. P. H. B., Pires, A. P. F., Boesing, A. L., Sousa, F. D. R., Quintão, J. M. B., Gonçalves, L. R., Padgurschi, M. de C. G., de Aquino, M. F. D. S., de Castro, P. F. D., & dos Santos, I. L. (2019). Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. **Biota Neotropica**, 19(4), 20190865. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0865>
- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Schoengart, J., Wittmann, F., & da Cunha, C. N. (2016). Brazilian Wetlands: Classification. In **The Wetland Book** (pp. 1–7). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8_333-1
- Keohane, R. O., & Victor, D. G. (2010). The regime complex for climate change. **Perspectives on Politics**, 9(1), 7–23. <https://doi.org/10.1017/S1537592710004068>
- Koilakou, E., Hatzigeorgiou, E., & Bithas, K. (2024). Social and economic driving forces of recent CO2 emissions in three major BRICS economies. **Scientific Reports**, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58827-9>
- Kolling Neto, A., & Souza, S. A. (2024). Assessment of the effects of land use and cover changes and climatic variability on streamflow in a Brazilian savannah basin. **Theoretical and Applied Climatology**, 155(9), 8755–8770. <https://doi.org/10.1007/S00704-024-05151-X>
- Lapola, D. M., Pinho, P., Barlow, J., Aragão, L. E. O. C., Berenguer, E., Carmenta, R., Liddy, H. M., Seixas, H., Silva, C. V. J., Silva-Junior, C. H. L., Alencar, A. A. C., Anderson, L. O., Armenteras, D., Brovkin, V., Calders, K., Chambers, J., Chini, L., Costa, M. H., Faria, B. L., Walker, W. S. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, 379(6630). <https://doi.org/10.1126/science.abp862>
- Lawrence, D., Coe, M., Walker, W., Verchot, L., & Vandecar, K. (2022). The Unseen Effects of Deforestation: Biophysical Effects on Climate. **Frontiers in Forests and Global Change**, 5, 756115. <https://doi.org/10.3389/FFGC.2022.756115/BIBTEX>
- Lázaro, W. L., Oliveira-Júnior, E. S., Silva, C. J. da, Castrillon, S. K. I., & Muniz, C. C. (2020). Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 32, e104. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X7619>
- Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., & de Oliveira, U. (2024). Climate risks to soy-maize double-cropping due to Amazon deforestation. **International Journal of Climatology**, 44(4), 1245–1261. <https://doi.org/10.1002/JOC.8381>
- Libonati, R., Geirinhas, J. o. L., Silva, P. S., Russo, A., Rodrigues, J. A., Belém, L. B. C., Nogueira, J., Roque, F. O., Dacamara, C. C., Nunes, A. M. B., Marengo, J. A., & Trigo, R. M. (2022). Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. **Environmental Research Letters**, 17(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AC462E>
- Lopes, C. L., & Chiavari, J. (2024). *Forest Restoration in Brazil: Essential Factors for Promoting Restoration at Scale*. Lucena, A. F. P., Hejazi, M., Vasquez-Arroyo, E., et al. (2018). Interactions between climate change mitigation and adaptation: The case of hydropower in Brazil. **Energy**, 164, 1161–1177. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.005>
- Lyra, A., Tavares, P., Chou, S. C., Sueiro, G., Dereczynski, C., Sondermann, M., Silva, A., Marengo, J., & Giarolla, A. (2018). Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and Applied Climatology**, 132(1–2), 663–682. <https://doi.org/10.1007/S00704-017-2067-Z/METRICS>

Mamede, J. E. L., Silva, L. P., Ferreira, M. F. da S., & Sousa, W. F. de. (2025). A seca na Amazônia em 2023: reflexões sobre os impactos na biodiversidade socioeconômica. **Unifunc Científica Multidisciplinar**, 14(16), 1–13. <https://doi.org/10.24980/ucm.v14i16.6329>

Manes, S., Costello, M. J., Beckett, H., Debnath, A., Devenish-Nelson, E., Grey, K. A., Jenkins, R., Khan, T. M., Kiessling, W., Krause, C., Maharaj, S. S., Midgley, G. F., Price, J., Talukdar, G., & Vale, M. M. (2021). Endemism increases species' climate change risk in areas of global biodiversity importance. **Biological Conservation**, 257, 109070. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2021.109070>

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2022). **Agropecuária brasileira em números**. CGPLAC/DAEP/SPA/MAPA. <https://www.gov.br/agricultura>

MapBiomass Brasil (2023) – **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Acesso em set 20 através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/>

Mapbiomas. (2023). **RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023**.

MapBiomass. (2025a). **RAD2024: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024**. Mapbiomas, São Paulo. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5193>

Mapbiomas. (2025b). **RAF 2024: Relatório Anual do Fogo - Resultados da Coleção 4 (1985 a 2024)**. <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/JKWSW7>

Marengo, J. A., & Camargo, C. C. (2008). Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, 28(7), 893–904. <https://doi.org/10.1002/JOC.1584>

Marengo, J. A., Ambrizzi, T., Reboita, M. S., Costa, M. H., Dereczynski, C., Alves, L. M., & Cunha, A. P. (2023). **Climate Variability and Change in Tropical South America**. 15–44. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21329-8_2

Marengo, J. A., Camarinha, P. I., Alves, L. M., Diniz, F., & Betts, R. A. (2021b). Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. **Frontiers in Climate**, 3, 610433. <https://doi.org/10.3389/FCLIM.2021.610433/BIBTEX>

Marengo, J. A., Espinoza, J. C., Fu, R., Jimenez Muñoz, J. C., Alves, L. M., da Rocha, H. R., & Schöngart, J. (2024). Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydrometeorology in the Amazon region: A review. **Acta Amazonica**, 54(spe1), e54es22098. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202200980>

Marengo, J. A., Espinoza, J.-C., Fu, R., Jimenez Muñoz, J. C., Muniz Alves, L., Ribeiro da Rocha, H., & Schongart, J. (2021a). Chapter 22: Long-term variability, extremes, and changes in temperature and hydro meteorology. In **Amazon Assessment Report 2021**. UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN). <https://doi.org/10.55161/ZGJG8060>

Marengo, J. A., Galdos, M. v., Challinor, A., Cunha, A. P., Marin, F. R., Vianna, M. dos S., Alvala, R. C. S., Alves, L. M., Moraes, O. L., & Bender, F. (2022). Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, 1(1), e17. <https://doi.org/10.1002/CLI2.17>

Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, 129(3–4), 1189–1200. <https://doi.org/10.1007/S00704-016-1840-8>

Mattos, V. Z. A., Barreto, R. C., & Freitas, M. A. V. (2024). **Implantação de tecnologias agrícolas de baixo carbono na Caatinga: Projeto Rural Sustentável Caatinga**. *Nativa*, 12(4), 682–692. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i4.18035>

MCTI - Ministério da Ciência, T. e I. (2021). **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasil. MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Brasília – DF.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil: 6. ed. Brasília, DF: Brasil. MCTI, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-aneais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-aneais.pdf>. Acesso em: 19 out. 2025.

MCTI- Ministério da Ciência, T. e I. (2025, September 1). **Sirene: Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>.

Melo, R. F. de, & Voltolini, T. v. (2019). Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. In T. V. (Ed.). In: MELO, R. F. de; VOLTOLINI (Ed.), **Agricultura-familiar-dependente-de-chuva-no-semiarido-2019**. Brasília, DF, Embrapa, 2019. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1114220>

MMA -Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2025). **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas na Mata Atlântica (PPMata Atlântica) (2025 a 2027)**.

Ministério de Minas e Energia – MME. (2025). **BEN: Relatório Síntese 2025**. <https://www.epe.gov.br/>

Moffette, F., & Gibbs, H.K. (2021). Agricultural displacement and deforestation leakage in the Brazilian Legal Amazon. **Land Economics**, 97(1), 155–179. <https://doi.org/10.3368/wple.97.1.040219-0045R>

Montoya, M. A., Allegretti, G., Sleimann Bertussi, L. A., & Talamini, E. (2021). Renewable and Non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: Brazilian contributions to climate change via international trade. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127700. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127700>

Nepstad, D., Seroa da Motta, R., Ardila, J. P., De Los Rios, M., Andrade, A. M., Muccillo, L., Avi, L., Frigeri, F. R., & Vieira, T. (2025). **Amazon forest: A global climate solution**. Earth Innovation Institute. <https://earthinnovation.org/uploads/2025/06/EII%20Amazon%20Forest%20Climate%20Solution%20ENG.pdf>

Neto, A. K., & Souza, S. A. (2024). Assessment of the effects of land use and cover changes and climatic variability on streamflow in a Brazilian savannah basin. **Theoretical and Applied Climatology**, 155(9), 8755–8770. <https://doi.org/10.1007/S00704-024-05151-X>

Niemeyer, M., Rodrigues, R. R., et al. (2019). Planning forest restoration within private land holdings with spatially explicit cost-effectiveness metrics: connectivity and carbon stock benefits. *Science of the Total Environment*, 705, 135262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135262>.

Niemeyer, A., & Vale, R. S. (2022). Adaptação baseada em ecossistemas na Caatinga: desafios institucionais e oportunidades territoriais. **Revista Brasileira de Política e Administração Pública**, 8(2), 123–145.

Niemeyer, J., & Vale, M. M. (2022). Obstacles and opportunities for implementing a policy-mix for ecosystem-based adaptation to climate change in Brazil's Caatinga. **Land Use Policy**, 122, 106385. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2022.106385>

Nobre, C. A., Feltran-Barbieri, R., Costa, F. A., & al., et. (2023). Nova Economia da Amazônia. **WRI Brasil**, São Paulo(23), 24–25.

Nobre, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., & Cardoso, M. (2016). Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 113(39), 10759–10768. https://doi.org/10.1073/PNAS.1605516113/SUPPL_FILE/PNAS.201605516SI.PDF

Nobre, C. A., Sellers, P. J., & Shukla, J. (1991). Amazonian Deforestation and Regional Climate Change. **Journal of Climate**, 4(10), 957–988. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2)

Obermaier, M., & Rosa, L. P. (2013). Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. **Estudos Avançados**, 27(78), 155–176. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000200011>

Observatório do Clima. (2024). **Bases para proposta de 2ª NDC para o Brasil (2030–2035)**. Nota técnica. Retrieved from https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/08/NDC-do-OC_2024-template.pdf

Octaviano, C. (2010). Muito além da tecnologia: os impactos da Revolução Verde. **ComCiência**, 120, 0–0. http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542010000600006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt

Olhoff, A., Bataille, C., Christensen, J., den Elzen, M., Fransen, T., Grant, N., Blok, K., Kejun, J., Soubeyran, E., Lamb, W., Levin, K., Portugal-Pereira, J., Pathak, M., Kuramochi, T., Strinati, C., Roe, S., & Rogelj, J. (2024). **Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments**. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46404>

Oliveira, P. T. S., Wendland, E., Nearing, M. A., Scott, R. L., Rosolem, R., & da Rocha, H. R. (2015). The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. **Hydrology and Earth System Sciences**, 19(6), 2899–2910. <https://doi.org/10.5194/HESS-19-2899-2015>

- Oliveira, P. T. S., Wendland, E., Nearing, M. A., Scott, R. L., Rosolem, R., & da Rocha, H. R. (2014). **The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian Cerrado**. <https://doi.org/10.5194/HESD-11-12987-2014>
- Paiva, R. da S., Santana Rodrigues, M., Fonteles de Souza, R., & Rodrigues Olinda Engenheiro Agrônomo, D. (2025). Challenges and perspectives related to climate change and food security in Brazil. **Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro**, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.61164/RMNM.V1I1.3433>
- Paterson, M. (2019). Climate-as-condition, the origins of climate change and the centrality of the social sciences. **Dialogues in Human Geography**, 9(1), 29–32. <https://doi.org/10.1177/2043820619829932>
- Pereda, P., & Alves, D. (2018). Climate and weather impacts on agriculture: the case of Brazil. **Economia Aplicada**, 22(3), 5–26. <https://doi.org/10.11606/1980-5330/EA119584>
- Pinho, P. F., Anjos, L. J. S., Rodrigues-Filho, S., Santos, D. v., & Toledo, P. M. (2020). Projections of Brazilian biomes resilience and socio-environmental risks to climate change. **Sustentabilidade Em Debate**, 11(3), 225–241. <https://doi.org/10.18472/SUSTDEB.V11N3.2020.33918>
- Pinto, L. F. G., & Voivodic, M. (2021). Reverse the tipping point of the Atlantic Forest for mitigation. **Nature Climate Change**, 11(5), 364–365. <https://doi.org/10.1038/S41558-021-01035-4>
- Pires, M. O. (2020). ‘Cerrado’, old and new agricultural frontiers. **Brazilian Political Science Review**, 14(3), e0004. <https://doi.org/10.1590/1981-3821202000030006>
- Pivello, V. R., Vieira, I., Christianini, A. v., Ribeiro, D. B., da Silva Menezes, L., Berlinck, C. N., Melo, F. P. L., Marengo, J. A., Tornquist, C. G., Tomas, W. M., & Overbeck, G. E. (2021). Understanding Brazil’s catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 19(3), 233–255. <https://doi.org/10.1016/J.PECON.2021.06.005>
- Ranasinghe, R., Ruane, A. C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F. A., Dessai, S., Saiful Islam, A. K. M., Rahimi, M., Carrascal, D. R., Sillmann, J., Sylla, M. B., Tebaldi, C., Wang, W., & Zaaboul, R. (2021). Climate change information for regional impact and for risk assessment. **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis**, 1767–1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
- Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., Tabarelli, M., Fonseca, G. A., & Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 16(4), 208–214. <https://doi.org/10.1016/J.PECON.2018.10.002>
- Ribeiro, D. B., & Pereira, A. M. M. (2023). Solving the problem of wildfires in the Pantanal wetlands. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 21, 271–273. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.10.004>
- Ribeiro, S. M. C., Jardim, H. L., de Azevedo, Ú. R., Coelho, V., Bachi, L. S., & Soares-Filho, B. (2020). Non-Timber Forest Products (NTFP) in the Brazilian Amazon and Cerrado biomes: multi scale governance for Implementing enhanced socio-biodiversity chains. **Sustainability in Debate**, 11(2), 43–63. <https://doi.org/10.18472/SUSTDEB.V11N2.2020.28393>
- Roberti, D. R., Mergen, A., Gotuzzo, R. A., Veeck, G. P., Bremm, T., Marin, L., de Quadros, F. L. F., & Jacques, R. J. S. (2024). *Sustainability in natural grassland in the Brazilian Pampa biome: Livestock production with CO₂ Absorption*. **Sustainability**, 16(9), 3672. <https://doi.org/10.3390/su16093672>
- Rodrigues, A. A., Macedo, M. N., Silvério, D. v., Maracahipes, L., Coe, M. T., Brando, P. M., Shimbo, J. Z., Rajão, R., Soares-Filho, B., & Bustamante, M. M. C. (2022). Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, 28(22), 6807–6822. <https://doi.org/10.1111/GCB.16386>
- Roesch, L. F. W., Vieira, F. C. B., Pereira, V. A., Schünemann, A. L., Teixeira, I. F., Senna, A. J. T., & Stefenon, V. M. (2009). The Brazilian Pampa: A Fragile Biome. *Diversity 2009, Vol. 1, Pages 182-198*, 1(2), 182–198. <https://doi.org/10.3390/D1020182>
- Rubert, G. C., Roberti, D. R., Pereira, L. S., Quadros, F. L. F., Velho, H. F. de C., & de Moraes, O. L. L. (2018). Evapotranspiration of the Brazilian Pampa Biome: Seasonality and Influential Factors. *Water 2018, Vol. 10, Page 1864*, 10(12), 1864. <https://doi.org/10.3390/W10121864>
- Sachs, J. D., Lafortune, G., Fuller, G., & Iablonski, G. (2025). *Financing Sustainable Development to 2030 and Mid-Century. Sustainable Development Report 2025*. Dublin University Press. <https://doi.org/10.25546/111909>

- Salmona, Y. B., Matricardi, E. A. T., Skole, D. L., Silva, J. F. A., Coelho Filho, O. de A., Pedlowski, M. A., Sampaio, J. M., Castrillón, L. C. R., Brandão, R. A., Silva, A. L. da, & Souza, S. A. de. (2023). A Worrying Future for River Flows in the Brazilian Cerrado Provoked by Land Use and Climate Changes. **Sustainability (Switzerland)**, 15(5). <https://doi.org/10.3390/SU15054251>
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M. H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B. S., & Cardoso, M. (2007). Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, 34(17). <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>
- Sansigolo, C. A., & Kayano, M. T. (2010). Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913–2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, 101(1), 209–216. <https://doi.org/10.1007/S00704-010-0270-2>
- Santos de Lima, L., Silva, F. E. O. e., Dorio Anastácio, P. R., Kolanski, M. M. de P., Pires Pereira, A. C., Menezes, M. S. R., Cunha, E. L. T. P., & Macedo, M. N. (2024). Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. **Communications Earth and Environment**, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/S43247-024-01530-4>;SUBJMETA
- Seddon, A. W. R., Macias-Fauria, M., Long, P. R., Benz, D., & Willis, K. J. (2016). Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. **Nature**, 531(7593), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature16986>
- SEEG – Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. (2025, September). **Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. Seeg.Eco.Br.
- SGB - Serviço Geológico do Brasil. (2024). 42º Boletim de alerta hidrológico da bacia do Amazonas.SGB, MME. <https://www.sgb.gov.br/sace/boletins/Amazonas>
- Shennan-Farpón, Y., Mills, M., & (2024). Using policy scenarios to assess challenges and opportunities for reaching restoration targets in Brazil's Atlantic Forest. **Environmental Research Letters**, 19(8), 084036. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ad5ab2>
- Silva Dias, M. A. F., Dias, J., Carvalho, L. M. v., Freitas, E. D., & Silva Dias, P. L. (2013). Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, 116(3–4), 705–722. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0504-7>
- Silva Dias, M. A. F., Dias, J., Carvalho, L. M. V., Freitas, E. D., & Silva Dias, P. L. (2013). Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, 116(3–4), 705–722. <https://doi.org/10.1007/S10584-012-0504-7>/METRICS
- Silva Junior, C. H. L., Pessôa, A. C. M., Carvalho, N. S., Reis, J. B. C., Anderson, L. O., & Aragão, L. E. O. C. (2020). The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. **Nature Ecology & Evolution** 2020 5:2, 5(2), 144–145. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01368-x>
- Silva, L. F. d. S., Pessoa, L. G. M., Silva, E. M. d., Freire, M. B. G. d. S., de Souza, E. S., Oresca, D., Silva, J. O. N. d., Júnior, G. B., Bezerra, A. C., & Santos, E. S. d. (2024). Changes in soil C, N, and P concentrations and stocks after Caatinga natural regeneration of degraded pasture areas in the Brazilian semiarid region. **Sustainability**, 16(20), 8737. <https://doi.org/10.3390/su16208737>
- Soares, M. C. R., de Mendonça, F. M., & Ferreira, D. M. (2025). O efeito do plano de prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) nas causas diretas do desmatamento. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, 21(2), 1001–1021. <https://doi.org/10.54399/RBGDR.V21I2.7825>
- Solórzano, A., de Assis Brasil, L. S. C., & de Oliveira, R. R. (2021). The Atlantic Forest ecological history: From pre-colonial times to the anthropocene. **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-Diverse Forest**, 25–44. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_2
- Sone, J. S., de Oliveira, P. T. S., Zamboni, P. A. P., Vieira, N. O. M., Carvalho, G. A., Macedo, M. C. M., de Araujo, A. R., Montagner, D. B., & Sobrinho, T. A. (2019). Effects of Long-Term Crop-Livestock-Forestry Systems on Soil Erosion and Water Infiltration in a Brazilian Cerrado Site. **Sustainability** 2019, Vol. 11, Page 5339, 11(19), 5339. <https://doi.org/10.3390/SU11195339>
- Soriano, É., de Resende Londe, L., di Gregorio, L. T., Coutinho, M. P., & Santos, L. B. L. (2016). Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, 19(1), 21–42. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150120R1V1912016>

- Soterroni, A. C., Ramos, F. M., Mosnier, A., Fargione, J., Andrade, P. R., Baumgarten, L., Pirker, J., Obersteiner, M., Kraxner, F., Câmara, G., Carvalho, A. X. Y., & Polasky, S. (2019). Expanding the soy moratorium to Brazil's Cerrado. **Science Advances**, 5(7), 7336–7353. https://doi.org/10.1126/SCIADV.AAV7336/SUPPL_FILE/AAV7336_SM.PDF
- Sotto, D., & Philippi, A. (2024). Food security and sustainable urban planning for resilient and healthy cities: a multiple case study. **Ambiente & Sociedade**, 27, e00125. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC0125R1VU27L2OA>
- Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A. E., Oliveira Filho, F. J. B., de Scaramuzza, C. A. M., Scarano, F. R., Soares-Filho, B., & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, 1(4), 1–3. <https://doi.org/10.1038/S41559-017-0099;SUBJMETA>
- Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A. E., Oliveira Filho, F. J. B., de Mation, L. F., Castro, A., Rangel, M. C., & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, 1(4), 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Strassburg, B.B.N., Beyer, H.L., Crouzeilles, R. et al. Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. **Nat Ecol Evol** 3, 62–70 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0743-8>
- Stríkis, N. M., Buarque, P. F. S. M., Cruz, F. W., Bernal, J. P., Vuille, M., Tejedor, E., Santos, M. S., Shimizu, M. H., Ampuero, A., Du, W., Sampaio, G., Sales, H. dos R., Campos, J. L., Kayano, M. T., Apaestegui, J., Fu, R. R., Cheng, H., Edwards, R. L., Mayta, V. C., ... Novello, V. F. (2024). Modern anthropogenic drought in Central Brazil unprecedented during last 700 years. **Nature Communications**, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/S41467-024-45469-8;TECHMETA>
- Tanure, T. M. do P., Miyajima, D. N., Magalhães, A. S., Domingues, E. P., & Carvalho, T. S. (2020). The Impacts of Climate Change on Agricultural Production, Land Use and Economy of the Legal Amazon Region Between 2030 and 2049. **EconomiA**, 21(1), 73–90. <https://doi.org/10.1016/J.ECON.2020.04.001>
- Terra, M. C. N. S., Nunes, M. H., Souza, C. R., Ferreira, G. W. D., Prado-Junior, J. A. do, Rezende, V. L., Maciel, R., Mantovani, V., Rodrigues, A., Moraes, V. A., Scolforo, J. R. S., & Mello, J. M. de. (2023). The inverted forest: Aboveground and notably large belowground carbon stocks and their drivers in Brazilian savannas. **Science of The Total Environment**, 867, 161320. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.161320>
- Thielen, D., Ramoni-Perazzi, P., Puche, M. L., Márquez, M., Quintero, J. I., Rojas, W., Soto-Werschitz, A., Thielen, K., Nunes, A., & Libonati, R. (2021). The Pantanal under Siege—On the Origin, Dynamics and Forecast of the Megadrought Severely Affecting the Largest Wetland in the World. **Water** 2021, Vol. 13, Page 3034, 13(21), 3034. <https://doi.org/10.3390/W13213034>
- Tomas, W. M., Berlinck, C. N., Chiaravalloti, R. M., Faggioni, G. P., Strüssmann, C., Libonati, R., Abrahão, C. R., do Valle Alvarenga, G., de Faria Bacellar, A. E., de Queiroz Batista, F. R., Bornato, T. S., Camilo, A. R., Castedo, J., Fernando, A. M. E., de Freitas, G. O., Garcia, C. M., Gonçalves, H. S., de Freitas Guilherme, M. B., Layme, V. M. G., ... Morato, R. (2021). Distance sampling surveys reveal 17 million vertebrates directly killed by the 2020's wildfires in the Pantanal, Brazil. **Scientific Reports**, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/S41598-021-02844-5;SUBJMETA=158,2465,4016,631,670;KWRD=BIODIVERSITY,FIRE+ECOLOGY,WETLANDS+ECOLOGY>
- Tomasella, J., Cunha, A. P. de A., & Marengo, J. A. (2023). **Elaboração dos mapas de índice de aridez e precipitação total acumulada para o Brasil**. Nota Técnica: CEMADEN, INPE
- Tomasella, J., do Amaral Cunha, A. M., Zeri, M., & Costa, L. C. O. (2025). Changes in the aridity index across Brazilian biomes. **Science of The Total Environment**, 989, 179869. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2025.179869>
- Torres, R. R., Lapola, D. M., & Gamarra, N. L. R. (2017). Future Climate Change in the Caatinga. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**, 383–410. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_15
- UNDP - United Nations Development Programme (2025). Forest Finance for the Future: Supporting Climate and Nature Goals. Nova York: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.
- UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2023, December 7). UNESCO strengthens fire resilience in the Pantanal and Cerrado to support local communities. Retrieved from <https://www.unesco.org/en>
- Vale, M. M., Arias, P. A., Ortega, G., Cardoso, M., Oliveira, B. F. A., Loyola, R., & Scarano, F. R. (2021). Climate Change and Biodiversity in the Atlantic Forest: Best Climatic Models, Predicted Changes and Impacts, and Adaptation Options. **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-Diverse Forest**, 253–267. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_12

Vilela, A. A., del Claro, V. T. S., Torezan-Silingardi, H. M., & Del-Claro, K. (2017). Climate changes affecting biotic interactions, phenology, and reproductive success in a savanna community over a 10-year period. **Arthropod-Plant Interactions** 12:2, 12(2), 215–227. <https://doi.org/10.1007/S11829-017-9572-Y>

Walker, W. S., Gorelik, S. R., Baccini, A., Aragon-Osejo, J. L., Josse, C., Meyer, C., Macedo, M. N., Augusto, C., Rios, S., Katan, T., de Souza, A. A., Cuellar, S., Llanos, A., Zager, I., Mirabal, G. D., Solvik, K. K., Farina, M. K., Moutinho, P., & Schwartzman, S. (2020). The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 117(6), 3015–3025. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1913321117>

Wang, X. Y., Li, X., Zhu, J., & Tanajura, C. A. S. (2018). The strengthening of Amazonian precipitation during the wet season driven by tropical sea surface temperature forcing. **Environmental Research Letters**, 13(9), 094015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AADB9>

Winck, G. R., Raimundo, R. L. G., Fernandes-Ferreira, H., Bueno, M. G., D'Andrea, P. S., Rocha, F. L., Cruz, G. L. T., Vilar, E. M., Brandão, M., Cordeiro, J. L. P., & Andreazzi, C. S. (2022). Socioecological vulnerability and the risk of zoonotic disease emergence in Brazil. **Science Advances**, 8(26). <https://doi.org/10.1126/SCIADV.ABO5774>

WMO - World Meteorological Organization. (2025). **State of the Global Climate 2024**. <https://library.wmo.int/records/item/69455-state-of-the-global-climate-2024>

WRI -World Resources Institute. (2023). **Indigenous forests are some of the Amazon's last carbon sinks**. WRI Insights. <https://www.wri.org/insights/amazon-carbon-sink-indigenous-forests>

WRI - World Resources Institute. (2024). **O Brasil está pronto para a nova era da adaptação climática?** WRI Brasil. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/adaptacao-climatica-brasil-esta-pronto>

WRI - World Resources Institute.. (2025). **10 questões para entender o financiamento para adaptação**. WRI Brasil. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-questoes-para-entender-o-financiamento-para-adaptacao>

Xu, R., Zhao, Q., Coelho, M. S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Abramson, M. J., Li, S., & Guo, Y. (2020). Socioeconomic level and associations between heat exposure and all-cause and cause-specific hospitalization in 1,814 Brazilian cities: A nationwide case-crossover study. **PLoS Medicine**, 17(10). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1003369>

Zapata-Ríos, G., Andreazzi, C., Carnaval, A., Doria, C., Duponchelle, F., Flecker, A., Guayasamín, J., Heilpern, S., Jenkins, C., Maldonado, C., Meneghelli, D., Miranda, G., Moraes R, M., Silman, M., Silveira, M., Tabet, G., Trujillo, F., Ulloa, C. U., & Arieira, J. (2021). Biological diversity and ecological networks in the Amazon. In C. Nobre, A. Encalada, E. Anderson, F. H. R. Alcazar, M. Bustamante, C. Mena, M. Peña-Claros, G. Poveda, J. P. Rodriguez, S. Saleska, S. Trumbore, A. L. Val, L. V. Nova, R. Abramovay, A. Alencar, A. C. R. Alzza, D. Armenteras, P. Artaxo, S. Athayde, ... G. Zapata-Ríos (Eds.), **Amazon Assessment Report 2021**. United Nations Sustainable Development Solutions Network.

Zemp, D. C., Schleussner, C. F., Barbosa, H. M. J., Hirota, M., Montade, V., Sampaio, G., Staal, A., Wang-Erlandsson, L., & Rammig, A. (2017). Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. **Nature Communications** 2017 8:1, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/ncomms14681>

Zemp, D. C., Schleussner, C. F., Barbosa, H. M. J., van der Ent, R. J., Donges, J. F., Heinke, J., Sampaio, G., & Rammig, A. (2014). On the importance of cascading moisture recycling in South America. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 14(23), 13337–13359. <https://doi.org/10.5194/acp-14-13337-2014>

Zilli, M., Scarabello, M., Soterroni, A. C., Valin, H., Mosnier, A., Leclère, D., Havlík, P., Kraxner, F., Lopes, M. A., & Ramos, F. M. (2020). The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of The Total Environment**, 740, 139384. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139384>

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Como acelerar o combate às
mudanças climáticas no
Brasil?**



Adriana Ramos¹

¹Instituto Socioambiental (ISA)

O combate às mudanças climáticas exige ações integradas desde a redução das emissões até a adaptação a seus impactos. A Organização das Nações Unidas propôs a construção de sinergias entre as distintas convenções (clima, biodiversidade e desertificação), pois não é possível cumprir o Acordo de Paris sem conservação e recuperação, que todavia não serão efetivas se a emergência climática não for contida.

A sociedade civil brasileira tem destacado a participação social como fundamento para o avanço das políticas, com especial atenção à presença de povos indígenas, afrodescendentes e comunidades tradicionais em espaços de decisão. É na diversidade de visões de mundo e experiências que reside nosso repertório inovador para o enfrentamento à emergência climática. E nas desigualdades históricas e no racismo ambiental residem os maiores desafios para uma transição efetivamente justa e inclusiva.

Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em 2023 as mudanças no uso da terra responderam por 46% das emissões brutas do Brasil, seguidas da agropecuária (28%), energia (18%), resíduos e processos industriais (4% cada). Ou seja, o desmatamento segue como o maior responsável pelas emissões brasileiras. A queda de 12% das emissões brutas do Brasil em relação a 2022, a maior redução desde 2009, foi impulsionada pela queda de 24% nas emissões por desmatamento, resultado da retomada de políticas de comando e controle na Amazônia.

Há mais de uma década, o relatório O Futuro Climático da Amazônia (NOBRE, 2014) consolidou o conhecimento científico sobre como a floresta regula o clima sul-americano. A evapotranspiração e os chamados “rios voadores” mantêm a umidade do ar, produzem chuvas e transportam vapor d’água do oceano ao continente. De lá para cá são inúmeras as evidências de que o desmatamento ameaça esse equilíbrio e pode levar ao ponto de não

retorno — quando a floresta perderia a capacidade de se sustentar, alterando o regime de chuvas e comprometendo o clima de todo o país.

Por isso, zerar o desmatamento e a degradação dos biomas é prioridade. É essencial ampliar áreas protegidas, demarcar terras indígenas, titular territórios quilombolas e acelerar a transição para sistemas agrícolas de baixa emissão e maior resiliência climática. Alguns exemplos são baseados nos princípios da Agroecologia, como sistemas agroflorestais, sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta (ILPF), pecuária-floresta (PF). práticas como plantio direto, rotação de cultura, diversificação da produção e controles biológicos, devem ser fomentadas, e apoiadas no âmbito do Plano de Agricultura de Baixo Carbono, que deve ser priorizado. Estratégias como o mercado de carbono, a restauração de áreas degradadas, o zoneamento agrícola de risco climático e a gestão integrada de bacias hidrográficas — incorporando cenários climáticos nas decisões — também são instrumentos fundamentais.

A transição energética deve priorizar fontes limpas. Segundo Carlos Nobre, países tropicais como o Brasil têm vantagem nessa transição pela alta incidência de radiação solar. A eletrificação do transporte e a melhoria da mobilidade urbana, com sistemas públicos eficientes e menos carros particulares, também reduzem emissões e aumentam a resiliência das cidades.

O Brasil abriga experiências inovadoras que combinam saber tradicional, criatividade e solidariedade. O Programa de Cisternas no Semiárido é um exemplo de política pública inspirada em soluções comunitárias. Outras práticas como hortas urbanas e quintais produtivos, bancos comunitários de sementes, mutirões de restauração de nascentes e margens de rios, uso de fogões solares e biogás doméstico também podem ganhar escala com a implementação do Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas. Um grande desafio está no financiamento para universalizar as políticas de adaptação e prevenção de desastres.

Em áreas urbanas, planos locais de adaptação e resiliência devem incluir medidas de infraestrutura verde e drenagem sustentável — jardins de chuva, parques lineares e pavimentos permeáveis — para conter alagamentos e reduzir ilhas de calor, e especial atenção à infraestrutura em áreas de risco, de modo a garantir a segurança da população.

Dentre os vários aspectos que permeiam a tomada de decisão em matéria climática, dois devem ser tomados como fundamentos incontornáveis. O primeiro é a valorização da ciência na orientação das políticas públicas. O outro é a inclusão das variáveis de raça e gênero nas políticas de adaptação. Como bem pontua a Rede por Adaptação Antirracista: “ Sua efetivação visa reduzir os impactos desproporcionais da crise climática e dos eventos climáticos extremos, que afetam principalmente as populações negras, indígenas, quilombolas, tradicionais, periféricas e faveladas, no campo, na cidade, na floresta e nas águas.”.

Para que a inclusão seja efetiva, é preciso garantir uma governança consistente, com participação social real. A sociedade organizada já é um ator importante no desenvolvimento das soluções, inclusive em modelos de governança local. Redes de alerta comunitário, brigadas e protocolos de emergência fortalecem a prevenção e a resposta a enchentes e queimadas, por exemplo.

Por fim, o avanço do Brasil no enfrentamento à crise climática depende também da cooperação internacional e do fortalecimento do financiamento climático, fundamentais para ampliar as soluções de mitigação e adaptação em todo o território.

Referências

NOBRE, Antonio Donato. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica**. São José dos Campos, SP: ARA: CCST-INPE: INPA, 2014. Acesso em 19 out. 2025. Disponível em: <https://www.ccst.inpe.br/o-futuro-climatico-da-amazonia-relatorio-de-avaliacao-cientifica-antonio-donato-nobre/>

NOBRE, Carlos A. Mudanças climáticas devem impactar produção de energia; mais sol pode ajudar transição. **UOL Ecoa**, 12 nov. 2024. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/colunas/carlos-nobre/2024/11/12/transicao-energetica.html>. Acesso em: 20 out. 2025.

REDE POR ADAPTAÇÃO ANTIRRACISTA. Princípios e diretrizes para o enfrentamento do racismo ambiental no Brasil. In BELMONT, Mariana. **Adaptação antirracista é possível para combater o racismo ambiental**. Jornal de Psicanálise, São Paulo, v. 57, n. 107, 2024. E-pub 20 Jan. 2025. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-58352024000300225. Acesso em: 21 out. 2025.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas no Brasil: 1970-2023. 2024**. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>

Marina Grossi¹

¹Presidente do CEBDS (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável), entidade com 28 anos de atuação e 120 grandes empresas associadas, Enviada Especial da Presidência da COP30 para o Setor Empresarial.

O mundo passa por rápidas transformações. Protecionismo, guerras tarifárias e abandono de compromissos climáticos criam um vácuo de liderança global, ao mesmo tempo em que a humanidade vivencia na pele os impactos das mudanças climáticas, com o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. Assim, 2024 se estabeleceu como o primeiro ano em que o mundo registrou uma temperatura média 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, o limite estabelecido como seguro pela comunidade científica para o aumento da temperatura da Terra. Até o final desta década, caminhamos para um aumento projetado de até 1,9°C na temperatura média global, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Todos somos afetados por esses cenários, e o setor empresarial não é exceção. Está claro para cada vez mais empresas que a incerteza sobre a ação climática é um risco aos negócios e que o setor é uma mola propulsora essencial para acelerar a ambição e o progresso no combate a essa grave crise. O relatório Business Breakthrough Barometer 2025, baseado na visão de mais de 300 líderes empresariais em 50 países, aponta para um alto nível de compreensão da importância da ação climática nas companhias.

Segundo a publicação, 94% dos líderes empresariais pesquisados afirmam que políticas de apoio à transição são fatores críticos na tomada de decisões de investimento; e 92% acreditam que o custo da inação em relação ao clima superará o custo da transição. As respostas contidas no estudo questionam a percepção de que as empresas estão se afastando das políticas de neutralidade de carbono — mostram que, na verdade, os investimentos são cada vez mais moldados pela confiabilidade das políticas nacionais voltadas à sustentabilidade.

O estudo foi liderado pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), organização global representada no Brasil pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento

Sustentável (CEBDS). Entre as motivações para persistir na agenda climática, as empresas destacam a busca pela competitividade de longo prazo e a antecipação de um cenário em que as emissões de gases de efeito estufa serão precificadas.

Ou seja, o engajamento das lideranças empresariais na pauta climática não é apenas resposta a obrigações regulatórias ou requisitos de mercado. As empresas estão se concentrando em tecnologias e mercados que oferecem sustentabilidade e retorno comercial, e seguem comprometidas — com 91% afirmando que mantiveram ou aumentaram os investimentos na transição para net zero no último ano. O estudo é global, mas corrobora nossa percepção em relação ao cenário brasileiro. O setor privado reconhece seu papel na aceleração da transição para uma nova economia, baseada em baixo carbono, inclusão social e valorização da natureza.

O Acordo de Paris, firmado em 2015, foi um importante desencadeador desse processo. O tratado internacional assinado por quase 200 países redesenhou o papel e a contribuição das empresas no combate à emergência climática e impulsionou os investimentos em energias renováveis e tecnologias ligadas à transição energética. Foi justamente a partir dele que as empresas passaram a assumir metas climáticas voluntárias, assinalando uma mudança de postura por parte dos atores não governamentais — setor privado, investidores, cidades e governos subnacionais.

É neste contexto que se encaixa a nova Contribuição Nacional Determinada (NDC) do Brasil, anunciada na COP29 em Baku, no Azerbaijão, e que traz metas robustas (redução entre 59% e 67% das emissões até 2035, em relação a 2005). O compromisso exigirá que diferentes setores se movam nessa direção, e isso já está acontecendo.

A pedido da Presidência da COP30, a vanguarda do setor empresarial brasileiro está engajada na formação de coalizões voltadas à descarbonização de setores-

chave da economia brasileira: Energia, Pecuária, Agricultura, Floresta, Mineração e Transporte. Os seis eixos foram considerados prioritários pelo governo brasileiro e os caminhos para a descarbonização estão sendo traçados em uma cooperação inédita entre entidades setoriais, empresas e academia. É a resposta do setor produtivo a um chamado, partindo do entendimento de que a transição para uma economia de baixo carbono não é apenas uma responsabilidade, mas também uma grande oportunidade para o desenvolvimento sustentável, geração de valor e competitividade internacional.

Nós temos vantagens comparativas inequívocas associadas à sustentabilidade, como a maior biodiversidade do planeta e uma matriz energética com alto percentual de fontes renováveis. Ao acelerar as estratégias de descarbonização da economia, as empresas brasileiras têm a oportunidade histórica de posicionar o Brasil como liderança inquestionável na transição para um novo modelo de desenvolvimento.

Ana Carolina Crisostomo¹ Jarlene Gomes²

¹ Especialista em conservação e políticas públicas na WWF-Brasil

² Pesquisadora no Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM

As metas climáticas do Brasil apresentadas na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), entregue em 2024 durante a COP 29, sinalizam um avanço importante na ambição do país em reduzir suas emissões, com destaque para a meta de desmatamento zero até 2030. O Brasil, com suas proporções continentais e tendo como principais fontes de emissões o desmatamento e a agropecuária, já demonstrou sua capacidade de resposta: reduziu em 83% o desmatamento na Amazônia entre 2024 e 2012, através de esforços conjunto de políticas públicas de monitoramento, ordenamento territorial e fundiário, controle ambiental e de incentivo a atividades produtivas sustentáveis. Importante destacar a responsabilização do setor privado, empresarial e financeiro, fundamental para a queda do desmatamento observada. Apesar dos retrocessos e desafios políticos, o país possui uma estrutura interfederativa de gestão ambiental, arcabouço legal robusto e a capacidade científica-tecnológica que o colocam em posição de liderança na mitigação das mudanças climáticas. A experiência acumulada e as lições aprendidas mostram que acelerar o combate às mudanças no clima no Brasil depende da ampliação da escala e integração entre políticas.

A agenda climática não pode ser pensada por biomas, de forma isolada. A degradação do Cerrado e da Amazônia estão profundamente conectadas: a perda de vegetação em um bioma acelera a degradação do outro. O Cerrado, 2º maior bioma do país e conhecido como “berço das águas” por abastecer as principais bacias hidrográficas do país, já perdeu mais de 50% de sua vegetação nativa. Estudos indicam que a superfície natural de água no bioma caiu de 62% para 40% entre 1985 e 2024.

Segundo dados do Relatório Anual do Desmatamento (RAD), 2024, a área média desmatada por dia no Brasil foi de 3.403 ha –

ou 141,8 hectares por hora, sendo 1.786 hectares por dia no Cerrado e 1.035 há/dia na Amazônia, o que equivale a cerca de 7 árvores por segundo. A lógica de sacrificar o Cerrado para proteção da Amazônia precisa ser urgentemente revista, e toda essa degradação intensifica a pressão sobre a Amazônia. É necessária uma abordagem de longo prazo que considere impactos sistêmicos e sinérgicos do desmatamento e da conversão do uso da terra em ambos os biomas.

Entre os eixos de políticas para o controle do desmatamento o ordenamento territorial e fundiário precisa avançar. No passado, o país criou diversas Unidades de Conservação, mas pouco caminhou na regularização fundiárias de Terras Indígenas, Territórios Quilombolas e de Povos e Comunidades Tradicionais (PCTs). Estudos demonstram que essas áreas apresentam taxas de desmatamento menores que o seu entorno, justamente porque são manejadas com base em seus modos de vida tradicionais. Não por acaso lideranças locais são pressionadas por empresas em busca de créditos de carbono, muitas vezes assediando lideranças com contratos abusivos e ilegais.

O fortalecimento desses territórios exige titulação, apoio à gestão, garantia de participação plena nos espaços de decisão climática, além de financiamento adequado. Estes são elementos indispensáveis a uma estratégia climática responsável e justa, com garantia de direitos humanos e justiça ambiental.

A decisão histórica, obtida na COP 16 da Biodiversidade em 2024, que reconheceu e incluiu no Quadro Global da Biodiversidade o papel dos afrodescendentes na conservação da biodiversidade reafirma essa importância. A criação do Programa Regional Quilombos das Américas, de iniciativa do Brasil e Colômbia, é um exemplo importante para o aporte de

recursos à agenda. Implementar de forma articulada as Convenções do Clima e da Biodiversidade pode ser a chave para avançar na titulação e proteção desses territórios estratégicos, impulsionando medidas que irão acelerar a mitigação das mudanças climáticas.

Contudo, a realidade no Brasil é alarmante: cálculos estimam que, ao ritmo atual, serão necessários 2.188 anos para titular integralmente os 1.802 processos abertos no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra). Povos indígenas enfrentam a ameaça do Marco Temporal, tese que afirma que esses grupos só teriam direito à terra se estivessem em sua posse na data da promulgação da Constituição de 1988, ignorando todo o processo histórico violento de expropriação sofrido pelos povos originários. No caso dos outros 28 segmentos de PCTs falta instrumento normativo para a titulação de seus territórios.

O setor do uso da terra apresenta importantes oportunidade de gerar saldo positivo de carbono na agenda nacional. Mas para isso é preciso enfrentar os entraves políticos da regularização fundiária, articular agendas setoriais e integrar políticas públicas. Se conseguir avançar nesses caminhos, o Brasil não apenas cumprirá suas metas de desmatamento zero, mas também avançará na mitigação das mudanças climáticas promovendo justiça climática e reparação histórica aos povos e comunidades tradicionais e indígenas.

Páginas de referência

<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/controle-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/amazonia-ppcdam-1>

<https://brasil.mapbiomas.org/en/2025/03/21/pantanal-e-o-bioma-que-mais-perdeu-superficie-de-agua-em-relacao-a-media-historica-61/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378025000421>

<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0913048107>

<http://repositorio2.unb.br/handle/10482/51872>

<https://www.nature.com/articles/s41598-023-32746-7>

<https://www.nature.com/articles/s41559-024-02458-w>

<https://www.terradedireitos.org.br/noticias/noticias/no-atual-ritmo-brasil-levara-2188-anos-para-titular-todos-os-territorios-quilombolas-com-processos-no-incra/23871>

3 BIODIVERSIDADE



Foto: MMA, 2018

Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Júlio César Roma¹, Claudia de Oliveira Faria Salema², Júlia Benfica Senra³

¹Técnico de Planejamento e Pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada/Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais/Coordenação de Estudos em Sustentabilidade Ambiental (IPEA/DIRUR/COSAM).

²Técnica de Planejamento e Pesquisa do IPEA/DIRUR/COSAM.

³Técnica de Planejamento e Pesquisa do IPEA/DIRUR/COSAM.

Sumário Executivo

As forças motrizes e pressões que ameaçam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos se intensificaram no país durante as últimas décadas, com impactos cada vez mais agravados pelos efeitos combinados das mudanças climáticas. As principais forças motrizes identificadas incluem a primarização da pauta de exportações e os padrões de consumo insustentáveis, enquanto as principais pressões à biodiversidade são causadas por mudanças no uso da terra (desmatamento), grandes obras de infraestrutura, introdução de espécies exóticas invasoras, consumo insustentável de recursos naturais e poluição ambiental.

As pressões antrópicas sobre a biodiversidade brasileira, especialmente aquelas associadas às mudanças no uso e cobertura da terra, têm gerado uma série de impactos ambientais, sociais e climáticos: existência de um número significativo de espécies ameaçadas de extinção (3.213 espécies da flora e 1.203 da fauna brasileira se encontram ameaçadas); redução acentuada da cobertura vegetal nativa; aumento na incidência de queimadas; redução no volume hídrico nacional; alterações significativas dos ecossistemas; declínio de polinizadores e no serviço ecossistêmico de polinização; aumento do risco de atingir o ponto de não retorno na Amazônia, com alterações no regime de chuvas de grande parte do Brasil e do sul da América do Sul, e aumento dos conflitos socioambientais.

O Brasil realizou progressos significativos na governança e no combate às causas das perdas de biodiversidade desde 2002. O país criou e aprimorou diversas políticas públicas e instrumentos relacionados à proteção da biodiversidade, além de toda uma institucionalidade voltada para esse fim. Centenas de instrumentos, dentre planos, listas, políticas, programas, pactos, fundos, normativas, projetos, diretrizes, dentre outros, compõem a lista de esforços federais em prol da biodiversidade. Por exemplo, existem 3.300 unidades de conservação no país, cobrindo uma área de mais de 2,6 milhões de Km², equivalente a aproximadamente 25% do continente europeu, além de Planos de Ação Nacionais para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção.

Os impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos identificados, porém, evidenciam a urgência de respostas mais robustas e coordenadas, no sentido de contê-los. Entre os desafios para que isso ocorra, mencionam-se: a necessidade de fortalecer o SISNAMA e de aprimorar o Cadastro Ambiental Rural, aumentando a sua efetividade; investir em instrumentos inovadores que promovam a valorização da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos; aumentar o volume de recursos orçamentários destinados às políticas de biodiversidade e ao monitoramento do desmatamento nos biomas; fortalecer a política de combate ao desmatamento, por meio da substituição de decretos por leis próprias para essa finalidade.

Algumas alterações recentes em políticas e ações ambientais, com reflexo direto sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, podem acelerar a perda de biodiversidade. Legislações como a “nova lei do licenciamento”, que flexibiliza diversos pontos de controle ambiental de empreendimentos, e a suspensão da Moratória da Soja, podem ter impacto significativo na cobertura vegetal nativa.

Introdução

Ao se falar sobre biodiversidade, constata-se que o Brasil vivencia uma situação paradoxal. Por um lado, ao abrigar ao menos 13% das espécies conhecidas do planeta e com elevado grau de endemismos (Lewinsohn & Prado, 2006), isto é, espécies que estão presentes somente em seu território, é amplamente reconhecido como um dos países que apresentam os maiores níveis de biodiversidade do mundo. Por outro lado, as principais causas de perda de biodiversidade, relatadas no presente capítulo na seção sobre pressões, também estão presentes no país. Assim, a crise da perda de biodiversidade e seus efeitos associados, que incluem a perda de serviços ecossistêmicos, conforme tratado ao longo do texto, ocorre também no Brasil, sendo necessário e urgente conhecer as suas causas, avaliá-las, mitigá-las e reverter os seus efeitos.

O aumento de estudos científicos sobre a extinção de espécies, associados à pressão de movimentos conservacionistas nos anos 1980, resultaram na elaboração, após alguns anos de negociação, da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB). Aberta para assinatura dos países durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD, também conhecida como Rio 92), realizada no Brasil em junho de 1992, a CDB permanece até hoje como o principal acordo multilateral sobre a biodiversidade.

A CDB apresenta três grandes objetivos: a conservação da diversidade biológica (genes, espécies e ecossistemas), o uso sustentável de seus componentes e a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados do uso de recursos genéticos (CDB, 2000). Além do Brasil ter contribuído fortemente para a elaboração da CDB e, como país anfitrião da CNUMAD, ter-se tornado seu primeiro signatário, o Congresso Nacional brasileiro a aprovou (Decreto Legislativo nº 02/1994), e posteriormente o presidente da república a promulgou (Decreto nº 2.519/1998). Dessa forma, o cumprimento dos compromissos assumidos no âmbito da CDB não é apenas uma

obrigação moral para o Brasil, enquanto detentor de grande parte da biodiversidade mundial, mas também uma obrigação legal. Dada a extensão do território brasileiro e a limitação de recursos financeiros disponíveis, em um contexto de crise fiscal e orçamentária e de muitos problemas sociais, econômicos e ambientais a serem resolvidos simultaneamente, essa é uma missão extremamente desafiadora, mas não impossível.

No âmbito da responsabilidade assumida pelo Brasil como signatário da CDB, torna-se essencial compreender os principais fatores que ameaçam a biodiversidade nacional e as estratégias adotadas para enfrentá-los. Este compromisso está em linha, também, com o Art. 225 da Constituição Brasileira de 1988, que determina que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Nesse contexto, o presente capítulo do relatório Geo Brasil 2025 objetiva identificar os fatores que podem estar ocasionando a perda de biodiversidade em território brasileiro, suas consequências e as ações, em sentido amplo, que vêm sendo realizadas a fim de detê-las e reverter os seus efeitos. Para isso, o presente capítulo utiliza a metodologia “Forças-motrizas, Pressões, Estado, Impactos e Respostas” (DPSIR, em inglês) com o objetivo de realizar uma análise estruturada das ameaças à biodiversidade em território brasileiro e das respostas implementadas para mitigá-las e reverter-las. Apesar de existirem inúmeras ações em níveis estadual e municipal, e também na iniciativa privada e sociedade civil, o relato se concentra prioritariamente às respostas em nível governamental federal.

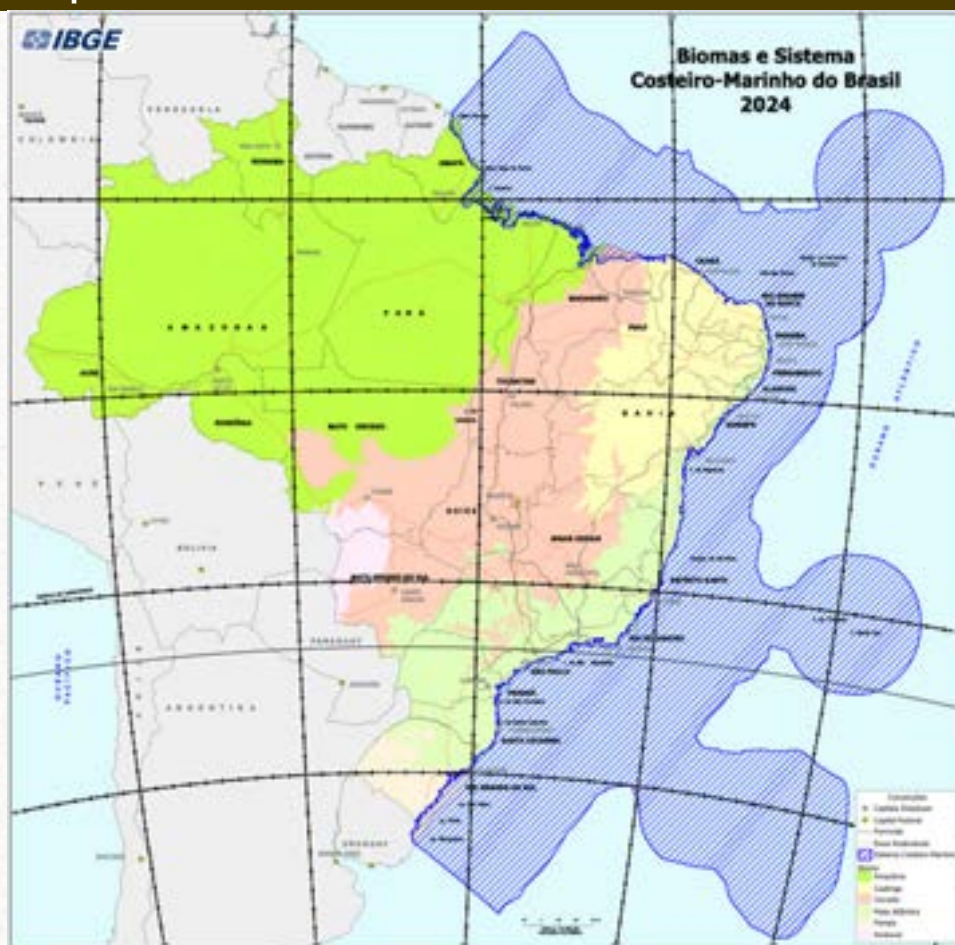
O texto é organizado em nove seções, nas quais as informações são apresentadas e analisadas utilizando-se como recorte territorial os biomas e o Sistema Costeiro-Marinheiro (SCM) brasileiros, conforme abaixo.

Os biomas e o sistema costeiro-marinho brasileiros

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), bioma é “um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas

similares e história compartilhada de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria” (IBGE, 2004). Com base nesse conceito, o IBGE reconhece a existência de seis biomas terrestres no Brasil, que, em uma sequência de norte a sul e de oeste para leste, são: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. O Sistema Costeiro-Marinho, por sua vez, foi incorporado ao mapa de biomas brasileiros em 2019, e em 2024 seus limites foram ampliados para abranger a chamada “Amazônia Azul” (IBGE, 2024a; 2024b; Figura 3.1).

Figura 3.1 - Mapa dos biomas e do sistema costeiro-marinho brasileiros.



Fonte: IBGE, 2024a. Disponível em <https://tinyurl.com/bksdwdya>. Acesso em 23 jun. 2025.

A Tabela 3.1 apresenta, de maneira não exaustiva e apenas a título de ilustração, algumas características marcantes da biodiversidade e da economia dos biomas e do Sistema Costeiro-Marinho brasileiros.

Uma visão mais detalhada dessas características pode ser obtida em Roma et al. (2010), IBAMA (2022) e Seixas et al. (2024).

¹A “Amazônia Azul” abrange cerca de 5,7 milhões de km² de mar territorial, Zona Econômica Exclusiva e plataforma continental, estendida além das 200 milhas náuticas a partir das linhas de base da costa. Seu nome deve-se à semelhança em dimensão, recursos e relevância ao bioma Amazônia (“Amazônia Verde”).

Tabela 3.1 – Algumas características marcantes da biodiversidade e da economia dos biomas e do Sistema Costeiro-Marinho

Bioma SCM	Território (1)	Características(2)	Atividades Econômicas(2)	Diversidade Plantas Terrestre (2)	Espécies Ameaçadas	Observações
Amazônia	49,3	Florestas tropicais úmidas, clima quente e úmido, rios volumosos, rica biodiversidade	Extração de recursos naturais, madeira, recursos florestais não-madeiros, minérios, pescado, agricultura e pecuária em áreas desmatadas	13.056		Segundo maior em diversidade de plantas terrestres
Cerrado	23,9	Savanas tropicais, vegetação aberta, gramíneas, arbustos, árvores esparsas	Agricultura (soja, milho), pecuária extensiva	12.829		Maior taxa de desmatamento do país
Mata Atlântica	13,0	Floresta tropical e subtropical, elevada umidade, fragmentada	Agricultura, urbanização, extrativismo	17.150	593	Maior diversidade de plantas terrestres, hotspot mundial de biodiversidade
Catinga	9,9	Clima semiárido, vegetação xerofítica, solos rasos	Pecuária extensiva, uso da vegetação nativa para lenha e alimentação	4.963		Único bioma exclusivamente brasileiro, vulnerável a mudanças climáticas
Pampa	2,1	Campos naturais, gramíneas, herbáceas, clima temperado, solos férteis	Pecuária extensiva, agricultura (arroz, soja, trigo)	2.817	8,15% das espécies avaliadas	Pressão pela conversão para agricultura e pecuária
Pantanal	1,8	Maior planície alagável contínua, dinâmica hidrológica sazonal, campos inundáveis, savanas, florestas ripárias	Pecuária extensiva, turismo de natureza, agricultura	1.682	2,91% das espécies avaliadas	Vulnerável à intensificação agrícola, poluição, desmatamento, hidrelétricas
Sistema Costeiro-Marinho (3)		Manguezais, recifes, praias, estuários, zonas de mar aberto	Pesca, aquicultura, extração mineral, produção de sal, turismo, transporte marítimo, geração de energia	Mais de 20 espécies de plantas vasculares, 1.168 macroalgas (165 pardas, 723 vermelhas, 280 verdes)	160 espécies marinhas	Inclui 51 mamíferos, 62 aves, 1.359 peixes, 5 tartarugas, 1.717 crustáceos, 1.913 moluscos

Fontes: (1) IBGE, 2020; (2) IBAMA, 2022; (3) Seixas et al., 2024.

No que se refere à sociodiversidade, os biomas e o SCM abrangem uma impressionante diversidade de povos, comunidades e culturas, que evoluíram em estreita relação com a diversidade biológica. As comunidades indígenas e tradicionais, presentes em todos os biomas e no SCM, detêm conhecimentos ancestrais sobre manejo do fogo, agrobiodiversidade e usos medicinais. O país abriga 305 povos indígenas falando 274 línguas, e dezenas de outras populações tradicionais (caiçaras, quilombolas, seringueiros, ribeirinhos, quebradeiras de coco babaçu, pantaneiros, vazanteiros). Mais de 500 locais naturais estão associados a múltiplas manifestações culturais (Seixas et al., 2024).

O litoral do Brasil, que integra o SCM, é povoado por indígenas, quilombolas, caiçaras, extrativistas marinhos e costeiros, incluindo a pesca e a coleta de mangaba, caranguejos, siris e mariscos, panelleiras, artesãs e artesãos, entre muitos outros povos com culturas e modos de vida próprios, refletidos na relação de vida que mantêm com os ambientes costeiros e marinhos. No entanto, apesar de serem numerosos e expressivos, esses povos e comunidades são frequentemente invisibilizados em estimativas oficiais. Na zona costeira brasileira existem pelo menos 61 Terras Indígenas reconhecidas ou em processo de reconhecimento, que ocupam cerca de 820 mil hectares, ou 2% da área dos municípios litorâneos, onde habitam aproximadamente 78 mil pessoas de ao menos 14 povos distintos. Nos municípios costeiros, há 111 territórios quilombolas

oficialmente titulados, equivalendo a quase 390 mil hectares (Seixas et al., 2024).

Como se pode observar, há nos biomas e no SCM grande número de povos e de comunidades tradicionais e locais extrativistas, que dependem diretamente da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos para manutenção de seus meios de vida, sendo esses, portanto, os primeiros prejudicados pela falta desses recursos.

Estado de conhecimento e conservação da biodiversidade brasileira

O Brasil é um país conhecido por sua dimensão continental e pela megadiversidade presente em seu território. No que se refere à riqueza vegetal, dados da Flora do Brasil 2020 (BFG, 2021), sumarizados no capítulo sobre biodiversidade do Relatório da Qualidade do Meio Ambiente 2020 - RQMA 2020 (IBAMA, 2022), indicam que há um total de 49.989 espécies registradas, dos diversos grupos biológicos que compõem a biodiversidade vegetal brasileira (Tabela 3.2). Destas, 46.975 são nativas e, entre elas, 19.669 são endêmicas, o que revela um elevado grau de singularidade florística.

Os biomas com maior riqueza florística são a Mata Atlântica (17.150 espécies), Amazônia (13.056) e Cerrado (12.829). Contudo,

destaca-se que a Amazônia permanece como o bioma mais subamostrado, enquanto

a Mata Atlântica e o Cerrado são os mais intensivamente estudados (IBAMA, 2022).

Tabela 3.2 - Síntese da biodiversidade vegetal brasileira em números.

Grupo	Total de espécies (2020)	Espécies nativas	Espécies endêmicas
Algas	4.993	4.972	-
Fungos	6.320	6.320	-
Briófitas (musgos, hepáticas etc.)	1.610	1.584	356
Samambaias e Licófitas	1.403	1.380	527
Gimnospermas	114	23	3
Angiospermas (plantas com flores)	35.549	32.696	18.783
Total	49.989	46.975	19.669

Fonte: BFG (2021), citado por IBAMA, 2022.

No reino animal, o Brasil abriga uma expressiva diversidade de invertebrados, com destaque para a ocorrência de aproximadamente 60.000 espécies de insetos, de acordo com dados compilados no último Relatório de Qualidade do Meio Ambiente – RQMA (IBAMA, 2022; Tabela 3.3). No entanto, apesar dos avanços no conhecimento, os números reais podem ser significativamente superiores, considerando que muitos grupos taxonômicos, especialmente os de pequeno porte,

permanecem subamostrados e pouco descritos. Lewinsohn e Prado (2005), baseados em estimativas de especialistas, atribuíram para Hexapoda (“insetos”) uma quantidade entre 80.750 a 109.250 espécies e para Arachnida (aranhas, escorpiões, opiliões, ácaros e carrapatos), de 5.600 a 6.500 espécies. Ao considerar espécies ainda não descritas ou registradas no país, as estimativas para os insetos ficam na ordem de 800 mil a 1,5 milhão e para Arachnida, de 75 a 132 mil.

Tabela 3.3 - Síntese da biodiversidade brasileira de invertebrados em números

Grupo de Invertebrados	Número estimado de espécies	Observações
Insetos	Aproximadamente 60.000	Estimativas podem ser ainda maiores; inclui besouros (~26.800 spp.) e borboletas (~26.000 spp.).
Aranhas	Aproximadamente 3.200	Alta diversidade ainda subamostrada em várias regiões.
Crustáceos	Aproximadamente 1.100	Inclui caranguejos, camarões, entre outros.
Moluscos	Aproximadamente 2.700	Inclui espécies terrestres e aquáticas.
Anelídeos	Aproximadamente 1.100	Inclui minhocas e outros vermes segmentados.

Fonte: IBAMA, 2022

Em relação aos vertebrados, cerca de 9.000 espécies têm presença confirmada no território brasileiro. Entre elas, destacam-se 701 espécies de mamíferos, 1.919 espécies de aves, 795 espécies de répteis, 1.188 espécies de anfíbios — consolidando o país

como o líder mundial em diversidade desse grupo — e aproximadamente 5.000 espécies de peixes, incluindo tanto espécies continentais quanto marinhas, com destaque para a região amazônica, que abriga mais de 2.400 espécies (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Síntese da biodiversidade brasileira de vertebrados em números.

Grupo	Nº de espécies	Observações
Mamíferos	701	Inclui 51 marinhas: golfinhos, baleias, peixe-boi marinho, pinípedes.
Aves	1.919	Mais de 100 espécies associadas a ambientes costeiros e marinhos.
Répteis	795	36 Testudines (tartarugas, cágados e jabutis), 6 Crocodylia (jacarés e crocodilos), 753 Squamata (cobras, lagartos e anfisbenas).
Anfíbios	1.188	O Brasil possui a maior diversidade de anfíbios do mundo.
Peixes	~3.500 descritas, podendo chegar a 5.000	Peixes marinhos: >1.400 espécies conhecidas, com cerca de 90 endêmicas. Peixes de água doce: a Amazônia abriga mais de 2.400 espécies aproximadamente 70% da ictiofauna continental do país, o que faz do Brasil líder em riqueza de peixes de água doce (cerca de 20% do total mundial).

Fonte: IBAMA, 2022

Somando-se todas as espécies já descritas e identificadas no Brasil (incluindo fauna, flora e outros grupos), estima-se que essas sejam aproximadamente 200.000. No entanto, estudos indicam que o número real de espécies que compõem a biodiversidade brasileira possa ser muito maior, variando entre 1,3 e 2,3 milhões, dada a enorme quantidade de espécies potencialmente ainda desconhecidas da ciência (isto é, espécies novas, não descritas cientificamente) ou que ainda não foram encontradas em território nacional, devido à insuficiência de estudos. Dessa forma, estima-se que atualmente são conhecidas em torno de apenas 10% das espécies que compõem a biodiversidade brasileira (Lewinsohn e Prado, 2005).

No Brasil, é importante notar que a alta biodiversidade vem acompanhada de outro importante atributo biológico, que é o elevado grau de endemismos. É o caso, por exemplo, das espécies brasileiras de vertebrados e de plantas superiores, conforme mencionado na Tabela 3.2. A combinação entre riqueza de espécies e elevado grau de endemismos coloca o país na lista dos 17 países megadiversos do mundo (Mittermeier et al., 1997), que abriga ainda dois *hotspots*² de biodiversidade - a Mata Atlântica e o Cerrado (Myers et al., 2000) - e algumas das ecorregiões do Global-200, como as Florestas Úmidas do Sudoeste Amazônico e do Rio Negro-Juruá e as Savanas Inundadas do Pantanal (Olson e Dinerstein, 2003).

A criação de espaços especialmente

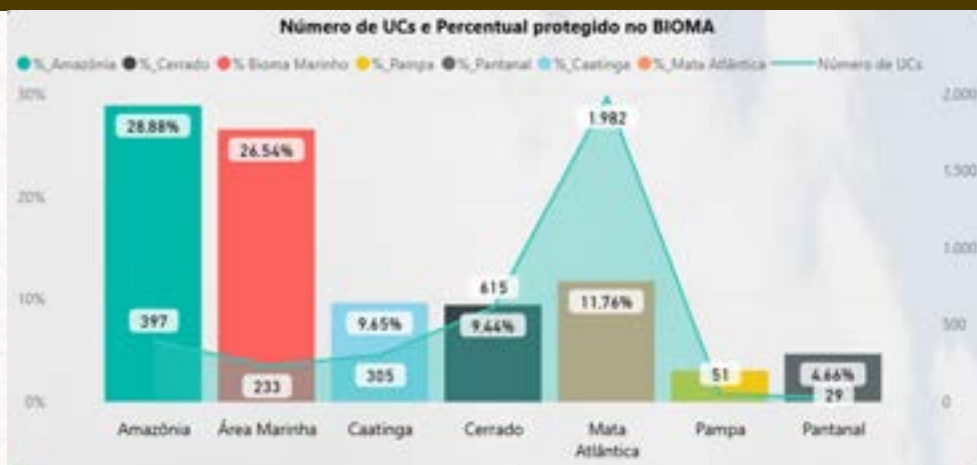
protegidos, como as unidades de conservação (UCs), se constitui em uma das principais estratégias de conservação e uso sustentável da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, em nível mundial. Assim, para proteger essa notável biodiversidade presente em seu território, o Brasil estabeleceu e implementou um bem estruturado sistema de unidades de conservação (UCs), que abrange todos os biomas e o SCM.

A Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC),

estabelecendo normas e critérios para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. O SNUC abrange o conjunto de unidades de conservação federais, estaduais e municipais, dividindo-as em dois grandes grupos: Unidades de Proteção Integral (PI), cujo objetivo básico é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto de seus recursos naturais; e Unidades de Uso Sustentável (US), cujo objetivo principal é compatibilizar a conservação da natureza e o uso sustentável de parte dos seus recursos naturais.

Atualmente, o SNUC abrange um total de 3.300 UCs (Figura 3.2) e aproximadamente 2,6 milhões de km², o que equivale a cerca de 25% da área do continente europeu. Os dados sobre as UCs constam do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, mantido pelo MMA, de forma transparente e prontamente acessível, e a gestão das UCs vem sendo continuamente aprimorada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

Figura 3.2: Número de Unidades de Conservação e percentual da área protegida por bioma e no Sistema Costeiro-Marinho.



Fonte: Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC/MMA). Acessível em <https://cnuc.mma.gov.br/powerbi>, consulta em 21/10/2025.

²Hotspots de biodiversidade são áreas com alta concentração de espécies de plantas endêmicas e que estão sob grave ameaça de perda de vegetação original.

Relações entre biodiversidade e serviços ecossistêmicos

A CDB define biodiversidade como a “variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas” (CDB, 2000). Assim, a biodiversidade é sinônimo não apenas de vida, mas de complexas relações que tornam viável a própria existência de vida no planeta Terra (Roma, 2014).

A Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM; Millennium Ecosystem Assessment, 2005), por sua vez, define serviços ecossistêmicos³, de maneira ampla, como “os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas”. Ainda segundo essa fonte, os serviços ecossistêmicos podem ser classificados em quatro categorias: 1) De provisão, produtos obtidos diretamente dos ecossistemas; 2) De regulação, benefícios obtidos da regulação de processos ecossistêmicos; 3) Culturais, que são benefícios imateriais obtidos dos ecossistemas, e 4) De suporte, que são aqueles necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos. Cada uma dessas categorias, por sua vez, está relacionada em maior ou menor grau ao bem-estar humano, como segurança, acesso a bens materiais, saúde, manutenção de boas relações sociais, liberdades de escolha e de ação (Figura 3.3)⁴.

Figura 3.3: Categorias de serviços ecossistêmicos e suas relações com o bem-estar humano.



Fonte: Roma (2014), adaptado de Millennium Ecosystem Assessment (2005).

³Embora amplamente utilizado, o conceito de serviços ecossistêmicos sofre críticas por enfatizar excessivamente a dimensão econômica e não abranger plenamente as diversas perspectivas e valores associados à natureza. Como alternativa a esse conceito, foi recentemente proposto o termo “Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP)”, definido como todas as contribuições, positivas e negativas, da natureza viva — incluindo a diversidade de organismos, ecossistemas e seus processos ecológicos e evolutivos — para a qualidade de vida humana. A Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES), por exemplo, adotou essa abordagem, o que ampliou o debate sobre a utilidade do termo CNP e sobre as diferenças em relação à abordagem tradicional dos serviços ecossistêmicos (Díaz et al., 2018; Joly et al., 2019).

⁴Para maiores informações sobre as categorias de serviços ecossistêmicos e suas relações com o bem-estar humano, sugere-se a consulta a Roma (2014).

É importante ressaltar que não apenas os ecossistemas naturais, mas também paisagens agrícolas, tais como plantações e pastagens, são provedoras de serviços ecossistêmicos. Existe, porém, uma relação direta entre a complexidade estrutural dos ecossistemas, tamanho das áreas, biodiversidade presente e serviços ecossistêmicos providos. Assim, em geral quanto maiores as áreas e as complexidades estruturais dos ecossistemas (resultando em uma ampla variedade de microambientes), maiores serão a sua biodiversidade e o número/volume de serviços ecossistêmicos supridos por estes.

Isso é o que torna as florestas ecossistemas tão especiais em ambientes terrestres. Por apresentarem grande complexidade estrutural⁵, as florestas abrigam elevada diversidade de organismos e proveem grande quantidade de serviços ecossistêmicos, que abrangem todas as categorias contempladas na classificação da AEM. De forma análoga, o mesmo ocorre no ambiente marinho, em relação aos recifes de coral.

No entanto, áreas voltadas para a produção em larga escala de commodities agropecuárias, por exemplo, são geralmente ambientes muito simplificados (grandes monoculturas e pastagens), que privilegiam a provisão de bens com valor econômico (grãos e fibras, rebanhos para produção de carne), em detrimento de todas as demais categorias de serviços ecossistêmicos (suporte, regulação, culturais), normalmente sem valor econômico estabelecido, outrora existentes nessas áreas. Essa simplificação extrema, somada à utilização de grande quantidade de insumos químicos (adubos, agrotóxicos), resultam na redução ou perda de uma grande quantidade de serviços ecossistêmicos, gerando impactos que ultrapassam muito os limites privados das propriedades agropecuárias, alguns dos quais são exemplificados na seção sobre impactos.

Conforme resalta Dasgupta (2021), bens e serviços providos pela biodiversidade constituem as bases da economia mundial, e à medida em que a biosfera (componente

vivo do planeta) é finita em extensão, o fluxo de bens e serviços que ela fornece é também limitado. Assim, a perda de biodiversidade, causada pela exploração insustentável dos recursos naturais, tem um custo econômico significativo, incluindo a perda de produtividade, a diminuição da oferta de serviços ecossistêmicos e a deterioração da saúde humana.

Em função disso, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos são importantes ativos do Brasil (Roma, 2014), devendo ser tratados como temas indissociáveis e cada vez mais estratégicos para o desenvolvimento econômico, socialmente inclusivo e ambientalmente sustentável do país (Roma & Viana, 2023).

As forças motrizes que induzem perdas e degradações na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos são resultantes de processos históricos e socioeconômicos que moldam a relação entre sociedade e natureza, o que é apresentado na próxima seção.

Forças motrizes atuando sobre a biodiversidade brasileira

Uma primeira força motriz a ser considerada como causadora de grande perda de biodiversidade é a globalização, que se iniciou no século XVI com as grandes navegações e a intensificação das trocas de mercadorias. Desde então, o Brasil tem passado por vários ciclos econômicos exportadores de commodities, sejam essas minerais ou monoculturas agrícolas, cuja exploração ou produção provocam profundas alterações no território brasileiro, iniciadas, invariavelmente, com a remoção da cobertura vegetal nativa. Com essa, vão-se também os ecossistemas e os habitats para as espécies, alteram-se as cadeias tróficas, populações de organismos são reduzidas em número e tornam-se separadas na paisagem, reduzindo o fluxo gênico e provocando uma espiral de

⁵Complexidade estrutural, no caso das florestas, abrange a existência de diversos estratos de vegetação, como o herbáceo, arbustivo, sub-bosque, dossel, além de uma grande quantidade de matéria orgânica em decomposição sobre o solo, de raízes etc., criando uma série de microambientes para as espécies. Quanto à diversidade de organismos, esta compreende o número de espécies de plantas e animais, muitas vezes especializados em determinados estratos da vegetação, além dos microrganismos presentes no solo e nas outras espécies, entre outros.

extinções (locais ou mesmo globais, no caso de espécies endêmicas). Isso gera, também, impactos profundos sobre os serviços ecossistêmicos, como será tratado mais adiante.

Os efeitos da primarização da pauta de exportações de commodities na sustentação do saldo comercial brasileiro, intensificado no período recente (Tabela 3.5), são

preocupantes, pois podem ser danosos de diversas maneiras para a estrutura produtiva brasileira no longo prazo (De Negri & Alvarenga, 2011). Isso se estende, também, ao que se refere às ameaças em larga escala (espacial, temporal) à biodiversidade brasileira e aos serviços ecossistêmicos por ela providos.

Tabela 3.5 - Dez principais produtos exportados pelo Brasil em 2025 (janeiro-abril).

Produto	Valor (em US\$ milhões FOB)
Soja	14.588,63
Óleos brutos de petróleo ou de minerais betuminosos, crus	14.134,88
Minério de ferro e seus concentrados	8.032,22
Café não torrado	5.035,97
Carne bovina fresca, refrigerada ou congelada	4.115,92
Óleos combustíveis de petróleo ou de minerais betuminosos (exceto óleos brutos)	4.016,34
Celulose	3.539,05
Açúcares e melaços	3.454,94
Carnes de aves e suas miudezas comestíveis, frescas, refrigeradas ou congeladas	3.128,71
Farelos de soja e outros alimentos para animais (excluídos cereais não moídos), farinhas de carnes e outros animais	2.831,76
Algodão em bruto	1.957,63

Fonte: Comex Stat, 2025⁶.

Além disso, a chamada Revolução Verde, iniciada após a Segunda Guerra Mundial, intensificou a agricultura em larga escala, aumentando o percentual de produção primária líquida que é consumida pela humanidade, causando um rápido declínio de espécies pela ocupação de seus habitats e espalhando espécies invasoras. O atual uso do solo no Brasil (Tabela 3.6), em que a

agricultura e pecuária ocupam parte significativa do território nacional, é um exemplo disso.

Consequentemente, as taxas de extinção de espécies cresceram rapidamente no século XX para todos os grupos taxonômicos (IPBES, 2019), uma vez que os outros usos da terra concorrem com a conservação da biodiversidade.

⁶Sistema oficial para extração das estatísticas do comércio exterior brasileiro de bens, mantido pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços – MDIC. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 27 de maio de 2025.

Tabela 3.6 - Estoques físicos de terra, segundo as classes de cobertura e uso da terra em 2020.

Classes de cobertura e uso da terra	Unidade de medida	2020
Área Artificial	km ²	37.366
	%	0,4%
Área Agrícola	km ²	688.900
	%	7,9%
Pastagem com Manejo	km ²	1.132.213
	%	12,9%
Mosaico de Ocupações em Área Florestal	km ²	820.941
	%	9,4%
Silvicultura	km ²	86.610
	%	1,0%
Vegetação Florestal	km ²	3.718.891
	%	42,5%
Área Úmida	km ²	33.585
	%	0,4%
Vegetação Campestre	km ²	1.625.591
	%	18,6%
Mosaico de Ocupações em Área Campestre	km ²	253.204
	%	2,9%
Corpo d'água Continental	km ²	127.128
	%	1,5%
Corpo d'água Costeiro	km ²	224.395
	%	2,6%
Área Descoberta	km ²	3.742
	%	0,0%

Fonte: IBGE, 2025⁷.

Juntamente com as especializações de exportações dos países, o processo de globalização foi intensificado pela Revolução Industrial na Europa, o que levou ao aumento das populações humanas, ao crescimento das cidades e, concomitante, ao aumento das pressões sobre a biodiversidade (IPBES, 2019). Adicionalmente, o potencial industrial moderno influenciou no mundo todo o

aumento populacional e uma economia massivamente extrativa e poluidora (Bendik-Keymer & Haufe, 2017).

O crescimento da população brasileira (Figura 3.4) e os padrões de produção e consumo são decorrentes dos processos históricos mencionados, e atuam em conjunto como força motriz da perda de biodiversidade.

⁷Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/34822-contas-economicas-ambientais-da-terra.html?edicao=34823&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 27 mai. 2025.

Figura 3.4: Crescimento populacional brasileiro entre 1872-2022.

Fonte: IBGE, 2025⁸.

Estudos indicam haver uma relação significativa entre consumo e impacto para uma ampla gama de indicadores ambientais, como a biodiversidade (Wiedmann et al., 2020). O Brasil é um país com alta desigualdade e concentração de renda. Em 2022, o 1% mais rico da população concentrava 23,6% da renda disponível bruta das famílias brasileiras, e somente os 0,1% mais ricos concentravam 11,9% (Gobetti, 2024). Isso implica um consumo desigual e degradante do meio ambiente em ambas as extremidades, sendo necessário buscar estilos de vida sustentáveis que respeitem a dignidade humana e os limites planetários.

A desigualdade socioeconômica gera impactos ambientais no país como um todo, apesar de regionalmente diferenciados. A população brasileira teve grande aumento principalmente a partir da década de 1950 (Figura 3.4); consequentemente, devido aos estilos de vida discrepantes mencionados, isso ocasionou também um grande aumento da pegada ecológica no país.

A pegada ecológica refere-se a uma medida de área produtiva, de terra e água, que um indivíduo, uma população ou uma atividade necessita para produzir todos os recursos que consome e absorver os resíduos gerados, considerando a tecnologia e as

práticas de gestão de recursos predominantes. A pegada ecológica do Brasil em 2022, medida em hectares globais (um hectare biologicamente produtivo com produtividade biológica média mundial para um determinado ano), triplicou entre 1961 e 2022. No mesmo período, porém, a biocapacidade do Brasil, isto é, a capacidade dos ecossistemas se regenerarem em relação ao que é demandado da superfície na qual se encontram, sofreu uma redução de 5,3%⁹.

Assim, a capacidade de produzir os materiais biológicos utilizados e de absorver os resíduos gerados por humanos, nas condições atuais no território brasileiro, vem sendo reduzida, ao passo que a demanda por área produtiva, terra e água, tem aumentado rapidamente, o que evidencia um consumo insustentável dos recursos naturais do país. Dessa forma, apesar da pegada ecológica brasileira ainda não ter atingido a biocapacidade estimada do país, apresenta tendência de crescimento e sua pressão nos ecossistemas está afetando drasticamente a biodiversidade, além de causar outros efeitos ambientais interligados.

Na próxima seção são analisadas as pressões antropogênicas sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, resultantes das forças motrizes consideradas.

⁸Figura elaborada pelo IBGE com base em dados do Censo 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/index.html>. Acesso em: 22 mai. 2025.

⁹York University, FoDaFo e Global Footprint Network, 2025 National Footprint and Biocapacity Accounts. Os dados para 2022 são uma estimativa. Disponível em: <https://data.footprintnetwork.org/#/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

Pressões sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos

Esta seção analisa as principais pressões sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos em território brasileiro, incluindo também uma breve síntese de como essas têm se manifestado e afetado os biomas e o SCM.

No que se refere aos serviços ecossistêmicos, em nível mundial, foi constatado que aproximadamente 60% destes estão atualmente em processo de degradação. Esse processo resulta, principalmente, de cinco pressões, atuando de forma sinérgica: perda de habitat (resultantes de mudanças no uso da terra), mudanças climáticas, introdução de espécies exóticas invasoras, sobre-exploração dos recursos naturais e poluição. Mudanças no uso da terra podem provocar a perda de espécies, aumentar a carga de nutrientes (especialmente quando há conversão para agricultura de alta intensidade), elevar a emissão de gases de efeito estufa e favorecer a proliferação de espécies invasoras (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Diferentemente da análise realizada pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio em nível mundial, porém, não há uma avaliação tão ampla das pressões e do estado de conservação dos serviços ecossistêmicos em nível nacional, embora existam avaliações pontuais a respeito, algumas das quais são aqui incluídas. Dessa forma, as informações incluídas no presente capítulo devem ser vistas não como uma revisão ampla dos efeitos das pressões e do estado de conservação dos serviços ecossistêmicos em território nacional, o que ainda não existe, mas sim como exemplos de uma situação que notoriamente ocorre, mas que precisa ser mais bem investigada e documentada, de maneira mais ampla.

Os biomas brasileiros sofreram mudanças significativas sobretudo nas últimas três décadas, impulsionadas por atividades humanas e desastres naturais, os quais têm

provocado perdas crescentes de biodiversidade e redução dos serviços ecossistêmicos. As principais pressões à biodiversidade no Brasil coincidem com as identificadas em nível global: mudanças no uso da terra, obras de infraestrutura, introdução de espécies exóticas invasoras, consumo insustentável de recursos naturais (sobre-exploração), poluição ambiental e mudanças climáticas, conforme apresentado a seguir.

Mudanças no uso da terra

As mudanças no uso da terra, de maneira simplificada e para fins do presente capítulo, são entendidas como sendo a conversão, degradação e fragmentação de áreas com vegetação natural paisagens onde ocorrem usos intensivos da terra, como a produção em larga escala de commodities (agropecuárias, minerais). Essas mudanças no uso da terra alteram profundamente a cobertura vegetal natural dos biomas, consequentemente impactando de maneira severa a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos por ela providos.

De maneira geral, esse fenômeno é tratado como “desmatamento”, embora ocorra também em vegetações não florestais, e tem afetado de maneira diferente os seis biomas terrestres brasileiros. Não obstante, pela sua extensão e pelas alterações profundas causadas nos ambientes naturais, é seguramente o principal vetor de perda de biodiversidade e de degradação dos serviços ecossistêmicos em ambientes terrestres no Brasil, afetando também ecossistêmicos de águas interiores e da ZCM. Vale lembrar, também, que o setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, que inclui desmatamentos e queimadas, historicamente tem sido a principal fonte de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) no Brasil, contribuindo com 39,5% do total de emissões em 2022, segundo dados do Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

Desde 1988, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) implementou o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (Prodes), que calcula anualmente a taxa de desmatamento para toda Amazônia Legal brasileira, utilizando sensoramento

remoto e geoprocessamento. Há que se fazer, porém, uma distinção importante entre o “bioma Amazônia” e a “Amazônia Legal brasileira” (ALB).

Enquanto o bioma Amazônia é aquele definido pelo IBGE, conforme mencionado previamente (Figura 3.1), a ALB é uma área político-administrativa definida pelo governo federal, para planejamento e desenvolvimento econômico e social da região amazônica. Foi estabelecida pela Lei nº 1.806/1953, e posteriormente alterada por outras legislações, com o objetivo de abranger uma área específica para a atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). Sua área abrange 5,0 milhões de km², ou 59% do território brasileiro, e engloba os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, e a parte do Maranhão a oeste do meridiano de 44° W. Dessa forma, os dados de desmatamento apresentados a seguir referem-se à ALB, que embasou a elaboração da política de combate ao desmatamento para a Amazônia.

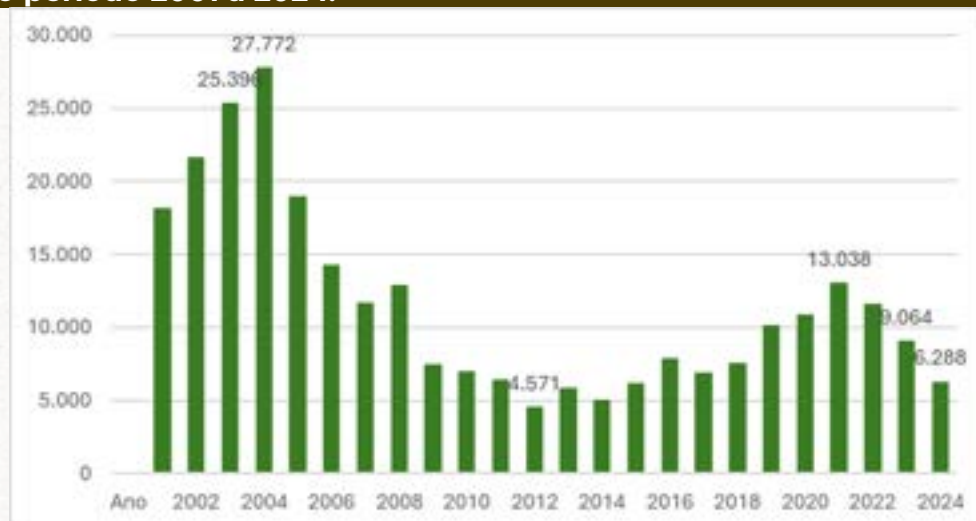
Em junho de 2003, os dados divulgados pelo Inpe relativos à projeção de desmatamento na ALB no período de agosto de 2001 a julho de 2002, indicavam um crescimento acelerado do desmatamento em torno de 40% em relação ao período anterior, mesmo sob um cenário de contração econômica. A possibilidade de rápido aumento do desmatamento na região demandava uma avaliação de suas causas, como base para o planejamento de um conjunto de ações integradas do Poder Público e com participação ativa da sociedade brasileira, no sentido de conter esse avanço. Diante disso, o governo federal instituiu, por meio do Decreto de 03 de julho de 2003, um Grupo Permanente de Trabalho Interministerial (GPTI), com a finalidade de propor medidas e coordenar ações com vistas à redução dos índices de desmatamento na ALB.

Como resultado dos trabalhos do GPTI, em 2004 o governo federal implementou o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAm, cuja primeira fase durou de 2004

a 2008, sendo esta posteriormente sucedida pelas fases 2 (2009-2011), 3 (2012-2015) e 4 (2016-2020) do PPCDAm. Em 2019, com a mudança na gestão do governo federal até 2022, que levou à desmobilização de uma série de políticas públicas ambientais e extinção ou modificações significativas em suas estruturas de governança, o PPCDAm foi sumariamente encerrado, sendo substituído pelo Plano Nacional para o Controle do Desmatamento Ilegal e Recuperação da Vegetação Nativa, cuja execução se estendeu até 2022. Em 2023, após nova mudança na gestão do governo federal para o período até 2026, o PPCDAm foi restituído, agora em sua Fase 5 e com duração prevista até 2027. Os “planos de combate ao desmatamento”, como são conhecidos, são organizados em 4 eixos: (I) ordenamento fundiário e territorial; (II) monitoramento e controle; (III) fomento às atividades produtivas sustentáveis; e (IV) instrumentos econômicos e normativos. O mais efetivo em reduzir o desmatamento tem sido o eixo II, monitoramento e controle, que abrange as ações de fiscalização e sanção ao desmatamento ilegal, enquanto os demais eixos permanecem apenas parcialmente implementados.

Como se observa na Figura 3.5, o desmatamento na ALB variou bastante desde o início dos anos 2000, com taxas anuais muito elevadas no início do período, atingindo um recorde de 27.772 km² em 2004, primeiro ano de vigência do PPCDAm. Posteriormente, houve uma redução praticamente contínua nas taxas de desmatamento na ALB (com exceção de 2008, quando houve nova alta), até atingir em 2012 o mínimo registrado até o momento, com 4.571 km² naquele ano. Após 2013 observou-se nova tendência de alta, até atingir um novo pico em 2021, com 13.038 Km². A última taxa de desmatamento registrada para a ALB, em 2024, foi de 6.288 km², o que representou uma redução de 30,6% em relação à taxa de 2023. Em grande parte, essas variações podem ser atribuídas às mudanças nas gestões do governo federal ocorridas no período, com destaque na alta ocorrida entre os anos 2019 a 2022, conforme previamente mencionado.

Figura 3.5: Área desmatada anualmente (km²) na Amazônia Legal Brasileira, durante o período 2001 a 2024.



Fonte: Plataforma Terrabrasilis, do Inpe. Disponível em <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>

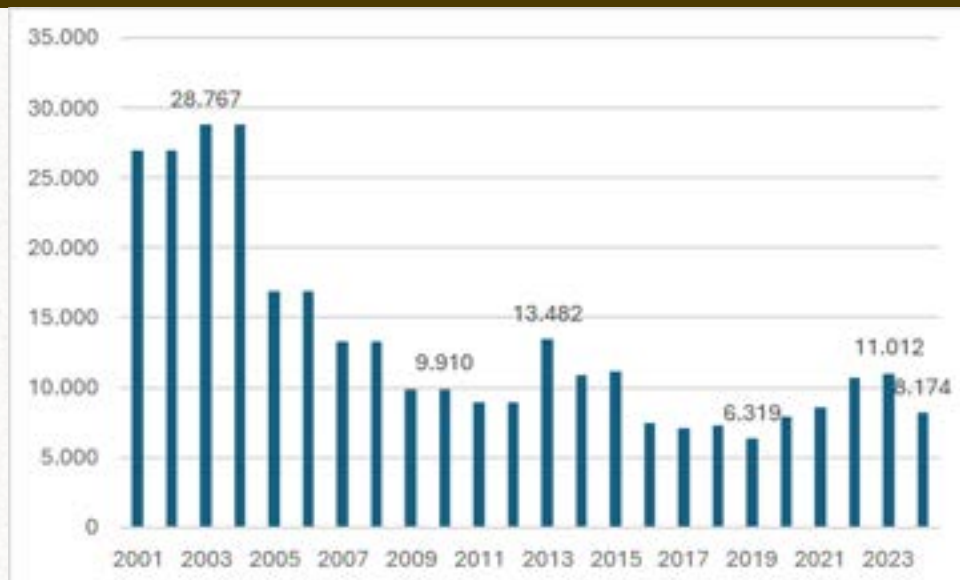
O desmatamento na Amazônia historicamente se concentra no chamado “arco do desmatamento”, impulsionado por grandes obras de infraestrutura, como pavimentação de estradas e hidrelétricas, além da expansão da soja e da pecuária no Mato Grosso e a expectativa de lucros com a invasão de terras. Recentemente, esse processo tem avançado para regiões mais interiores, principalmente nos estados do Pará, Acre e Amazonas, ao longo de rodovias como BR-163, BR-230, BR-319 e BR-364. Em 2022, 32,5% do desmatamento ocorreu em terras públicas não destinadas, totalizando 101 milhões de hectares, sendo 40 milhões sob gestão estadual (principalmente no Amazonas, com 90% desse total) e 30,5% sob jurisdição federal (MMA/PPCDAm, 2025).

No que se refere ao bioma Cerrado, o desmatamento passou a ser monitorado pelo Inpe a partir de 2018, utilizando a mesma metodologia do Prodes para a ALB. Como pode ser observado na Figura 3.6, as taxas de desmatamento anual do bioma Cerrado eram bastante elevadas no início dos anos 2000, à semelhança do que ocorria na ALB. Para fazer frente a esse problema, e seguindo os passos anteriormente adotados para a Amazônia Legal, o governo federal instituiu o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado –

PPCerrado, cuja primeira fase abrangeu os anos de 2010 e 2011. Essa foi sucedida pelas fases 2 (2014-2015) e 3 (2016-2020), até que, à semelhança do ocorrido na ALB, em 2019 houve o encerramento sumário do PPCerrado e sua substituição pelo Plano Nacional para o Controle do Desmatamento Ilegal e Recuperação da Vegetação Nativa, cuja execução se estendeu até 2022. Assim como ocorreu com o PPCDam, com a mudança da gestão do governo federal o PPCerrado foi restabelecido em 2023, agora em sua Fase 4 e com duração prevista até 2027.

No início dos anos 2000, a área desmatada no Cerrado atingiu picos de quase 29 mil Km². Quando do início da vigência do PPCerrado, em 2010, a área desmatada anualmente era da ordem de 10 mil km² ao ano. Seguiu-se um pico de desmatamento no ano de 2013, quando este atingiu 13.482 km². Depois disso houve uma tendência de queda até 2019, quando o desmatamento atingiu o menor valor da série histórica, com 6.319 km², seguida de nova tendência de alta até 2023, quando a área desmatada foi de 11.012 km². Em 2024 a área desmatada voltou a cair, atingindo 8.174 km² naquele ano. Fato marcante foi a tendência de alta na área desmatada no período 2019 a 2023, em grande parte como consequência da interrupção do PPCerrado no período 2019 a 2022, conforme mencionado.

Figura 3.6: Área desmatada anualmente (km²) no Cerrado, durante o período 2001 a 2024.



Fonte: Plataforma Terrabrasilis, do Inpe. Disponível em <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>

Considerado um hotspot global de biodiversidade, o Cerrado vem sendo profundamente modificado por atividades agropecuárias que se intensificaram nos anos 1960, estimuladas por políticas públicas e pela construção da rodovia Belém-Brasília, que promoveram migração e ocupação do Brasil Central. Investimentos públicos nos anos 2000 e pesquisas da Embrapa, que adaptaram a soja ao clima e solo do bioma, aceleraram a sua ocupação. O Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA (Decreto nº 8.447/2015), região formada por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, impulsionou ainda mais a expansão agropecuária, sobretudo da soja (MMA/PPCerrado, 2025). Adicionalmente, a extração de lenha para produção de carvão vegetal e a coleta de frutos nativos promovem a fragmentação e a perda de conectividade dos habitats do bioma.

A partir de 2022, por intermédio do Programa de Monitoramento do Desmatamento por Satélite (Prodes), o Inpe passou a fornecer informações sistemáticas também sobre o desmatamento anual ocorrido nos biomas Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. Inicialmente foi construída uma linha de base, em que foram mapeadas as áreas nesses biomas desmatadas a partir de 2001. No momento essas encontram-se atualizadas somente até 2023, enquanto Amazônia e Cerrado já as têm atualizadas até 2024.

Cabe ressaltar que em dezembro de 2024 foram publicadas a fase 1 do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas da Caatinga (PPCaatinga) e do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Pantanal (PPPantanal), ambos com execução entre 2024 e 2026, e em maio de 2025 foram publicadas a fase 1 do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Pampa (PPPampa) e do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas na Mata Atlântica (PPMata Atlântica), ambos com execução entre 2025 e 2027. Dessa forma, à semelhança do que já ocorria com a Amazônia Legal e o Cerrado, todos os demais biomas brasileiros passaram a contar com planos próprios para enfrentar as questões relacionadas ao desmatamento e às queimadas, bem como de monitoramento e cálculos das alterações da cobertura vegetal em bases anuais realizadas pelo Inpe.

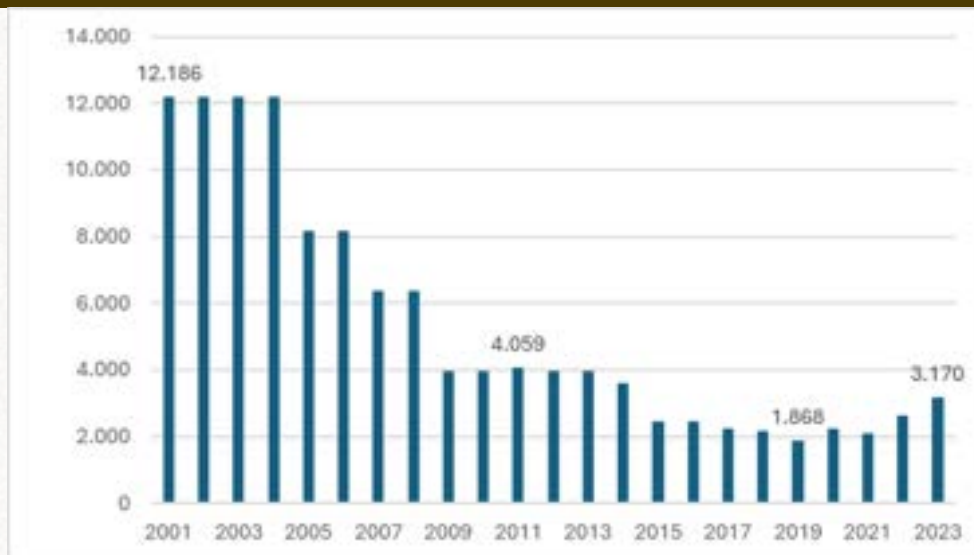
A Figura 3.7 mostra o desmatamento na Caatinga entre os anos de 2001 e 2023, em que é possível observar uma tendência geral de redução até o ano de 2021, quando passou a haver uma tendência de alta. A média do desmatamento observado no período 2001 a 2004 atingiu um pico de 12.186 km² ao ano. A partir de 2005, observa-se uma queda significativa, chegando a 1.868 km² em 2019. No entanto, em 2022 e 2023 houve um aumento do desmatamento, que

atingiu uma área de 3.170 km² em 2023.

Na Caatinga, o desmatamento e a degradação da cobertura vegetal são resultados da exploração agrícola itinerante, culturas intensivas (como algodão e sisal), pecuária extensiva e exploração de biomassa para energia, como lenha e carvão.

Recentemente, surgiram novos vetores de pressão, como desmatamento para instalação de parques de energia eólica e solar. Muitas vezes esses vetores se interligam, como a extração de biomassa para energia em áreas destinadas a usos alternativos do solo (Leal et al., 2005; MMA/PPCaatinga, 2025).

Figura 3.7: Área desmatada anualmente (km²) na Caatinga, durante o período 2001 a 2023.



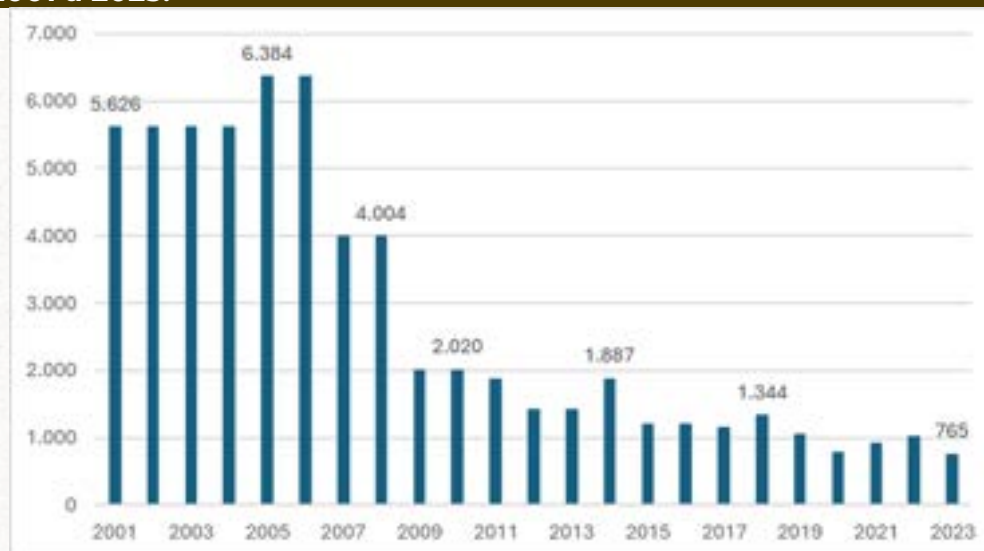
Fonte: Plataforma Terrabrasilis, do Inpe. Disponível em <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>

No caso da Mata Atlântica, a Figura 3.8 revela uma trajetória marcada por altos índices de desmatamento nos anos iniciais do monitoramento, com destaque para o pico de 6.384 km² ao ano, em média, nos anos de 2004 e 2005. A partir desse ponto, observa-se uma tendência de queda progressiva, com crescimentos esporádicos em 2014 e 2018, culminando em 2023 com o menor índice do período: 765 km² desmatados. Essa trajetória sugere avanços importantes nas políticas de conservação e controle ambiental, com destaque para a Lei da Mata Atlântica, publicada em 2006 (Lei nº 11.428/2006).

Reconhecida como um hotspot global de biodiversidade, a Mata Atlântica é historicamente o bioma mais degradado do Brasil, resultando na redução de suas

florestas densas a um mosaico de pequenos fragmentos isolados, imersos em matrizes antrópicas (Ribeiro et al., 2009). Desde o século XVI, a destruição resultou da criação de gado e exploração madeireira para exportação à Europa e incentivos à agricultura, como açúcar, café e soja (Tabarelli et al., 2005). Atualmente, a expansão urbana e industrial desordenada, juntamente com atividades agrícolas e silviculturais, continuam a exercer pressão sobre os remanescentes florestais. O extrativismo predatório da palmeira juçara para extração do palmito, por exemplo, causou uma drástica redução na distribuição e na integridade das populações remanescentes, levando-a a constar, há mais de 20 anos, na lista de espécies ameaçadas (Matos e Bovi, 2002).

Figura 3.8: Área desmatada anualmente (km²) na Mata Atlântica, durante o período 2001 a 2023.



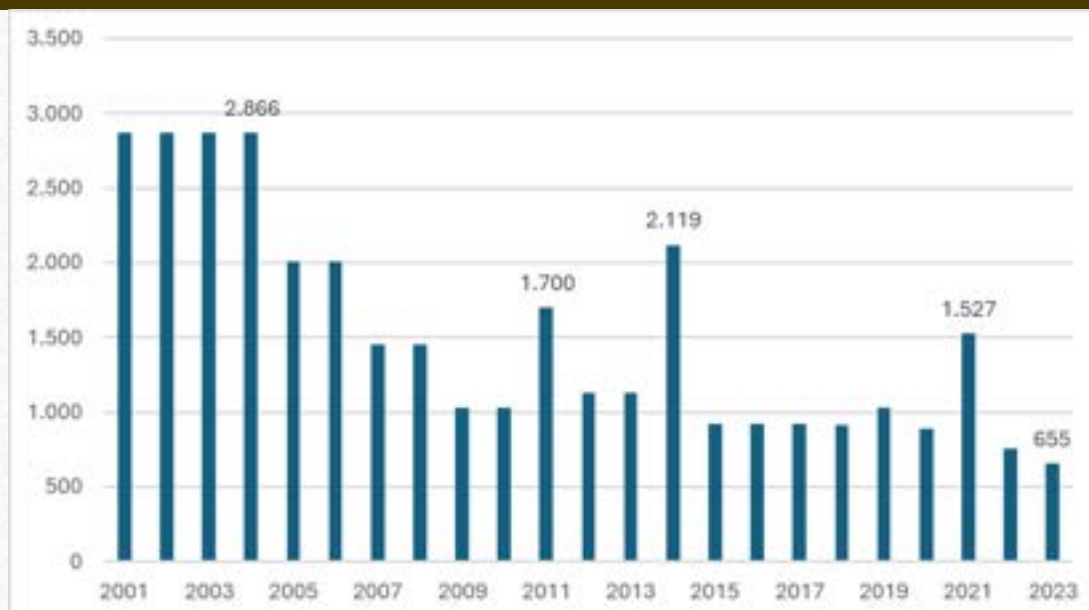
Fonte: Plataforma Terrabrasilis, do Inpe. Disponível em <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>

Quanto ao bioma Pampa, a Figura 3.9 mostra altos índices de desmatamento no início dos anos 2000, com uma média de 2.866 km² desmatados ao ano no intervalo de 2001 a 2004, seguindo-se uma tendência geral de redução ao longo do tempo, com exceções nos anos de 2011, 2014 e 2021, quando as áreas desmatadas foram de 1.700, 2.119 e 1.527 Km² desmatados ao ano, respectivamente. Em 2023 foi atingindo o menor índice da série histórica de desmatamentos para o bioma, com 655 km² desmatados naquele ano.

O Pampa, com ecossistemas campestres e rica biodiversidade, sofre crescente pressão

devido à expansão da agricultura, impulsionada pela demanda agrícola intensificada no superciclo das commodities (2004 a 2011). A fronteira da soja avançou sobre a metade sul do Rio Grande do Sul, convertendo áreas historicamente destinadas à pecuária extensiva em lavouras anuais. Além da soja, o bioma sofre com a expansão do arroz irrigado, a silvicultura com eucalipto e pinus, e a pecuária intensiva, que juntos provocam perda de habitat e fragmentação dos ecossistemas. Entre 1985 e 2023, a área cultivada com soja cresceu 387%, atingindo 40.159 km².

Figura 3.9: Área desmatada anualmente (km²) no Pampa, durante o período 2001 a 2023.



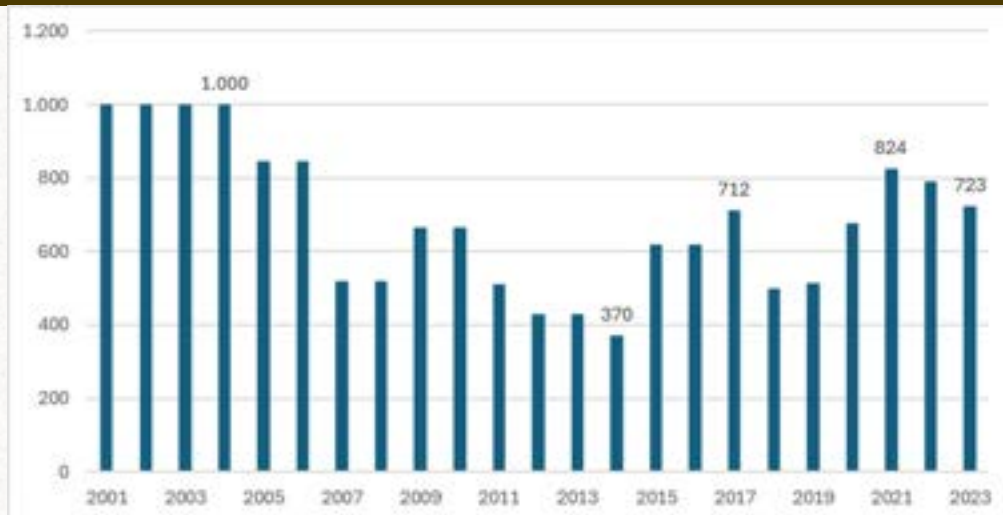
Fonte: Plataforma Terrabrasilis, do Inpe. Disponível em <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>

Em relação ao Pantanal, conforme pode ser observado na Figura 3.10, o maior índice de desmatamento foi registrado nos anos 2001 a 2004, com uma média de 1.000 km² desmatados ao ano. A partir de 2005 houve oscilações na área desmatada ao longo dos anos, a qual atingiu seu ponto mais baixo em 2014, com 370 km², seguindo-se novos picos em 2017 (712 km²) e em 2021 (824 km²). Desde então houve nova tendência de queda, e em 2023 a área desmatada foi de 723 km². No entanto, os valores permanecem elevados em comparação com a baixa histórica, atingida em 2014.

O Pantanal é caracterizado por inundações sazonais, decorrentes do encharcamento quase perene dos solos em diversas áreas, formando um mosaico de vegetação herbácea e arbórea, embora predomine a cobertura de formações abertas. Há mais de

200 anos, os campos nativos são utilizados como pastagem forrageira para o manejo de bovinos. O fogo é elemento natural da dinâmica ecológica desses ecossistemas, estando presente na região há mais de 12 mil anos e sendo tradicionalmente empregado para a limpeza de pastagens durante o período seco, entre maio e setembro, quando também ocorrem os grandes incêndios. Desde 2019, o Pantanal enfrenta o mais longo período contínuo de seca observado desde 1985, tendo o ano de 2020 registrado os menores índices pluviométricos das últimas cinco décadas (MMA/PPPantanal). Adicionalmente, a poluição por metais pesados e agrotóxicos, oriundos principalmente da mineração de ouro e de atividades agrícolas nas áreas adjacentes, compromete a qualidade das águas sazonais e afugenta espécies sensíveis.

Figura 3.10: Área desmatada anualmente no Pantanal, durante o período 2001 a 2023.



Fonte: Plataforma Terrabrasilis, do Inpe. Disponível em <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>

A análise comparada do desmatamento nos biomas brasileiros mostra que, embora tenham ocorrido avanços significativos no monitoramento e no estabelecimento de políticas de controle, como os planos de ação setoriais (Planos de Prevenção e Controle do Desmatamento por bioma) e legislações específicas (Lei da Mata Atlântica), o fenômeno ainda persiste como um dos principais vetores de degradação ambiental e perda de biodiversidade no país. Os dados mostram trajetórias distintas: enquanto Amazônia e Cerrado mantêm índices elevados e oscilantes ao longo do tempo, biomas como Mata Atlântica e Pampa apresentam reduções expressivas.

Já Caatinga e Pantanal revelam um padrão de instabilidade, com aumentos nas taxas após períodos de declínio. Esse cenário indica a necessidade de esforços contínuos e adaptados às especificidades territoriais de cada bioma.

Obras de Infraestrutura

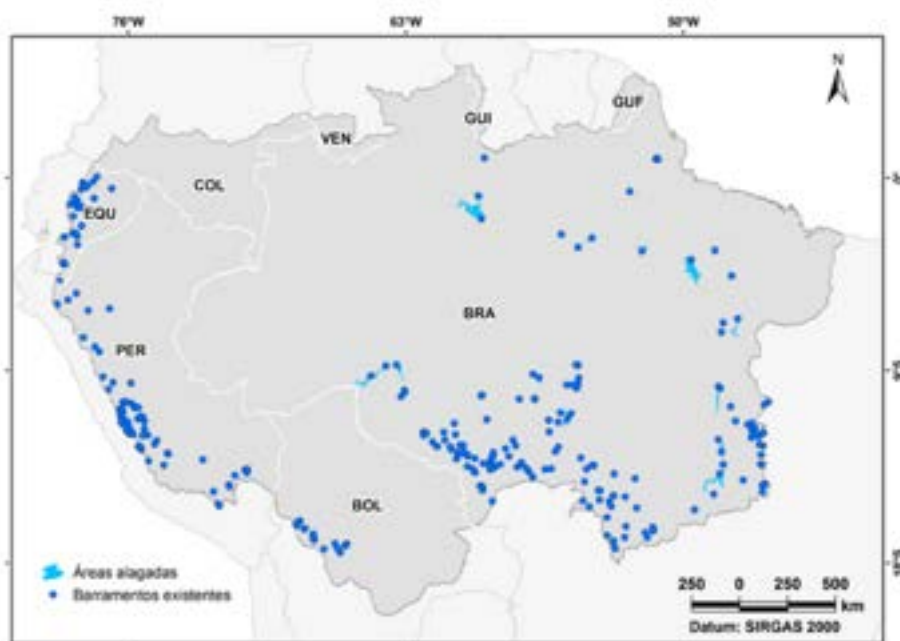
A dinâmica natural dos rios brasileiros tem sido profundamente alterada pela construção de reservatórios, o que acontece em todas as regiões do país. Os impactos da construção de reservatórios sobre a biodiversidade aquática foram sistematizados no âmbito do Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na

Amazônia (PRIM-HA). Três principais categorias de impacto foram identificadas: (1) a quebra da conectividade linear da rede hídrica, que isola populações aquáticas a montante e a jusante dos empreendimentos, comprometendo o fluxo gênico e a reprodução, especialmente de espécies migratórias; (2) a eliminação de habitats decorrente da construção e operação das hidrelétricas, abrangendo a supressão da vegetação e de ambientes críticos, como zonas úmidas, cachoeiras, corredeiras e cavidades naturais; e (3) a degradação de habitats associada a alterações físicas, químicas e hidrológicas, que afetam organismos com limites específicos de tolerância (ICMBio, 2022). Adicionalmente, os reservatórios são fontes significativas de

emissões de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, oriundo da decomposição da biomassa submersa, óxido nitroso e, principalmente, metano, que é liberado diretamente pela coluna d'água ou transportado a jusante por turbinas e vertedouros.

Os impactos de hidrelétricas na região amazônica foram espacialmente representados a partir do levantamento dos empreendimentos em diferentes bases de dados oficiais e na literatura científica para a área de abrangência do PRIM-HA, resultando em um total de 349 empreendimentos (Figura 3.11). Os impactos dessas hidrelétricas sobre a biodiversidade encontram-se tratados na seção sobre impactos, abaixo.

Figura 3.11: Distribuição espacial dos empreendimentos hidrelétricos existentes e respectivas áreas alagadas na Amazônia.



Fonte: ICMBio, 2022.

Além das hidrelétricas, a infraestrutura em seus diferentes tipos gera impactos significativos sobre a biodiversidade nos biomas brasileiros. A abertura e pavimentação de rodovias induzem à fragmentação de habitats, aumentam a mortalidade da fauna por atropelamentos e funcionam como vetores de desmatamento e ocupação irregular, especialmente em fronteiras agrícolas da Amazônia e do Cerrado.

A pavimentação da BR-163 (Cuiabá–Santarém), por exemplo, facilitou o escoamento da produção agropecuária do

Centro-Oeste, mas esteve associada à intensificação do desmatamento e de queimadas em áreas adjacentes, promovendo a ocupação desordenada em seu entorno. De forma semelhante, a Transamazônica (BR-230), inaugurada nos anos 1970 e ainda em processo de pavimentação em alguns trechos, consolidou um dos maiores eixos de colonização e desmatamento da Amazônia, cujos efeitos sobre a conversão da floresta e a pressão sobre terras indígenas permanecem até hoje.

Já o projeto da Ferrogrão (EF-170), ferrovia planejada para ligar Sinop (MT) a Itaituba

(PA), abrangendo 933 km de extensão, pode afetar áreas ambientalmente sensíveis da Amazônia e do Cerrado, além de potencializar a degradação sobre áreas de vegetação nativa.

No Sistema Costeiro-Marinho, os grandes complexos turísticos, a infraestrutura rodoviária aliada a estruturas industriais, portuárias e de logística exerce pressão também sobre os biomas vizinhos à zona costeira, em especial a Mata Atlântica. Dois setores portuários destacam-se na zona costeira: Norte-Nordeste (portos principais em Suape (PE), Pecém (CE) e Itaqui (MA)); e Sudeste-Sul, de Vitória (ES) a Rio Grande (RS), com portos importantes como Santos (SP), Itaguaí (RJ) e Paranaguá (PR).

Apesar desses exemplos ilustrativos, a instalação de grandes obras de infraestrutura funciona como vetores de pressão em todos os biomas, o que reforça a necessidade de integrar variáveis ecológicas no planejamento territorial e setorial.

Poluição

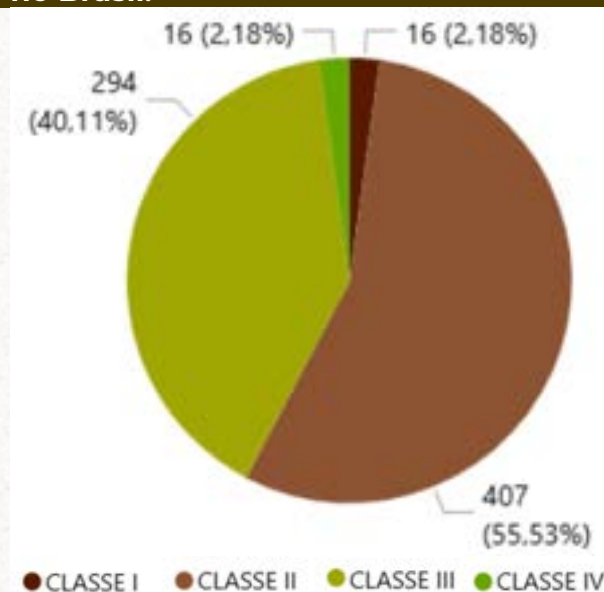
Atualmente o Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos, em valores absolutos e o terceiro relativamente à área utilizada (FAO, 2024), o que pode acarretar problemas de contaminação ambiental e para saúde humana, seja pela contaminação dos alimentos, seja pela exposição direta de trabalhadores aos produtos. Os agrotóxicos são persistentes e móveis no solo, na água e no ar, tendendo a acumular-se no solo e na biota, e seus resíduos podem chegar às águas superficiais por escoamento, e às subterrâneas, por lixiviação.

Devido aos riscos ambientais, a Lei Federal nº 7.802/1989 estabeleceu que os agrotóxicos somente poderão ser produzidos, exportados, importados, comercializados e utilizados no território nacional se previamente registrados no órgão federal competente, atendidas as diretrizes e exigências dos órgãos federais responsáveis pelos setores de agricultura, saúde e meio ambiente. Essa lei foi revogada pela Lei nº 14.785/2023, conhecida como o novo marco legal dos Agrotóxicos. Em termos de divisão de competências, cabe ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

Renováveis (IBAMA) avaliar o potencial de periculosidade ambiental, à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), realizar a análise toxicológica e ao Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), avaliar a eficiência agronômica (MMA, 2025).

A avaliação do potencial de periculosidade ambiental resulta na classificação destes produtos em uma das seguintes quatro classes: Classe I – produto altamente perigoso ao meio ambiente; Classe II - produto muito perigoso ao meio ambiente; Classe III - produto perigoso ao meio ambiente; e Classe IV - produto pouco perigoso ao meio ambiente, conforme a Portaria Ibama nº 84/1996. A Figura 3.12 apresenta a distribuição percentual dos produtos agrotóxicos conforme sua classificação ambiental de produtos deferidos entre 2019 e 2022. Nota-se que a maior parte dos produtos registrados nesse período pertence à Classe II.

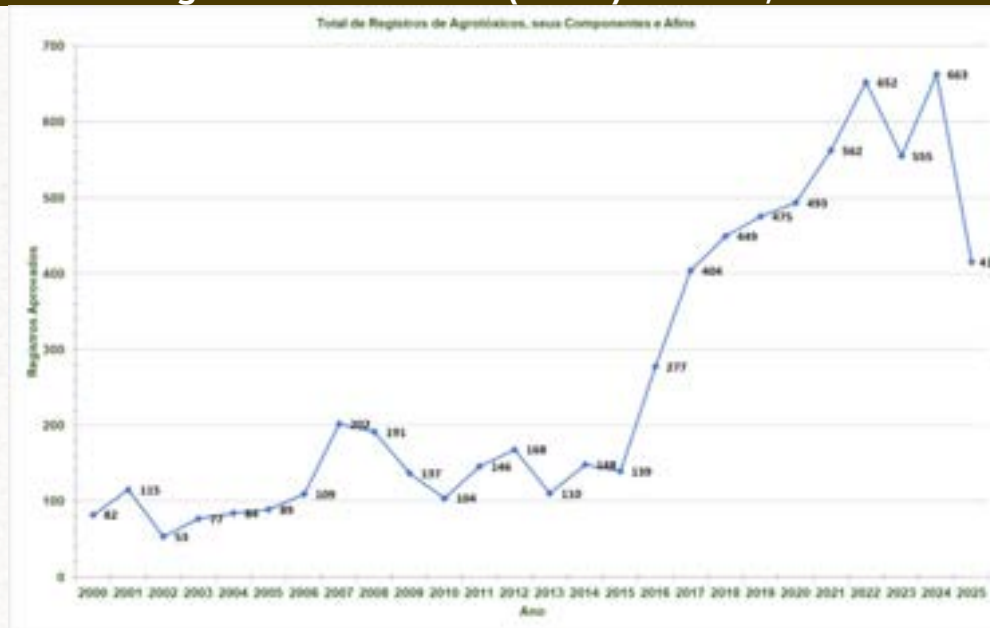
Figura 3.12: Distribuição percentual dos agrotóxicos conforme as classes, no Brasil.



Fonte: IBAMA, 2025.

Em relação à evolução anual do número de registros aprovados de agrotóxicos, seus componentes e afins no Brasil entre 2000 e 2025, nota-se um crescimento acentuado a partir de 2016, com destaque para os anos de 2021 (562 registros), 2022 (652 registros) e 2024 (663 registros), conforme dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) (Figura 3.13).

Figura 3.13: Evolução anual do número de registros de agrotóxicos concedidos pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) no Brasil, entre 2000 e 2025.



Recentemente, Valadares et al. (2025) avaliaram os dados do Censo Agropecuário que indicam expansão no uso de agrotóxicos pelos estabelecimentos agropecuários familiares entre 2006 e 2017 (Tabela 3.7). De acordo com os autores, o uso de agrotóxicos cresceu em todas as faixas de área de lavoura e, mais intensamente, nas maiores. Além disso, mostrou que a expansão das áreas colhidas de commodities agrícolas, como soja e cana-de-açúcar, coincide com as áreas dos municípios onde cresceu, entre os censos, o número de estabelecimentos que fazem uso deles. Ademais, observou-se que, nesse período, em todas as regiões, aumentou a proporção de estabelecimentos familiares que usam agrotóxicos; em termos gerais, a uma taxa superior inclusive à verificada entre estabelecimentos não familiares.

O uso de agrotóxicos é uma preocupação

global devido aos seus efeitos diretos sobre a biodiversidade, com destaque para os riscos aos polinizadores e aos seus serviços ecossistêmicos. No Brasil, o Ibama elaborou o Manual de Avaliação de Risco Ambiental de Agrotóxicos para Abelhas, que sistematiza um panorama técnico sobre essa ameaça, utilizando a espécie *Apis mellifera* como organismo-modelo nos testes de toxicidade, em virtude de sua biologia bem caracterizada, ampla distribuição geográfica e facilidade de manejo em condições laboratoriais. A continuidade desse trabalho é essencial, especialmente no desenvolvimento de métodos específicos para avaliar os efeitos dos agrotóxicos sobre polinizadores nativos. Estudos já apontam uma maior sensibilidade de espécies nativas em comparação com *Apis mellifera* (BPBES/REBIPP, 2019; Cham et al., 2020).

Tabela 3.7 - Números de estabelecimentos familiares e percentual dos que usam agrotóxicos (2006 a 2017)

Brasil e Grandes Regiões	2006		2017	
	Número de estabelecimentos (AF)	Usam agrotóxicos (%) ¹	Número de estabelecimentos (AF)	Usam agrotóxicos (%)
Brasil	4.366.267	29	3.897.408	36
Norte	412.666	14	480.575	24
Nordeste	2.187.131	21	1.838.846	27
Sudeste	699.755	25	688.945	36
Sul	849.693	64	665.767	72
Centro-Oeste	217.022	17	223.275	31

Fonte: Censo Agropecuário (IBGE, 2017).

Nota: 1 Inclui estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos no ano de referência e aqueles que afirmaram utilizar regularmente tais substâncias, embora não as tenham utilizado nesses anos específicos.

Fonte: Valadares et al., 2025.

A poluição tem causado uma série de pressões no SCM. A biodiversidade é impactada por diferentes tipos de contaminantes, sendo que os plásticos exercem pressão relevante. O Brasil é o segundo país com maior registro de ingestão de plástico por organismos marinhos/estuarinos. Embora não haja uma base com dados sistematizados sobre os impactos da poluição por lixo nos mares, mas um estudo realizado com 265 tartarugas verdes revela a dimensão do problema: 70% dos indivíduos examinados ingeriram detritos (uma média de 50 itens plásticos por indivíduo) (Santos et al., 2015).

O lançamento excessivo de nutrientes, provenientes principalmente de fertilizantes agrícolas e do esgoto doméstico, nos cursos d'água que desembocam no oceano, aliado ao aquecimento das águas marinhas, tem resultado na formação de áreas com baixos níveis de oxigênio dissolvido, conhecidas como “zonas mortas”. Nessas regiões, a falta de oxigênio compromete a vida aquática, levando à diminuição da biodiversidade local.

O excesso de nutrientes também estimula eventos de floração em organismos gelatinosos, macroalgas de deriva, como o Sargassum, e microalgas potencialmente nocivas. A chegada das macroalgas às praias causa prejuízos ao turismo. Já as marés vermelhas, originadas por organismos produtores de biotoxinas, podem levar ao fechamento de áreas de aquicultura, como ocorreu em 2016 nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Episódios de derramamento de petróleo, como o registrado na costa do Nordeste em 2019, resultaram em grande mortandade de espécies marinhas e trouxeram impactos negativos ao bem-estar e à economia de diversos municípios costeiros. Altas concentrações de poluentes orgânicos persistentes – originados de pesticidas e produtos industriais – têm sido registradas em espécies de cetáceos, indicando contaminação de cadeias alimentares marinhas. Além disso, substâncias provenientes de produtos farmacêuticos, cosméticos, micro e nanoplásticos não são adequadamente removidas pelas estações de tratamento de águas residuais. Apesar do aumento contínuo de sua chegada ao oceano, esses contaminantes ainda não são devidamente monitorados, e os impactos sobre a biodiversidade marinha e a saúde humana permanecem, em grande parte, desconhecidos (Seixas et al., 2024).

Espécies Exóticas Invasoras

Espécies Exóticas Invasoras (EEl)s são organismos que ocorrem fora de sua área de distribuição natural e cuja introdução e/ou dispersão representa uma ameaça significativa à diversidade biológica, conforme definido pela 6ª Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica (COP-6). Essas espécies geralmente possuem vantagens competitivas sobre as nativas, favorecendo sua rápida proliferação e expansão. Além de comprometerem a diversidade biológica, as EEl)s alteram o ambiente, as relações interespecíficas, os

processos ecológicos e os serviços ecossistêmicos, sendo tais modificações simultaneamente causas e consequências da perda de biodiversidade. A competição com espécies nativas e a redução de habitat figuram entre as principais ameaças que as espécies exóticas invasoras impõem à biodiversidade.

No Brasil, a Base de Dados Nacional de EEIs (I3N Brasil) contém atualmente 540 espécies exóticas pertencentes a táxons e habitats variados (Instituto Hórus, 2024) , que foram introduzidas de forma acidental no período colonial ou, mais recentemente, para fins ornamentais e comerciais. Destas, existem 150 plantas e 60 animais em ambientes terrestres, 163 espécies em águas interiores (peixes, em sua grande maioria) e 66 espécies no ambiente marinho (crustáceos, em sua maior parte)

(Bustamante et al., 2019).

Os impactos das EEIs são especialmente críticos em Unidades de Conservação (UCs). No Brasil, o ICMBio publicou a Lista de Espécies Exóticas Invasoras em Unidades de Conservação Federais (Portaria ICMBio nº 510/2025). Para inclusão na Lista de EEI em UC Federais, a espécie deve se enquadrar nos seguintes critérios: registro confirmado de ocorrência em UC federal fora da sua área de distribuição natural; histórico de invasão em qualquer local do mundo em que tenha sido introduzida e impacto ambiental registrado em qualquer área do mundo em que tenha sido introduzida.

A seguir são apresentados dados relativos ao número de espécies exóticas invasoras de fauna (Tabela 3.8) e flora (Tabela 3.9) presentes em Unidades de Conservação Federais, segundo levantamentos do ICMBio.

Tabela 3.8: Número de espécies exóticas invasoras (EEI) na categoria fauna em Unidades de Conservação Federais.

Quantidade de EEI por grupo	Número de EEI
Anfibio	3
Ave	5
Invertebrado	36
Mamífero	19
Peixe	60
Réptil	5
Total Geral	128

Fonte: Portaria ICMBio nº 510/2025.

Tabela 3.9: Número de espécies exóticas invasoras (EEI) na categoria flora em Unidades de Conservação Federais.

Quantidade de EEI por grupo	Número de EEI
Alga	1
Arbusto e herbácea	49
Árvore	61
Bambu	4
Gramínea	26
Palmeira	4
Planta Aquática	2
Samambaia	3
Trepadeira	12
Total Geral	162

Fonte: Portaria ICMBio nº 510/2025.

Sobre-exploração/consumo insustentável de recursos

A exploração econômica de espécies acima da capacidade de regeneração de suas populações compromete não apenas a espécie alvo, mas também outras espécies associadas e os serviços ecossistêmicos. A utilização insustentável de produtos da biodiversidade acarreta alterações nas taxas vitais dos indivíduos explorados, como sobrevivência, crescimento e reprodução, afetando negativamente suas populações, comunidades biológicas e ecossistemas. Exemplos ilustram essas consequências: a intensa extração de frutos de açaí (*Euterpe oleracea*) no estuário amazônico pode reduzir a diversidade de aves frugívoras, enquanto o corte da palmeira juçara (*Euterpe edulis*) na Mata Atlântica impacta a abundância de grandes aves frugívoras, demonstrando como a exploração excessiva compromete interações ecológicas fundamentais (Bustamante et al., 2019).

Nos ambientes marinhos, a biodiversidade é especialmente afetada pela poluição e sobrepesca, sendo que 33% dos estoques pesqueiros encontram-se sobre-explotados (Bustamante et al., 2019). A pesca extrativista exemplifica a aplicação do princípio da capacidade de suporte do meio ambiente, com a regulamentação dos períodos de defeso, ou seja, a paralisação temporária da atividade para preservar as espécies exploradas. No Brasil, a pesca da lagosta destaca-se como um caso historicamente mal manejado, com aumento descontrolado do esforço pesqueiro e captura excessiva do recurso. Em resposta, a Portaria MAPA/MMA nº 11/2024 estabeleceu um limite máximo de 6.192 toneladas para a soma das capturas de lagosta vermelha (*Panulirus argus*) e lagosta verde (*Panulirus laevicauda*) em todo o território nacional, determinando o encerramento da pesca quando for atingido 95% desse limite. Além disso, foram implementadas medidas adicionais, como a proibição da retenção a bordo de fêmeas ovadas. Essas restrições foram definidas com base em recomendações científicas, estudos de avaliação de estoque e processos participativos envolvendo pescadores, empresários, organizações não governamentais e demais atores relacionados à gestão do recurso.

Os exemplos apresentados nessa seção servem para evidenciar que a sobre-exploração de recursos naturais constitui uma pressão transversal a todos os biomas brasileiros, ainda que se manifeste de formas distintas em cada um deles. Enquanto a Amazônia enfrenta a exploração de madeira, peixes ornamentais e frutos nativos, o Cerrado sofre com a coleta excessiva de espécies madeireiras e não madeireiras de valor econômico; na Caatinga, a extração de lenha e carvão compromete a regeneração da vegetação; o Pantanal convive historicamente com a caça e a pressão sobre espécies aquáticas; a Mata Atlântica é marcada pela exploração de palmeiras e espécies florestais; e os ambientes costeiros e marinhos sofrem com a sobrepesca e a captura incidental de espécies ameaçadas.

Mudanças Climáticas

No Brasil, ainda são escassos os estudos que analisam os efeitos das mudanças climáticas, resultantes principalmente da emissão antrópica de gases de efeito estufa, sobre as espécies, ecossistemas e serviços ecossistêmicos. A maior parte dessas análises baseia-se em modelagem de nichos ecológicos, com vieses taxonômicos, concentrando-se em vertebrados terrestres e árvores, e geográficos, com predominância de estudos na Mata Atlântica e no Cerrado. Apesar das lacunas, há evidências de impactos sobre anfíbios, corais e espécies ameaçadas de extinção, bem como registros de declínio da produtividade na Amazônia e na Caatinga ao longo dos últimos 15 anos. Além disso, projeta-se um padrão de deslocamento de mamíferos, aves e plantas em direção a áreas mais ao sul do país (Bustamante et al., 2019).

No que se refere aos efeitos da mudança do clima nos biomas, Pinho et al. (2020) destacam maior suscetibilidade da Amazônia e da Mata Atlântica à savanização; Arruda et al. (2023) projetam, até 2070, savanização da Amazônia, expansão da Caatinga e efeitos severos em 37% das áreas protegidas, especialmente terras indígenas; Braga & Laurini (2024) preveem aquecimento acelerado na Amazônia e no Cerrado e secas extremas no Pantanal; Malecha et al. (2025) preveem para o Pantanal secas intensas e incêndios frequentes; Amazônia e Mata Atlântica enfrentarão risco elevado de

transição para savana; o Pampa deve registrar os menores aumentos térmicos. No Sistema Costeiro-Marinho, o aquecimento do mar modificará ciclos reprodutivos e relações predador-presa, e a acidificação provocará branqueamento de corais (Zhou & Mai, 2024), o que, de fato, já pode ser observado.

Após esse breve panorama sobre as pressões que degradam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos brasileiros, apresenta-se na Tabela 3.10 uma síntese dos vetores de pressão, impactos, espécies exóticas invasoras e destaques das alterações em cada bioma.

Tabela 3.10 : Síntese das pressões e impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos em cada bioma e no SCM.

Bioma/SCM	Vetores de Pressão	Principais Impactos	Espécies Exóticas/Invasoras	Destaques	Referências
Amazônia	Obras de infraestrutura, fronteira agrícola da soja e pecuária, invasão de terras, hidrelétricas, pavimentação de rodovias	Desmatamento, migração, valorização de terras	Dendzeiro (<i>Elaeis guineensis</i>)	32,5% do desmatamento em terras públicas não destinadas (101 milhões ha, 40 milhões estaduais, 90% no Amazonas), 30,5% sob jurisdição federal	MMA/PPCDam, 2025; Bergallo et al., 2024
Caatinga	Desmatamento, mudança do uso do solo, degradação florestal, agricultura itinerante, culturas intensivas, pecuária extensiva, biomassa para energia, energia eólica e solar	Fragmentação, invasão de áreas úmidas, supressão de vegetação	Algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>), algodão-de-seda (<i>Calotropis procera</i>)	Algaroba invadiu mais de 1 milhão de ha	Leal et al., 2005; MMA/PPCaatinga, 2025; Zenni et al., 2024
Cerrado	Agropecuária, programas governamentais, rodovias, adaptação da soja, extração de lenha, coleta de frutos nativos, forrageiras exóticas, agrotóxicos, fertilizantes	Fragmentação, perda de conectividade, contaminação de solos e águas, incêndios, alterações hidrológicas	Braquiárias (<i>Urochloa</i> spp.)	MATOPIBA: 70% da área convertida para agropecuária	Pivello et al., 2024; MMA/PPCerrado, 2025
Mata Atlântica	Expansão agrícola, urbana e industrial, poluição hídrica, espécies exóticas, extrativismo predatório, mudanças climáticas	Fragmentação, poluição, redução de populações, vulnerabilidade a eventos extremos	Jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i>), saguis (<i>Callithrix</i> spp.) ^a	Redução a mosaico de pequenos fragmentos	Ribeiro et al., 2009; Tabarelli et al., 2005; Fonseca et al., 2024; Pivello et al., 2024; Joly et al., 2019
Pampa	Expansão da agricultura (soja, arroz), silvicultura, pecuária intensiva, agrotóxicos, espécies exóticas	Perda de habitat, fragmentação, contaminação, erosão, ameaça à biodiversidade	Braquiárias (<i>Urochloa</i> spp.), capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i>)	Soja: 8.243 km ² (1985) para 40.159 km ² (2023), aumento de 387%	Joly et al., 2019; MMA/PPPampa, 2025; Zenni et al., 2024
Pantanal	Secas prolongadas, incêndios, poluição por metais pesados e agrotóxicos, espécies invasoras	Alteração do regime hidrológico, ameaça à ictiofauna, poluição das águas	Tucunaré-azul (<i>Cichla piquiti</i>), tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	Desde 2019, mais longo período de seca desde 1985; 2020: menores índices pluviométricos em 50 anos	MMA/PPPantanal; Zenni et al., 2024
Sistema Costeiro-Marinho	Urbanização, turismo, infraestrutura rodoviária, portos, espécies exóticas, poluição plástica	Pressão sobre biomas vizinhos, entrada de espécies invasoras, poluição marinha	Mexilhão dourado (<i>Limnoperna fortunei</i>), peixe-leão (<i>Pterois volitans</i>), coral-sol (<i>Tubastraea coccinea</i> e <i>T. tagusensis</i>)	Estudo: 70% das 265 tartarugas verdes ingeriram detritos (média 50 itens plásticos/indivíduo)	Travassos et al., 2024; Santos et al., 2015

Fonte: trabalhos citados nos respectivos textos dos biomas. Elaboração dos autores.

Impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos

As pressões relatadas na seção anterior ocasionam uma série de impactos na biodiversidade (considerando os níveis de espécies, ecossistemas e genes) e, consequentemente, impactam também os serviços ecossistêmicos por ela providos. Como mencionado na seção sobre pressões, porém, não há uma avaliação ampla sobre essas e do estado de conservação dos serviços ecossistêmicos em nível nacional, embora existam avaliações pontuais a respeito. Dessa forma, abaixo são incluídos alguns impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos identificados no Brasil, a título de exemplo, os quais não constituem uma lista exaustiva.

Em sua maioria, os impactos decorrem dos efeitos da perda, fragmentação e degradação de habitats em larga escala, como efeito da conversão de áreas com vegetação nativa para a produção agropecuária ou extração mineral. Em graus variados, isso ocorre em todos os biomas e afeta inclusive ecossistemas de águas interiores e da ZCM, conforme mencionado previamente.

Um dos impactos mais evidentes é a existência de um número significativo de espécies ameaçadas de extinção, lembrando que estudos científicos estimam que em torno de apenas 10% da biodiversidade nacional é conhecida e que grande parte das espécies brasileiras é endêmica, ou seja, ocorre somente no Brasil. Isso é um indício de que muitas outras espécies de organismos, que ocorrem ou ocorriam em território brasileiro, já podem ter sido ou estar sendo perdidas devido a ações humanas, sem que ao menos venham a ser conhecidas pela ciência. É como se cotidianamente as ações humanas estivessem destruindo uma biblioteca riquíssima, sem que sequer

saibamos quais livros integram seu acervo, e muito menos os seus conteúdos.

Dentre as espécies que integram a flora brasileira, milhares figuram como ameaçadas de extinção, conforme as categorias de risco estabelecidas pela Portaria MMA nº 148/2022, que adota os critérios da União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN). No total, foram identificadas 3.213 espécies da flora brasileira ameaçadas (Tabela 3.11), das

quais 682 se encontram classificadas como Criticamente em Perigo (CR), incluindo 3 casos com indicação de possível extinção (CR*). Outras 1.847 espécies foram categorizadas como Em Perigo (EN) e 681 como Vulneráveis (VU). Importante ressaltar que, até o momento, não há registros oficiais de espécies da flora brasileira consideradas Extintas (EX), Extintas na Natureza (EW) ou Regionalmente Extintas (RE).

Tabela 3.11 - Flora Brasileira Ameaçada, por categoria de risco.

Categoria de Risco	Número de espécies
Criticamente em Perigo (CR)	682
Criticamente em Perigo – possivelmente extinta (CR*)	3
Em Perigo (EN)	1.847
Vulnerável (VU)	681
Extinta (EX)	0
Extinta na Natureza (EW)	0
Regionalmente Extinta (RE)	0
Total de espécies da Flora ameaçadas	3.213

Fonte: Portaria MMA nº148/2022.

No que se refere às espécies animais, de acordo com a Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção (Portaria MMA nº 148/2022), há no Brasil 1.203 espécies da fauna brasileira que se encontram ameaçadas (Tabela 3.12), distribuídas em diferentes categorias de risco. Entre elas, 14 espécies são consideradas Extintas (EX), ou seja, não há indivíduos vivos conhecidos; 1 espécie está Extinta na Natureza (EW),

subsistindo apenas em cativeiro ou fora de seu habitat original; e 16 espécies encontram-se Regionalmente Extintas (RE), desaparecidas em território nacional, embora ainda presentes em outras partes do mundo. Entre as espécies ainda existentes na natureza, 318 estão classificadas como Criticamente em Perigo (CR), 406 como Em Perigo (EN) e 448 como Vulneráveis (VU).

Tabela 3.12: Fauna brasileira ameaçada, por categoria de risco.

Categoria de Risco	Número de espécies
Extinta (EX)	14
Extinta na Natureza (EW)	1
Regionalmente Extinta (RE)	16
Criticamente em Perigo (CR)	318
Em Perigo (EN)	406
Vulnerável (VU)	448
Total de espécies ameaçadas	1.203

Fonte: Portaria MMA nº148/2022.

No que se refere aos impactos causados por hidrelétricas, nos 349 empreendimentos analisados foram identificadas 293 espécies da fauna e 219 espécies da flora diretamente afetadas. Entre as espécies da fauna selecionadas como alvos, 57% são ameaçadas de extinção e 43% categorizadas como não ameaçadas. Destes 293 alvos, 158 espécies são contempladas em Planos de Ação Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção - PAN. Já em relação às espécies da flora, todas as que foram consideradas sensíveis são ameaçadas de extinção, sendo 17% categorizadas como Criticamente em Perigo (CR), 45% como Em Perigo (EN), 38% como Vulneráveis (VU) (ICMBio, 2022).

As espécies exóticas também causam impactos variados, nos diferentes biomas. Na Amazônia, o dendezeiro se destaca como uma espécie exótica que altera significativamente o ecossistema. Na Caatinga, a algaroba, já presente em mais de um milhão de hectares, e o algodão-de-seda, são exemplos de espécies que ameaçam a vegetação nativa. No Cerrado, a introdução de forrageiras exóticas, como as braquiárias, modifica a estrutura do solo e da vegetação, intensifica a competição com espécies herbáceas nativas e aumenta a inflamabilidade do ambiente. Na Mata Atlântica, espécies invasoras como a jaqueira e os saguis têm se espalhado, pressionando a biodiversidade local. No Pampa, a presença de braquiárias e do capim-annoni compromete a integridade dos campos nativos e sua diversidade biológica. No Pantanal, a ictiofauna nativa está ameaçada pela introdução de peixes como o tucunaré-azul e o tambaqui, este último disperso após o rompimento de tanques de piscicultura. Já no Sistema Costeiro-Marinho, os portos funcionam como porta de entrada de espécies exóticas por meio da água de lastro, sendo o mexilhão-dourado, o peixe-leão e o coral-sol especialmente prejudiciais, pois têm se alastrado pelo litoral brasileiro, sobrepujando espécies nativas (Tabela 3.10).

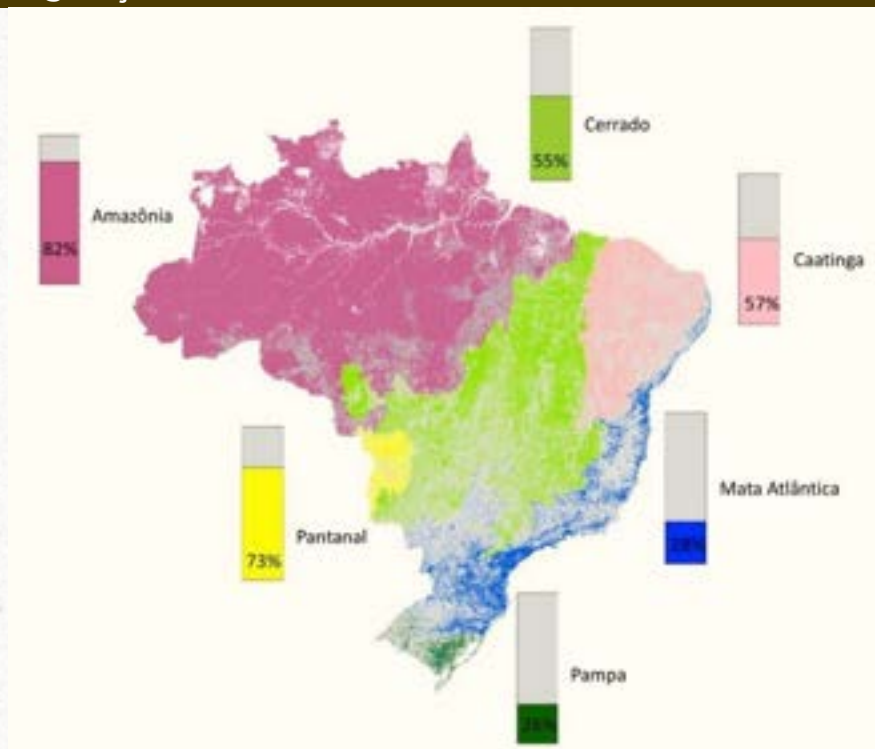
Outro impacto notório sobre os ecossistemas é a maior susceptibilidade de áreas fragmentadas e degradadas, em decorrência de mudanças no uso da terra, à incidência de queimadas. A título de exemplo, segundo dados da plataforma BD Queimadas, do Inpe, foram detectados, entre 1º de janeiro e 31 de dezembro de 2022, 200.763 focos de queima em todo Brasil, dos quais 56.885 foram no bioma Cerrado, ou seja, 28% do total de focos verificados. Considerando-se a área queimada, porém, 124.855 km² foram no Cerrado, ante 250.707 km² queimados no Brasil naquele ano, ou seja, o equivalente a quase 50% do total nacional. Como consequências adicionais das queimadas resultantes de mudanças no uso da terra, além dos impactos diretos à biodiversidade local, ocorrem também a degradação progressiva da vegetação; poluição atmosférica e consecutivo aumento de gastos com saúde; diminuição dos estoques de carbono no solo e na vegetação, com emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera; piora no aquecimento e nas alterações climáticas globais; aumento da incidência de eventos climáticos extremos; desertificação e redução dos meios de subsistência de populações tradicionais.

A redução no volume hídrico nacional é outro impacto do desmatamento em larga escala para a produção de commodities, sobretudo agropecuárias. Estudos indicam que há uma estreita relação entre a cobertura vegetal na Amazônia e a regulação dos ciclos de chuvas no Brasil e em outras regiões da América do Sul. Segundo Lovejoy & Nobre (2018), a umidade da Amazônia é importante bem-estar humano porque contribui para as chuvas de inverno em partes da bacia do Prata, especialmente no sul do Paraguai, sul do Brasil, Uruguai e centro-leste da Argentina. Além disso, ainda segundo esses autores, embora a quantidade que contribui para as chuvas no sudeste do Brasil, onde se concentra parte significativa da população nacional, seja menor do que em outras áreas, mesmo pequenas quantidades podem ser uma adição bem-vinda aos reservatórios urbanos.

Como resultado do desmatamento acumulado, os biomas Mata Atlântica e Pampa são os mais impactados, restando apenas 28% e 26% da cobertura vegetal original, respectivamente, enquanto Amazônia (82%) e Pantanal (73%) estão mais preservados, e Caatinga (57%) e Cerrado (55%) estão em situação intermediária (Figura

3.14). Apesar de todos os esforços para reduzir as taxas de perda da cobertura vegetal, em quase todos os biomas ainda é possível observar o contínuo avanço da conversão de vegetação nativa em outros usos, com exceção da Mata Atlântica, onde não ocorreu expansão de áreas agrícolas e pastagens nos últimos 15 anos (Bustamante et al., 2019).

Figura 3.14 - Vegetação remanescente nos diferentes biomas brasileiros.



Fonte: Bustamante et al., 2019.

Esses dados são bastante preocupantes. Segundo Lovejoy & Nobre (2018), sinergias negativas entre desmatamento, mudança climática e o uso em larga escala de fogo podem resultar no chamado “ponto de não retorno” (tipping point) para a Amazônia, isto é, o sistema mudaria de forma permanente para não florestas no leste, sul e centro da Amazônia, quando a remoção das florestas atingir um percentual de 20 a 25% do bioma, o que já estaria próximo de ocorrer. Isso poderia alterar o regime de chuvas em grande parte do Brasil e das porções mais ao sul da América do Sul, com grandes efeitos sobre a produção de alimentos, o bem-estar humano, a biodiversidade e a economia dos países nessa região.

Salmona et al. (2023), por sua vez, avaliaram impactos das mudanças do uso da terra e climáticas sobre as vazões de rios de 81 bacias hidrográficas presentes no

bioma Cerrado, a partir da análise de dados de campo e secundários, relativos ao período de 1985 a 2018. Adicionalmente, projetaram um cenário futuro de desmatamento e climático até 2050, prevendo seus impactos sobre a água superficial da área de estudo. Os autores estimaram que o desmatamento em larga escala das bacias estudadas, voltado para a produção de commodities agrícolas irrigadas, teria causado uma redução de 8,7% da vazão dos rios no período, ante uma redução de 6,7% causada pelas mudanças climáticas. Combinados, mudanças climáticas e no uso e cobertura da terra já causaram uma redução de vazão de 19.718 m³/s nas bacias hidrográficas do Cerrado e, mantido o ritmo atual de desmatamento, essa redução será de 23.653 m³/s em 2050. Isso equivalerá a uma redução de 33,9% na vazão dos rios do Cerrado, o que causará severas discontinuidades de vazões em muitos rios e

afetará fortemente a agricultura, produção de energia, biodiversidade e abastecimento de água nas cidades da região, especialmente durante as estações secas. Além desses fatos, deve ser lembrada a relação do ciclo hidrológico do Cerrado com o do bioma Pantanal, onde os ecossistemas dependem fortemente das cheias e cujos principais rios nascem no Cerrado, de modo que os impactos podem ser muito maiores.

Conflitos socioambientais e fundiários são outro impacto decorrente de mudanças no uso da terra para a produção em larga escala de commodities. Segundo a Fiocruz, que registra e divulga na internet o “Mapa de Conflitos Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil” (Fiocruz, s.d.), a captação intensiva de água no oeste baiano nos últimos anos, voltada para abastecer as empresas do agronegócio, tem atingido diversas populações tradicionais, especialmente ribeirinhos e comunidades de Fundo e Fecho de Pasto do município de Correntina, localizada no Cerrado. Empresas da agroindústria instalaram-se na região partir da década de 1970, incentivadas pelo Estado a modernizar o campo e produzir para exportação. Contudo, também desencadearam diversos conflitos ao tentar expulsar comunidades que viviam e produziam ali há séculos. Segundo Santos, Farias e Bronzatto (2023), o conflito resultou da descoordenação entre órgãos/agências outorgantes, tendo sido concedida a outorga para que uma só empresa produtora de commodities agrícolas retirasse volume maior do rio Arrojado do que aquele destinado para o abastecimento de toda a cidade de Correntina. Esse caso exemplifica também outro efeito do desmatamento: conflitos fundiários entre grandes empresas produtoras de commodities para exportação e comunidades tradicionais, que não possuem a titulação das terras que ocupam muitas vezes por séculos. O resultado é o aumento de populações excluídas e da pobreza no campo, perda de acesso dessas populações à água e êxodo rural e aumento de populações em situação de vulnerabilidade nas cidades.

Outro impacto significativo sobre a biodiversidade é a redução e/ou perda de organismos polinizadores (morcegos, mariposas, vespas, borboletas, moscas,

besouros e abelhas), com consequente impacto no serviço ecossistêmico de polinização, que gera efeitos em cascata nos ambientes naturais e também nas áreas agrícolas. O estudo intitulado “Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil (BPBES/REBIPP, 2019)”, identificou os principais impactos do declínio dos polinizadores no Brasil, bem como oportunidades associadas ao seu manejo sustentável. Como impactos diretos à produção agrícola, mencionam-se redução na quantidade ou qualidade visual e nutricional de alimentos, fibras, combustíveis e sementes; instabilidade nas safras; redução na produção de mel e de outros produtos apícolas; declínio na produção de frutos coletados por comunidades locais, entre outros. Como impactos diretos à biodiversidade, por sua vez, foram identificados a perda de diversidade de polinizadores e de plantas nativas, devido ao déficit de polinização; aumento na incidência de doenças em populações de polinizadores silvestres e manejados; aumento da incidência e disseminação de espécies invasoras, devido ao transporte de polinizadores por humanos; instabilidade em processos ecossistêmicos devido à perda de interações planta-polinizador (redução de alimentos para frugívoros, por exemplo). Esses impactos já vêm sendo constatados. Estudos em áreas de Mata Atlântica (Bahia e Sul do Brasil) e da Amazônia apontam que a maior fragmentação florestal está associada a um declínio na abundância e diversidade de abelhas e borboletas em remanescentes de vegetação nativa, com consequentes perdas no serviço ecossistêmico de polinização (BPBES/REBIPP, 2019).

Já o estudo intitulado “Contribuição dos polinizadores para as produções agrícola e extrativista do Brasil 1981-2023” (IBGE, 2025), realizado com dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) e da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS), apontou que em 2023 a contribuição média dos polinizadores no valor da produção foi de 16,14%, apresentando crescimento em relação a 1996, quando essa foi estimada em 14,4%. A análise das classes de dependência de polinizadores animais revelou ainda que 31,2% dos cultivos temporários depende, em algum grau, de polinização animal, número

que sobe para 71,4% do total do grupo de cultivos permanentes, formado em sua maioria por frutíferas. Em 2018, o valor do serviço ecossistêmico da polinização animal para a produção de alimentos no país, calculado com base no valor da produção e nas taxas de dependência de 67 produtos para os quais esses dados estavam disponíveis, foi estimado em R\$43 bilhões por ano (BPBES/REBIPP, 2019). A redução ou perda de espécies polinizadoras, portanto, pode ocasionar elevadas perdas econômicas ao Brasil.

Respostas: avanços e desafios

Diante da grande biodiversidade e da presença das principais pressões que levam à sua perda em território nacional, que medidas vêm sendo adotadas no Brasil para reduzir ou reverter os impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos? Quais os principais desafios para que isso venha a ocorrer de maneira mais efetiva?

O relatório anterior do Geo Brasil, publicado em 2002, menciona algumas respostas relativas à proteção e recuperação da biodiversidade, que incluíram avanços da legislação, do planejamento, na identificação de prioridades para a conservação, de incentivo à pesquisa, de manejo e recuperação de espécies da fauna. Para avaliar de maneira mais completa os avanços obtidos desde a última publicação do Geo Brasil, porém, é necessário retroceder um pouco mais no tempo, de modo a mencionar marcos importantes que influenciaram decisivamente essas respostas, além de viabilizar tantas outras, elaboradas e implementadas desde então.

O primeiro desses marcos foi a instituição da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), por meio da Lei nº 6.938/1981, que entre seus princípios, incluiu a proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas. Entre as muitas ações estruturantes da PNMA, destaca-se a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), rede federativa composta por todos os órgãos ambientais

brasileiros das esferas federal, estadual e municipal, e que constitui o sistema de governança ambiental brasileiro. Os órgãos do SISNAMA são responsáveis tanto pela concepção quanto pela implementação das políticas públicas ambientais nessas três esferas governamentais, muitas das quais são focadas na conservação da biodiversidade e na restauração ecológica. O aperfeiçoamento e fortalecimento do SISNAMA, ação que atualmente é objeto do estudo em parceria estabelecida entre o MMA e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), é um desafio diretamente relacionado à mitigação e reversão da perda de biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

Para que os objetivos de fortalecimento e aperfeiçoamento do SISNAMA sejam alcançados, porém, é necessário superar desafios estruturais, como a fragmentação das ações territoriais, capacidades institucionais desiguais entre os entes federativos, especialmente nos municípios, e dificuldades de integrar informações ambientais de forma transparente, o que demanda estruturar o Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente (SINIMA). Além disso, é fundamental ampliar o financiamento ambiental em todos os níveis, mas principalmente para estados e municípios.

Exemplos práticos de gestão territorial em andamento incluem algumas iniciativas federais do MMA, como o Programa União com Municípios (UcM), que apoia municípios prioritários na Amazônia com ações de regularização territorial e ambiental, Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e recuperação de áreas degradadas, e o Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), que visa consolidar mais de 60 milhões de hectares de Unidades de Conservação. Em nível estadual, destacam-se a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) e a gestão das Áreas de Proteção de Mananciais, no Distrito Federal; a criação da Lei do Pantanal e o Fundo Clima Pantanal, pelo Mato Grosso do Sul; o desenvolvimento dos projetos de PSA “Conexão Mata Atlântica”, entre Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, e “Floresta+Amazônia”, desenvolvido pelo Acre.

Outro marco legal muito importante na área ambiental como um todo - e que aborda explicitamente questões relacionadas à

biodiversidade - é a Constituição Brasileira de 1988, conforme mencionado previamente. Em seu o Art. 225, essa determina que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. A regulamentação de parte desse artigo resultou na criação de outros instrumentos diretamente relacionados à proteção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos no Brasil, dentre os quais destaca-se o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), por meio da Lei nº 9.985/2000.

Deve ser mencionada, também, a Lei nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Em seu capítulo V, essa lei trata dos crimes contra a fauna (seção I), a flora (seção II), poluição e outros crimes ambientais (seção III), entre outros. Dessa forma, a referida lei é também um importante marco legal para a preservação da biodiversidade brasileira.

Outra ação estruturante relacionada à temática em questão foi a publicação do Decreto no 1.354/1994. Esse instituiu o Programa Nacional da Diversidade Biológica (PRONABIO) no âmbito do MMA, com o objetivo de promover parceria entre o poder público e a sociedade civil na conservação da diversidade biológica, utilização sustentável de seus componentes e a repartição justa e equitativa dos benefícios dela decorrentes, em consonância com aqueles previstos na CDB. Nota-se, portanto, que os objetivos da CDB têm orientado as ações relacionadas à biodiversidade desde pouco depois dessa ter sido aprovada pelo Congresso Nacional brasileiro, o que ocorreu por meio do Decreto Legislativo nº 02, de 3 de fevereiro de 1994.

A fim de coordenar, acompanhar e avaliar as ações desenvolvidas no âmbito do PRONABIO, o mesmo decreto criou a Comissão Coordenadora do PRONABIO, que tinha, entre suas competências deliberar sobre as diretrizes gerais do

programa, fixar prioridades de pesquisa, promover a conservação e a utilização sustentável da diversidade biológica, estabelecer critérios gerais de aceitação, selecionar projetos de pesquisa e aprovar os projetos a serem financiados. Assim, conforme observam Dias et al. (2008), a criação da comissão coordenadora do PRONABIO representou o lançamento da base legal para o desenvolvimento de diretrizes para a elaboração de uma política nacional de biodiversidade e o embrião de um fórum nacional sobre biodiversidade.

De 2002 aos dias de hoje, o Estado brasileiro criou e aprimorou diversas políticas públicas e instrumentos relacionados à proteção da biodiversidade, além de toda uma institucionalidade voltada para esse fim. Centenas de instrumentos, dentre planos, listas, políticas, programas, pactos, fundos, normativas, projetos, diretrizes, dentre outros, compõem a lista de esforços federais em prol da biodiversidade, alguns dos quais são mencionados abaixo. Um quadro mais completo desses, ainda que não se trat e de uma lista exaustiva e concentre-se no nível federal, devido à maior disponibilidade de informações, encontra-se no Anexo I. Ressalta-se que as iniciativas se desdobram também nos níveis estaduais e municipais, à exemplo do Plano Estadual de Bioeconomia do Pará (PlanBio), o Programa de Gestão da Biodiversidade Carioca (ProBio Carioca), o Projeto Viva o Mangue em Recife.

Em 2002, o Decreto nº 4.339/02 instituiu princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade (PNB). Em seu preâmbulo, o referido decreto fazia menção explícita aos compromissos assumidos pelo Brasil ao assinar a CDB, e também ao disposto no Art. 225 da Constituição e na Lei nº 6.938/1981.

Em 2003, a Comissão Coordenadora do PRONABIO foi transformada na Comissão Nacional da Biodiversidade (CONABIO) pelo Decreto nº 4.703/03, com atribuições de implementar os compromissos assumidos pelo Brasil na CDB, coordenar a implementação da PNB, bem como identificar e propor áreas e ações prioritárias para pesquisa, conservação e uso sustentável dos componentes da biodiversidade.

A Estratégia e Plano de Ação Nacionais para a Biodiversidade (EPANB) é o principal instrumento para implementação das metas

da CDB em nível nacional. A primeira versão da EPANB do Brasil foi elaborada para o período de 2010 a 2020 e publicada em 2017. A Estratégia definia 20 metas brasileiras que contribuiriam com as 20 Metas Globais de Aichi, visando alcançar o objetivo de conservar e utilizar sustentavelmente a biodiversidade. No entanto, as causas de perda de biodiversidade seguem se agravando, o que levou a CDB a adotar o novo Marco Global de Kunming-Montreal para 2030, aprovado durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15) que ocorreu no Canadá em dezembro de 2022.

A fim de atualizar as Metas Nacionais de Biodiversidade e a EPANB, à luz do novo Marco Global de Kunming-Montreal para 2030, o MMA realizou um amplo processo participativo, iniciado em 2023 e concluído em 2024. Ao final do processo, a proposta com as metas nacionais da EPANB foi submetida à Comissão Nacional de Biodiversidade (CONABIO), órgão consultivo do Poder Executivo federal para articular e coordenar ações necessárias à implementação das convenções relacionadas à biodiversidade. Esta, por sua vez, recomendou, por meio da Resolução CONABIO nº 9, de 28 de novembro de 2024, a adoção das Metas Nacionais de Biodiversidade para o período 2025 a 2030, como parte da Estratégia e Plano de Ação Nacionais para a Biodiversidade – EPANB. Posteriormente foi publicado o Decreto nº 12.485/2025, que oficializou o início do período de vigência da 2ª fase da EPANB e das Metas Nacionais de Biodiversidade para o período 2025 a 2030.

A governança ambiental se fortaleceu muito com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio - Lei nº 11.516/2007), instituição vinculada ao MMA que é responsável pela gestão, criação e ampliação das Unidades de Conservação integrantes do (SNUC). Segundo dados do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)¹⁰, mantido pelo MMA, ao final de 2006,

previamente à criação do ICMBio, o SNUC abrangia um total de 1.632 UCs e uma área de 1,46 milhão de Km². Atualmente, o sistema abrange 3.300 UCs e 2,6 milhões de Km², o que representou um incremento de 102% no número e de 78% na área protegida sob a forma de UCs no país. A gestão das UCs sofreu grande aperfeiçoamento, também, com a implementação do Sistema de Análise e Monitoramento da Gestão (SAMGe), desenvolvido pelo ICMBio e aplicado na esfera federal desde 2015. Essa ferramenta permite análises anuais de pontos fortes da gestão e de pontos que precisam de ações mais consistentes para resultados melhores.

Outra ação muito importante para a conservação da biodiversidade brasileira, especificamente no que se refere às espécies ameaçadas de extinção, é a elaboração e implementação dos Planos de Ação Nacionais para a Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção (PANs). Iniciados a partir de 2004, ainda sob a responsabilidade do IBAMA e atualmente sob responsabilidade do ICMBio, os PANs com foco nas espécies ameaçadas da fauna são “instrumentos de gestão, construídos de forma participativa, para o ordenamento e a priorização de ações para a conservação da biodiversidade e seus ambientes naturais, com objetivos estabelecidos em um horizonte temporal definido” (ICMBio, 2025). Até o momento foram publicados e implementados 74 PANs destinados à conservação da fauna, dos quais 40 continuam vigentes atualmente¹¹, abrangendo um total de 1.031 espécies desse grupo.

No que se refere às espécies da flora ameaçadas de extinção, entre 2015 e 2025 foram elaborados seis PANs pelo Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora)¹², do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ). A instituição prioriza Planos com abordagem territorial, que, segundo argumenta, apresenta algumas vantagens quando comparada à abordagem por espécie, ou por grupo taxonômico. O PAN territorial “otimiza esforços e recursos, uma vez que beneficia

¹⁰Fonte: CNUC. <https://cnuc.mma.gov.br/powerbi>. Acesso em 08/10/2025.

¹¹Planos de Ação Nacional para a Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção. Disponível em <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan>. Acesso em 21/10/2025.

¹²Disponíveis em: <https://dspace.jbrj.gov.br/jspui/simplesearch?filterquery=Plano+de+A%C3%A7%C3%A3o+Nacional&filtername=subject&filtertype>equals>. Acesso em 21/10/2025.

todas as espécies que ocorrem na área alvo das ações de conservação, mesmo aquelas para as quais há pouco conhecimento disponível ou ainda outras não conhecidas pela ciência, o que é de extrema importância, tendo em vista a grande lacuna de pesquisas científicas em determinadas regiões do país” (Pougy et al., 2015).

Também merece destaque a criação do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e do Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal – FNDF, ambos por meio da Lei nº 11.284/2006. O SFB atua exclusivamente na gestão das florestas públicas federais, e tem entre suas atribuições estimular e fomentar a prática de atividades florestais sustentáveis madeireira, não madeireira e de serviços; propor planos de produção florestal sustentável; criar e manter o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF) e gerenciar o Cadastro Nacional de Florestas Públicas. As primeiras concessões florestais, que são um dos principais instrumentos utilizados pelo SFB para promover o uso sustentável de produtos florestais, entraram em operação em setembro de 2010. Atualmente, essas somam 24 unidades de manejo florestal e abrangem uma área de aproximadamente 1,3 milhão de ha de florestas públicas, localizadas em dez florestas nacionais (Flonas) nos estados de Rondônia, Pará, Amapá, Amazonas e Paraná¹³.

A Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006) regulamentou a utilização e proteção da vegetação nativa da Mata Atlântica, que é um dos biomas com menor percentual de vegetação remanescente do Brasil. A lei proíbe o corte e supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração do bioma quando esta: abrigar espécies da flora e da fauna silvestres ameaçadas de extinção; exercer a função de proteção de mananciais ou de prevenção e controle de erosão; conectar remanescentes de vegetação primária ou secundária em estágio avançado de regeneração; proteger o entorno das unidades de conservação; ou possuir excepcional valor paisagístico, reconhecido pelos órgãos SISNAMA. Essa legislação viabilizou uma redução de 88%

do desmatamento no bioma Mata Atlântica no período de 2006 (6.384 km²), quando entrou em vigência, a 2023 (765 Km²), último ano da série de dados disponibilizada pelo INPE.

A legislação ambiental foi reforçada com a promulgação da Lei nº 12.651/2012, conhecida como Código Florestal Brasileiro, que estabelece normas gerais muito importantes para a proteção da vegetação nativa. Dentre essas normas, determina que todo imóvel rural deve manter um percentual mínimo de sua área com vegetação nativa a título de Reserva Legal, que deve ser: 1) na Amazônia Legal, de 80% em imóveis situados em área de florestas, 35% em imóveis situados em área de cerrado, e 20% em imóveis situados em área de campos gerais; 2) 20% nas demais regiões do país. Além disso, cria o Cadastro Ambiental Rural (CAR), de caráter obrigatório para todos os imóveis rurais, no qual devem ser informadas coordenadas geográficas do imóvel, a localização dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Preservação Permanente, das Áreas de Uso Restrito, das áreas consolidadas e da Reserva Legal. Caso a Reserva Legal estivesse em desacordo com os percentuais previstos, a lei determinava um prazo de dois anos para início do processo de sua recomposição, a ser concluído nos prazos previstos no Programa de Regularização Ambiental (PRA). Em tese, portanto, o CAR é um instrumento com estreita relação com a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, dado que a fiscalização das áreas declaradas como reserva legal, inclusive utilizando tecnologia de monitoramento por satélite, poderia garantir a manutenção de um elevado percentual de vegetação nativa em todos os biomas brasileiros.

No entanto, a avaliação da Política de Prevenção e Combate ao Desmatamento Ilegal, realizada em 2024 por um conjunto de instituições públicas federais sob demanda do Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas (CMAP), identificou que um dos fatores que contribuem para a existência do desmatamento ilegal na Amazônia Legal Brasileira é a baixa implementação dos elementos previstos no Código Florestal, entre eles o CAR e o PRA (Conselho de

¹³Fonte: SFB. <https://www.gov.br/florestal/pt-br/assuntos/concessoes-e-monitoramento/concessoes-florestais-em-andamento>. Acesso em 08/10/2025.

Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas - CMAP, 2024). Além disso, segundo dados do Observatório do Código Florestal¹⁴, em 2022 mais de 42 milhões de ha de terras cadastradas como imóveis rurais privados em todo o Brasil apresentavam sobreposição com unidades de conservação, terras indígenas, florestas públicas, áreas quilombolas e assentamentos, indicando graves problemas nos registros do CAR, pois essas terras não são passíveis de cadastro (Observatório do Código Florestal, s.d.). O aprimoramento do CAR com vistas à melhoria de sua efetividade, portanto, permanece como um grande desafio.

O monitoramento do desmatamento por satélite vem sendo realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 1988, ano em que se iniciou o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) . Essa ferramenta vem sofrendo aperfeiçoamentos técnicos constantes desde então, e em 2018 foi expandida para o Bioma Cerrado , quando os dados do desmatamento também passaram a ser consolidados e divulgados em bases anuais . A partir de 2023 o monitoramento da cobertura vegetal foi expandido também para a Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, de modo que o desmatamento, atualmente, é monitorado em todo o território anualmente. Esse avanço tecnológico foi acompanhado pelo aumento da fiscalização e pela aplicação de embargos remotos , pelos órgãos ambientais competentes. Ao longo dessas quase décadas de conhecimento acumulado, inclusive com várias inovações e desenvolvimento de tecnologias, o INPE se tornou referência mundial no monitoramento da cobertura vegetal nativa, das mais diferentes fitofisionomias.

Paralelamente, foram desenvolvidos planos de ação específicos para o combate ao desmatamento e às queimadas nos diferentes biomas, iniciando-se com o PPCDam (em 2004, atualmente na fase 5) e o PPCerrado (em 2010, atualmente na fase 4). Em 2024 foram publicados também a fase 1 PPCaatinga e do PPPantanal, ambos com execução entre 2024 e 2026, e em maio de 2025 foram publicadas a fase 1

PPPampa e do PPMata Atlântica, ambos com execução entre 2025 e 2027. Isso evidencia, também, o compromisso e os enormes progressos realizados pelo governo federal no combate ao desmatamento, em todo o território nacional.

Além das ações de comando e controle, essenciais para coibir e punir o desmatamento ilegal, é fundamental investir em instrumentos inovadores que promovam a valorização da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. Nesse contexto, destacam-se iniciativas como a Estratégia Nacional de Bioeconomia, formalizada pelo Decreto nº 12.044/2024, que orienta o desenvolvimento sustentável por meio do uso responsável dos recursos biológicos, incentivo à inovação e geração de empregos verdes.

Outro avanço importante é a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei nº 14.119/2021), que estabelece mecanismos para remunerar aqueles que contribuem para a conservação e recuperação dos ecossistemas, reconhecendo o valor dos serviços ambientais prestados à sociedade, como regulação do clima, proteção da água e manutenção da biodiversidade. Essas políticas ampliam as oportunidades econômicas associadas à conservação ambiental, estimulando práticas produtivas sustentáveis e fortalecendo o papel biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos como fonte de riqueza natural e de soluções para os desafios ambientais globais.

No âmbito internacional, o Brasil reafirmou seu compromisso com as metas climáticas por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs). Desde 2023, o governo brasileiro assumiu publicamente o compromisso de buscar o desmatamento zero até 2030 , por meio da eliminação do desmatamento ilegal e da compensação da supressão legal da vegetação nativa e das emissões de gases de efeito estufa delas provenientes. Esse compromisso está expresso em vários instrumentos de política pública, como na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês), meta climática do Brasil para 2035, apresentada na COP29 da Convenção do Clima, em Baku, no Azerbaijão, e em todos os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento (PPCDs) supramencionados.

¹⁴Rede de mais de 40 organizações socioambientais brasileiras criada em 2013 com o objetivo de monitorar a implementação da Lei nº 12.651/2012

No entanto, permanece um desafio para a consecução dos objetivos dos planos mencionados, que é falta de recursos orçamentários alocados em quantidade suficiente para viabilizar, de modo perene, ações como o monitoramento da cobertura vegetal. Dada a extensão do território brasileiro e a limitação de recursos financeiros disponíveis, em um contexto de crise fiscal e orçamentária e de muitos problemas sociais, econômicos e ambientais a serem resolvidos simultaneamente, essa é uma missão extremamente desafiadora, mas não impossível.

Nesse contexto, o principal mecanismo de financiamento de projetos e ações estruturantes para o bioma Amazônia tem sido o Fundo Amazônia, segundo a avaliação conduzida pelo CMAP (2024). O mecanismo foi criado pelo governo brasileiro em 2008 (Decreto nº 6.527/2008) para captar doações e investir em projetos de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento, além de promover a conservação e o uso sustentável da Amazônia Legal. Segundo dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que administra os recursos do Fundo Amazônia, até o momento foram aportados R\$ 4,823 bilhões ao Fundo, que teve com principais doadores os seguintes países: Noruega (R\$ 3,5 bilhões), Alemanha (R\$ 388 milhões), Estados Unidos (R\$ 291 milhões), Reino Unido (R\$ 284 milhões) e Dinamarca (R\$ 127 milhões). Desse total, foram desembolsados R\$ 2,083 bilhões, em 139 projetos apoiados que beneficiaram comunidades locais, órgãos ambientais e projetos de desenvolvimento sustentável¹⁵.

Ainda segundo o CMAP (2024), o bioma Cerrado não dispõe de um mecanismo de financiamento similar ao Fundo Amazônia, e o PPCerrado propõe a criação de fundos ou mecanismos similares para a manutenção da disponibilidade hídrica, conservação do solo, conservação e recuperação da vegetação nativa e da biodiversidade do Cerrado, com recursos provenientes de fontes múltiplas e contribuição dos setores público e privado, da cooperação internacional e organismos multilaterais de financiamento. Assim, o PPCerrado definiu como meta a apresentação de uma minuta de instrumento normativo para

instituir o "Fundo Cerrado" ou mecanismo similar.

Ambos os planos preveem o aporte de recursos de diversos fundos para a viabilização de suas iniciativas de combate ao desmatamento, como por exemplo, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal (FNDF), o Fundo Nacional de Repartição de Benefícios (FNRB), o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), o Fundo de Defesa de Direitos Difusos (FDD), o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), Fundo de Financiamento do Centro-Oeste (FCO), dentre outros. Foi prevista, ainda, a elaboração de uma proposta de plano de ação para coordenação e governança interfundos e projetos especiais, para viabilizar a implementação dos programas e projetos decorrentes das linhas de ação do PPCDAM e do PPCerrado (CMAP, 2024).

Para cumprimento das metas de neutralidade de emissões de gases de efeito estufa assumidas pelo Brasil, bem como as metas do ODS 15, da CDB e da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (UNCCD), será necessário não apenas proteger a área remanescente de vegetação nativa, mas também recuperar áreas onde esta foi perdida. Nesse sentido, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg) é o principal instrumento de implementação da Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Proveg), instituída pelo Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017. A retomada do Planaveg, a partir da reativação da Comissão Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Conaveg) em novembro de 2023, resultou no Planaveg 2025–2028, que reafirma a meta de recuperar 12 milhões de ha até 2030 e reorganiza a agenda em estratégias transversais (inteligência espacial e monitoramento, cadeia produtiva de recuperação, Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação e Financiamento da Recuperação). O plano também se conecta com outras medidas já adotadas pelo governo, como o Plano Nacional de Conversão de Pastagem Degradada (Decreto 11.815/2023), e propõe articular instrumentos

¹⁵Fonte: <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/home/#>. Acesso em 21/10/2025.

regulatórios, incentivos econômicos e capacitação técnica para transformar recuperação em oportunidade de geração de renda, empregos rurais e serviços ecossistêmicos.

Quando se analisa a proteção da biodiversidade, outro dado importante a se considerar é o valor dos gastos governamentais destinados a essa finalidade. Segundo um estudo realizado por Viana (2024), considerando apenas o orçamento federal, o governo gastou em média de R\$ 563,73 ± 197,34 milhões por ano entre 2001 e 2022, o que corresponde a um total acumulado de R\$ 12,40 bilhões no período. Os três temas mais importantes identificados foram: combate ao fogo e ao desmatamento; proteção de unidades de conservação (UCs); e proteção de terras indígenas (TIs). Esses gastos representam, em média, 0,018% do gasto total do orçamento federal, 0,008% do produto interno bruto (PIB) brasileiro ou, ainda, R\$ 2,84 per capita ao longo dos 22 anos estudados. Esse é um valor bastante “tímido”, portanto, conforme definido pelo autor do estudo. Como mencionado, porém, parte considerável das ações destinadas à proteção da biodiversidade tem sido executada com recursos extraorçamentários, como o Fundo Amazônia (bioma Amazônia).

Ainda segundo Viana (2004), nesse intervalo temporal houve três períodos com maior intensidade de gastos: 1) 2001-2003, marcado pela construção e implementação de políticas (por exemplo, regularização de Terras Indígenas) com apoio de recursos internacionais; 2) 2012-2015, período pós-criação do ICMBio, com maiores gastos em UCs, regularização de territórios quilombolas e apoio a populações tradicionais, bem como à intensificação das atividades de comando e controle, com a redução das taxas de desmatamento na Amazônia aos menores níveis já registrados, e 3) 2019-2022, em que a intensificação das atividades de comando e controle teve grande participação das Forças Armadas, inclusive no acesso a recursos orçamentários, com resultados não tão significativos.

Conforme menciona o autor, isso mostra que os resultados dos programas relacionados à proteção da biodiversidade podem variar grandemente, a depender da orientação

política do alto escalão do Poder Executivo que estiver no comando político do país, ainda que temporariamente. Corroborando essa afirmação, cabe ressaltar, novamente, a descontinuidade do PPCDAm e do PPCerrado de 2019 a 2022, exatamente por mudanças na orientação política do alto escalão do governo federal, ocorrida nesse período. Uma solução para evitar ou ao menos dificultar esse tipo de intervenção seria fortalecer a política de combate ao desmatamento, por meio da substituição de decretos (que podem ser extintos mediante uma simples decisão do chefe do Poder Executivo) por leis próprias para essa finalidade. Esse seria outro importante desafio de governança a ser superado, a fim de conceder maior perenidade à política de combate ao desmatamento no Brasil.

Além disso, é necessário um maior aporte de recursos para conservação e uso sustentável da biodiversidade por parte dos países desenvolvidos. Destaca-se que a Meta 19 do Quadro Global de Biodiversidade de Kunming-Montreal é mobilizar, até 2030, pelo menos US\$ 200 bilhões anuais para implementação de estratégias nacionais de biodiversidade, um valor que, além de insuficiente, não vem sendo cumprido.

Os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) são uma resposta global aos desafios atuais e um direcionamento de ações até 2030. Dentre as temáticas tratadas, todas previstas para serem articuladas de maneira transversal, estão a vida na água (ODS 14) e a vida terrestre (ODS 15), diretamente relacionadas à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos. Os relatórios brasileiros em relação a esses temas apresentam algumas políticas e ações governamentais que contribuem para o alcance desses objetivos, como programas dedicados ao tema no Plano Plurianual (PPA) 2024-2027 (Ipea, 2024a; 2024b). Além do setor público, de acordo com o Mapa das Organizações da Sociedade Civil¹⁶, 65 entidades trabalham com temáticas relacionadas a esses ODS.

Nas últimas décadas, houve um crescimento significativo de organizações da sociedade civil (ONGs) dedicadas à conservação da biodiversidade no Brasil. Em 1970, existia apenas um pequeno número de ONGs conservacionistas, sendo a Fundação

¹⁶Disponível em: <https://mapaosoc.ipea.gov.br/>. Acesso em 23 mai. 2025.

Brasileira para Conservação da Natureza a mais importante, fundada em 1958 no Rio de Janeiro. A FBCN foi altamente influente na década de 1980, colaborando com ONGs internacionais como o WWF (Mittermeier, 2005). A partir de 1988, novas ONGs surgiram, incluindo a Fundação SOS Mata Atlântica, Funatura, SPVS, SOS Amazônia e Fundação Biodiversitas. Essas organizações desempenharam papéis complementares importantes, desenvolvendo capacidades científicas, analíticas e políticas, e estabelecendo parcerias com organizações internacionais e o governo. Além disso, redes de ONGs como o Grupo de Trabalho Amazônico, a Rede Mata Atlântica e a Rede Cerrado pressionaram por mudanças políticas. Em 2005 se estimava que o Brasil já tinha mais de 500 ONGs voltadas para a conservação da biodiversidade (Mittermeier, 2005).

Por fim, algumas alterações recentes em políticas e ações ambientais, com reflexo direto sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, merecem atenção. Um a delas é o possível enfraquecimento do licenciamento ambiental no Brasil, principal instrumento do SISNAMA, por meio de alterações trazidas na “nova lei do licenciamento” (Lei nº 15.190/2025), que flexibiliza diversos pontos de controle ambiental de empreendimentos. A lei tramitou e foi aprovada na Câmara dos Deputados e no Senado, com vetos presidenciais. Um dos pontos mais polêmicos da referida lei é a Licença Ambiental por Adesão e Compromisso (LAC), baseada em autodeclaração do empreendedor. Esse é um assunto que está na ordem do dia e aguarda análise, pelo Congresso Nacional, dos pontos vetados pelo Presidente da República.

Outra recente alteração na conjuntura ambiental foi a suspensão da Moratória da Soja, um acordo voluntário entre empresas do setor para não comprar soja plantada em áreas desmatadas na Amazônia após julho de 2008. O objetivo do pacto é desvincular o crescimento da produção de soja do desmatamento ilegal no bioma Amazônia, mesmo em áreas que poderiam ser abertas legalmente pelo Código Florestal. O acordo busca garantir que a soja seja produzida de forma sustentável e tem sido renovado periodicamente desde 2006. A suspensão se

deu por decisão do Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE) a pedido da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), sob alegação de que o acordo infringe as leis brasileiras de concorrência. É importante que o Poder Executivo e a sociedade acompanhem essas alterações, que podem representar retrocessos em acordos que são fundamentais para conter o desmatamento na Amazônia. Um acordo anterior, conhecido como Moratória da Carne visava impedir que grandes frigoríficos comprassem gado criado em áreas desmatadas ilegalmente na Amazônia após 2008. O pacto foi extinto em 2024 após a homologação de um acordo entre o Ministério Público Federal (MPF) e o setor frigorífico.

Conclusões

O Brasil apresenta uma das maiores biodiversidade do mundo, estimada em pelo menos 13% do total global, e com elevado número de espécies que ocorrem somente no território nacional. No entanto, forças motrizes e pressões que ameaçam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos se intensificaram no país durante as últimas décadas, com impactos cada vez mais agravados pelos efeitos combinados das mudanças climáticas.

As principais forças motrizes identificadas incluem a primarização da pauta de exportações e os padrões de consumo insustentáveis. Apesar da pegada ecológica brasileira ainda não ter atingido a biocapacidade estimada do país, apresenta tendência de crescimento e sua pressão nos ecossistemas está afetando drasticamente a biodiversidade, além de causar outros efeitos ambientais interligados. As principais pressões à biodiversidade no Brasil coincidem com as identificadas em nível global: mudanças no uso da terra (desmatamento), grandes obras de infraestrutura, introdução de espécies exóticas invasoras, consumo insustentável de recursos naturais e poluição ambiental.

Como resultado, as pressões antrópicas sobre a biodiversidade brasileira, especialmente aquelas associadas às mudanças no uso e cobertura da terra, têm gerado uma série de impactos ambientais,

sociais e climáticos: existência de um número significativo de espécies ameaçadas de extinção; redução acentuada da cobertura vegetal nativa; aumento na incidência de queimadas; redução no volume hídrico nacional; alterações significativas dos ecossistemas; declínio de polinizadores e no serviço ecossistêmico de polinização; aumento do risco de atingir o ponto de não retorno na Amazônia, com alterações no regime de chuvas de grande parte do Brasil e do sul da América do Sul, e aumento dos conflitos socioambientais.

O Brasil realizou progressos significativos na governança e combate às causas das perdas de biodiversidade desde 2002, quando houve a publicação do último relatório Geo Brasil. Porém, os impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos identificados evidenciam a urgência de respostas robustas e coordenadas, no sentido de contê-los.

Entre os desafios para que isso ocorra, mencionam-se a necessidade de fortalecer o SISNAMA e de aprimorar o Cadastro Ambiental Rural, aumentando a sua efetividade; investir em instrumentos inovadores que promovam a valorização da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, como a Estratégia Nacional de Bioeconomia e a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais; aumentar o volume de recursos orçamentários destinados ao monitoramento do desmatamento; buscar fortalecer a política de combate ao desmatamento, por meio da substituição de decretos (que podem ser extintos mediante uma simples decisão do chefe do Poder Executivo, como ocorreu no período 2019 a 2022) por leis próprias para essa finalidade.

Além disso, é necessário um maior aporte de recursos para conservação e uso sustentável da biodiversidade por parte dos países desenvolvidos. Destaca-se que a Meta 19 do Quadro Global de Biodiversidade de Kunming-Montreal é mobilizar, até 2030, pelo menos US\$200 bilhões anuais para implementação de estratégias nacionais de biodiversidade, um valor que, além de insuficiente, não vem sendo cumprido.

Algumas alterações recentes em políticas e ações ambientais, com reflexo direto sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, merecem atenção. Entre essas mencionam-se as alterações trazidas pela “nova lei do licenciamento” (Lei nº 15.190/2025), que flexibiliza diversos pontos de controle ambiental de empreendimentos, e a suspensão da Moratória da Soja. Essas alterações podem ter impacto significativo na cobertura vegetal nativa brasileira, representando retrocessos em normas e acordos que são fundamentais para conter o desmatamento e a perda de biodiversidade no país.

Referências

Arruda, D. M., et al. (2023). Vegetações amazônicas e terras indígenas ameaçadas pelas próximas mudanças climáticas: Previsão de impacto nos biomas brasileiros. **Austral Ecology**, 49(1), e13394. <https://doi.org/10.1111/aec.13394>.

Bendik-Keymer, J., & Haufe, C. (2017). Anthropogenic mass extinction. In **The Oxford Handbook of Environmental Ethics** (pp. 427–437).

Bergallo, H. G., dos Santos, L. N., Barros, F., et al. (2024). Capítulo 3: Vetores de mudança diretos e indiretos que afetam a introdução, o estabelecimento e a disseminação de espécies exóticas invasoras. In M. S. Dechoum, A. O. R. Junqueira & M. L. Orsi (Orgs.), **Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos** (pp. 92-132). São Carlos: Editora Cubo. [URL]

BFG - The Brazil Flora Group. (2021). **Flora do Brasil 2020**. 1-28 pp. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. <http://doi.org/10.47871/jbrj2021001>

BPBES/REBIPP (2019). **Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil**. M. Wolowski, K. Agostini, A. R. Rech, I. G. Varassin, M. Maués, et al (Orgs.). 1ª ed. São Carlos, SP: Editora Cubo. 184 p. <http://doi.org/10.4322/978-85-60064-83-0>

Braga, A., & Laurini, M. (2024). Spatial heterogeneity in climate change effects across Brazilian biomes. **Scientific Reports**, 14(1), 16414. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67244-x>.

Bustamante, M. M. C., Metzger, J. P., Scariot, A., et al. (2019). Capítulo 3: Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. In C. A. Joly, F. R. Scarano, C. S. Seixas, J. P. Metzger, J. P. Ometto, M. M. C. Bustamante, et al. (Eds.), **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Editora Cubo, São Carlos. p. 351.

CDB. (2000). **Versão em português da Convenção sobre Diversidade Biológica**. Disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br/textoconvenoportugus.pdf>. Acesso em 09 jun. 2025.

Cham, K. O., Rebelo, R. M., Oliveira, R. P., et al. (2020). **Manual de avaliação de risco ambiental de agrotóxicos para abelhas**. Ibama/Diqua, Brasília, DF.

CONSELHO DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS – CMAP. (2024). **Relatório de Avaliação: Política de Prevenção e Combate ao Desmatamento Ilegal**. Brasília, DF: CMAP. Disponível em <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/cmap/politicas/2023/avaliacoes-conduzidas-pelo-cmag/relatorio-de-avaliacao-politica-de-prevencao-e-combate-ao-desmatamento-ilegal.pdf>. Acesso em 10/10/2025.

Dasgupta, P. (2021). **The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review**. London: HM Treasury.

De Negri, F., & Alvarenga, G. V. (2011). A primarização da pauta de exportações no Brasil: ainda um dilema. **Boletim Radar n. 13**, IPEA, abril de 2011.

Dias, B. F. et al. (2008). Comissão Nacional de Biodiversidade: CONABIO 05 anos. **Série Biodiversidade (32)**. Brasília: MMA, 317 p.

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., et al. (2018). Assessing nature's contributions to people. **Science**, 359(6373), 270-272. [URL]

FAO. (2024). Pesticides use and trade – 1990–2022. **FAOSTAT Analytical Briefs**, No. 89. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1486en>

Fonseca, A. C., Ivanauskas, N. M., Thomaz, S. M., et al. (2024). Capítulo 5: Manejo de espécies exóticas invasoras: experiências nacionais. In: M. S. Dechoum, A. O. R. Junqueira & M. L. Orsi (Orgs.), **Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos** (pp. 185-236). São Carlos: Editora Cubo. <https://doi.org/10.4322/978-65-00-87228-6.cap5>

Fonseca, I. F. da, et al. (2023). **A desconstrução organizada da política florestal no Brasil: estratégias de desmantelamento e de resistência**.

Gobetti, S. W. (2024). Progressividade tributária: diagnóstico para uma proposta de reforma. Ipea, **Carta de Conjuntura** nº 65, Nota de Conjuntura 8, 4º trimestre de 2024.

Gobetti, S. W. (2024). Progressividade tributária: diagnóstico para uma proposta de reforma. Ipea, **Carta de Conjuntura** nº 65, Nota de Conjuntura 8, 4º trimestre de 2024.

Holanda, S. B. (1995). **Raízes do Brasil**. São Paulo: Companhia das Letras.

IBAMA. (2025). **Produtos Formulados Deferidos em 2019-2022**. Disponível em: <https://tinyurl.com/3rd6w7c7>. Acesso em 17 jul. 2025.

IBAMA. (2022). **Relatório de Qualidade do Meio Ambiente: RQMA Brasil 2020**. H. A. Coelho, A. A. Corrêa (Coords.). Brasília, DF: IBAMA. 557 p.

IBGE. (2004). **Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação**. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/biomas_5000mil.pdf. Acesso em 23 jun. 2025.

_____. (2020). **Contas de ecossistemas: o uso da terra nos biomas brasileiros: 2000-2018**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101753.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025

_____. (2022). **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2018/2020**. Disponível em <https://tinyurl.com/yhaukawn>. Acesso em 23 jun. 2025.

_____. (2024a). **Adequação do limite leste do Sistema Costeiro-Marinho à Amazônia Azul**. Disponível em: <https://tinyurl.com/bksdwda>. Acesso em 23 jun. 2025.

_____. (2024b). **Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil, compatível com a escala 1:250.000**. Notas metodológicas n.01/2024: adequação do limite leste do Sistema Costeiro-Marinho à Amazônia Azul. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102106.pdf>. Acesso em 23 jun. 2025.

Imperatriz-Fonseca, V.L. & Nunes-Silva, P. (2010). **As abelhas, os serviços ecossistêmicos e o Código Florestal Brasileiro**. *Biota Neotrop.* 10(4). <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000400008>

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. (2022). **Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia – PRIM-HA**. V. 1, 96 p.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. (2025). **Listas de EEI em UCs**. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/manejo-de-especies-exoticas-invasoras/listas-de-eei-em-ucs>. Acesso em 29 mai. 2025.

IPBES. (2019). **Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. Brondízio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (Eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1144 p.

_____. (2022). Summary for Policymakers of the Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature. Pascual U, Balvanera P, Christie M, et al. IPBES Secretariat.

_____. (2024). Summary for policymakers of the thematic assessment of the interlinkages among biodiversity, water, food and health (nexus assessment). IPBES/11/12/Add.1.

_____. (2025). Summary for policymakers of the thematic assessment of the underlying causes of biodiversity loss and the determinants of transformative change and options for achieving the 2050 Vision for Biodiversity. IPBES/11/12/Add.2.

Ipea. (2024a). Agenda 2030: objetivos de desenvolvimento sustentável: avaliação do progresso das principais metas globais para o Brasil: ODS 14. Brasília: Ipea. (Cadernos ODS, 14). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ri2024ODS14>

_____. (2024b). Agenda 2030: objetivos de desenvolvimento sustentável: ODS 15. Brasília: Ipea. (Cadernos ODS, 15). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ri2024ODS15>

Joly, C. A., Padgurschi, M. C. G., Pires, A. P. F., et al. (2019). Capítulo 1: Apresentando o Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. In: Joly, C. A., Scarano, F. R., Seixas, C. S., et al. (Eds.), **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Editora Cubo, São Carlos. p. 351.

Junqueira, A., Levis, C., Coelho, F., Gonçalves-Souza, T., et al. (2024). **Importância das Terras Indígenas para a Conservação da Biodiversidade e Serviços Ambientais**. Instituto Serrapilheira.

Leal, I. R., Silva, J. M. C. da, Tabarelli, M., Lacher Jr., T. E. (2005). Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, 1(1), 139-146.

Lewinsohn, T. M., Prado, P. I. (2005). Quantas espécies há no Brasil? **Megadiversidade**, v. 1, n.1, p. 36-42.

Lewinsohn, T. M., Prado, P. I. (2006). Síntese do conhecimento atual da biodiversidade brasileira. In: Lewinsohn, T. M. (Org.). Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira, biodiversidade, MMA, v. 1, p. 21-109.

Lovejoy, T. E., Nobre, C. (2018) Amazon Tipping Point. **Sci. Adv.** 4, 2340.

Malecha, A., et al. (2025). Climate change and biodiversity in Brazil: What we know, what we don't, and Paris Agreement's risk reduction potential. Perspectives in Ecology and Conservation. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2025.03.004>.

Matos, D. M. S., Bovi, M. L. A. (2002). Understanding the threats to biological diversity in southeastern Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 11, n. 10, p. 1747–1758.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. **Island Press**, Washington, DC.

Mittermeier, R. *et al.* (1997). **Megadiversidad: los países biológicamente mas ricos del mundo**. 1. ed. Mexico: Cementos Mexicanos.

MMA - Ministério de Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2025). **Agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/seguranca-quimica/agrotoxicos>. Acesso em 17 jul. 2025.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. (2025). **Informações Técnicas sobre agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/informacoes-tecnicas>. Acesso em 17 jul. 2025.

Mittermeier, R. A., et al. (2005). Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil. **Megadiversidade**, 1(1), 14-21.

Myers, N. et al. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858.

Observatório do Código Florestal. (s.d.). Brasil tem 42 milhões de hectares de imóveis rurais cadastrados em terras públicas, indígenas, quilombolas e assentamentos. Disponível em: <https://observatorioflorestal.org.br/brasil-tem-42-milhoes-de-hectares-de-imoveis-rurais-cadastrados-em-terras-publicas-indigenas-quilombolas-e-assentamentos/>. Acesso em 08/10/2025

Oksanen, M. (2004). Biodiversity Considered Philosophically. In M. Oksanen & J. Pietarinen (Orgs.), *Philosophy and Biodiversity*. Cambridge University Press.

Olson, D., Dinerstein, E. (2003). The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89(2): 199–224. DOI:10.2307/3298564.

Pascual, U., et al. (2023). Diverse values of nature for sustainability. *Nature*, 620(7975), 813-823.

PBMC/BPBES. (2018). Potência Ambiental da Biodiversidade: um caminho inovador para o Brasil. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas e da Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. 1ª ed. Rio de Janeiro: PBMC, COPPE – UFRJ.

Pinho, P.F. et al. (2020). Projeções de resiliência dos biomas brasileiros e riscos socioambientais às mudanças climáticas. *Sustainability in Debate*. Brasília, 11(3), 242-259. <https://doi.org/10.18472/SustDeb>. v11 n3. 2020. 33918.

Pivello, V. R., Rocha, R. M., Vitule, J. R. S., et al. (2024). Capítulo 4: Impactos de espécies exóticas invasoras sobre as Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP), o Desenvolvimento Sustentável e a boa qualidade de vida. In: M. S. Dechoum, A. O. R. Junqueira & M. L. Orsi (Orgs.), *Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos* (pp. 133-184). São Carlos: Editora Cubo. <https://doi.org/10.4322/978-65-00-87228-6.cap4>

Pougy, N., Verdi, M., Martins, E., Loyola, R., Martinelli, G. (Orgs.). (2015). **Plano de Ação Nacional para a conservação da flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional**. CNCFlores: Jardim Botânico do Rio de Janeiro: Laboratório de Biogeografia da Conservação: Andrea Jakobsson Estúdio, Rio de Janeiro. 100 p.

Raymond, C. M., et al. (2023). An inclusive typology of values for navigating transformations towards a just and sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 64, 101301.

Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, 142(6), 1141-1153.

Roma, J. C. et al. (2010). O estado da biodiversidade – parte 2: biomas brasileiros. In: **Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília: Ipea. v. 7. p. 77-129.

Roma, J. C. (2014). Biodiversidade e serviços ecossistêmicos: uma agenda positiva para o desenvolvimento sustentável. In: L. M. Monastério, M. C. Neri & S. S. D. Soares (Eds.), **Brasil em desenvolvimento 2014: Estado, planejamento e políticas Públicas**. Brasil: o Estado de uma Nação (pp. 41-59). Brasília: Ipea.

Roma, J. C., Viana, J. P. (2023). Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos: temas indissociáveis para o desenvolvimento econômico, socialmente inclusivo e ambientalmente sustentável do Brasil. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada/Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. nº 30 (Edição especial 15 anos, jul.-dez./2023).

Santos, R. G., et al. (2015). Debris ingestion by juvenile marine turtles: An underestimated problem. **Marine Pollution Bulletin**, 93(1–2), 37–43. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.02.022>

Seixas, C. S., Turra, A., Ferreira, B. P. (Eds.). (2024). **1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES) e Cátedra Unesco para a Sustentabilidade do Oceano.

Travassos, L., Nicolodi, J. L., Siegle, E., et al. (2024). Vetores de Mudança da Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos da Zona Marinha-Costeira. In: C. S. Seixas, A. Turra & B. P. Ferreira (Eds.), **1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos** (pp. 128-169). Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES) e Cátedra Unesco para a Sustentabilidade do Oceano. pp. 128-169. doi: 10.4322/978-65-01-27749-3.cap03

Viana, J. P. (2024). Gastos do governo federal na proteção da biodiversidade e das paisagens (2001-2022): as despesas tímidas do país que abriga a maior biodiversidade do planeta. **Texto para Discussão** n. 3038. Brasília, DF: Ipea.

Wiedmann, T., Lenzen, M., Keyßer, L. T., & Steinberger, J. K. (2020). Scientists' warning on affluence. **Nature Communications**, 11(1):3107. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16941-y>

Zenni, R. D., Brito, M. F. G., Creed, J. C., et al. (2024). Capítulo 2: Status e tendências sobre espécies exóticas invasoras no Brasil. In: M. S. Dechoum, A. O. R. Junqueira & M. L. Orsi (Orgs.), **Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos** (pp. 49-91). São Carlos: Editora Cubo. <https://doi.org/10.4322/978-65-00-87228-6.cap2>

Zhou, Y., & Mai, R. (2024). Marine Biology under Climate Change: challenges, adaptations, and future directions. **International Journal of Marine Science**, 14(2), 120. <https://doi.org/10.5376/ijms.2024.14.0015>.

Anexo I: Políticas públicas federais e instrumentos relacionados à proteção da biodiversidade

Decreto nº 4.297/2002	Critérios para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil (ZEE)
Decreto nº 4.339/2002	Política Nacional da Biodiversidade
Decreto nº 4.887/2003	Identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos
Lei nº 10.650/2003	Lei de Acesso aos dados e informações do SISNAMA
Lei nº 10.696/2003	Programas de compras institucionais como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA)
Lei 10.799/2003	Seguro Defeso
Decreto nº 5.092/2004	Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade Brasileira
Decreto nº 5.377/2005	Política Nacional para os Recursos do Mar
Decreto nº 5.472/2005	Convenção de Estocolmo para Poluentes Orgânicos Persistentes

Lei nº 11.196/2005	Lei do Bem - incorpora incentivos específicos para o uso sustentável da biodiversidade
Lei nº 11.105/2005	Lei da Biossegurança - estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização para o uso e descarte de Organismos Geneticamente Modificados (OGMs)
Lei nº 11.284/2006	Lei de Gestão de Florestas Públicas
Lei nº 11.428/2006	Lei sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica
Decreto nº 5.758/2006	Plano Nacional de Áreas Protegidas (PNAP)
Decreto nº 1.775/2006	Procedimento administrativo de demarcação das terras indígenas
Lei nº 11.445/2007	Lei do Saneamento Básico
Lei nº 11.516/2007	Dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes
Decreto nº 6.040/2007	Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais
Decreto nº 6.514/2008	Infrações e sanções administrativas ao meio ambiente
Decreto nº 6.666/2008	Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE)
Lei 11.959/2009	Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca
Lei nº 11.947/2009	Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE)
Lei nº 11.959/2009	Lei da Pesca e Aquicultura
Lei nº 12.114/2009 e Decreto nº 9.578/2018	Fundo Nacional de Mudança do Clima (Fundo Clima)
Lei nº 12.187/2009	Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC)
Lei nº 12.305/2010	Política Nacional de Resíduos Sólidos
Decreto nº 7.272/2010	Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional
Lei nº 12.512/2011	Programa de Apoio à Conservação Ambiental (Programa Bolsa Verde)
Lei nº 12.608/2012	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC)
Lei nº 12.651/2012	Lei de Proteção da Vegetação Nativa
Decreto nº 7.747/2012	Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI)
Decreto nº 7.794/2012	Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica
Portaria MMA nº 43/2014	Programa Pró-Espécies
Lei nº 13.123/2015	Lei sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade
Lei nº 13.153/2015	Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
Portaria nº 150/2016	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
Decreto nº 8.772/2016	Regulamenta a Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015, de maio de 2015, que trata do acesso ao patrimônio genético e à proteção do conhecimento tradicional associado
Decreto nº 8.972/2017	Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG)
Lei nº 13.426/2017	Política de controle da natalidade de cães e gatos
Lei nº 13.493/2017	PIB Verde
Decreto nº 9.080/2017	Convenção sobre a Conservação das Espécies Migratórias de Animais Silvestres
Portaria IBAMA nº 3642/2018	Portaria IBAMA nº 3642/2018

Plano Nacional de Prevenção, Controle e monitoramento do Coral-Sol	Plano Nacional de Prevenção, Controle e monitoramento do Coral-Sol
Portaria MMA nº 444/2018	Portaria MMA nº 444/2018
Estratégia Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção	Estratégia Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção
Portaria MMA nº 445/2018	Portaria MMA nº 445/2018
Decreto nº 9.470/2018	Convenção de Minamata sobre Mercúrio
Lei nº 13.668/2018	Dispõe sobre a destinação e a aplicação dos recursos de compensação ambiental e sobre a contratação de pessoal por tempo determinado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Instituto Chico Mendes)
Decreto nº 9.810/2019	Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR)
Instrução Normativa ICMBio nº 06/2019	Prevenção de introduções e o controle ou erradicação de espécies exóticas ou invasoras em Unidades de Conservação federais e suas zonas de amortecimento
Decreto nº 10.088/2019	Convenção nº 169 da OIT sobre povos indígenas e tribais
Portaria MMA nº 504/2020	Programa Cidades+Verdes
Decreto nº 10.375/2020	Programa de Bioinsumos
Portaria Interministerial MAPA/MMA nº 10/2021	Institui lista de espécies nativas da sociobiodiversidade de valor alimentício, para fins de comercialização in natura ou de seus produtos derivados
Portaria MMA nº 138/2021	Torna pública a lista das espécies migratórias de animais silvestres
Lei nº 14.119/2021	Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais
Instrução Normativa ICMBio nº 02/2022	Programa Nacional de Monitoramento da Biodiversidade - Programa Monitora
Portaria GM/MMA nº 288/2022	Agenda Nacional de Proteção e Defesa de Cães e Gatos
Resolução CIM nº 03/2023	Plano Clima: Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (Tema Biodiversidade)
Portaria IPHAN Nº 135/2023	Tombamento de Quilombos
Decreto nº 11.367/2023	Institui a Comissão Interministerial Permanente de Prevenção e Controle do Desmatamento, restabelece o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm e dispõe sobre os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado, na Mata Atlântica, na Caatinga, no Pampa e no Pantanal.
Decreto nº 11.518/2023	Plano Nacional de Fertilizantes
Decreto nº 11.550/2023	Comissão Interministerial de Mudança do Clima (CIM)
Decreto nº 11.700/2023	Programa Nacional de Agricultura Urbana e Periurbana
Decreto nº 11.786/2023	Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental Quilombola (PNGTAQ)
Decreto nº 11.815/2023	Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis (PNCPD)
Decreto nº 11.865/2023	Promulga o Protocolo de Nagoia sobre Acesso a Recursos Genéticos e Repartição Justa e Equitativa dos Benefícios Derivados de sua Utilização à Convenção sobre Diversidade Biológica

Lei nº 14.590/2023	Altera a Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006, que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, a Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007, que dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, e a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, que cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima.
Lei nº 14.785/2023	Lei de Agrotóxicos
Resolução CONAVEG nº 04/2024	Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG 2025-2028)
Decreto nº 11.920/2024	Política Nacional de Ordenamento Territorial (PNOT)
Decreto nº 12.007/2024	Comitê Técnico Interinstitucional de Uma Só Saúde
Decreto nº 12.044/2024	Estratégia Nacional de Bioeconomia
Decreto nº 12.045/2024	Programa Nacional para Conservação e Uso Sustentável dos Manguezais do Brasil (ProManguezais)
Lei nº 14.926/2024	Altera a Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, para assegurar atenção às mudanças do clima, à proteção da biodiversidade e aos riscos e vulnerabilidades a desastres socioambientais no âmbito da Política Nacional de Educação Ambiental.
Decreto nº 12.045/2024	Lei nº 14.944/2024 Política Nacional do Manejo Integrado do Fogo
Lei nº 15.004/2024	Confere o título de Capital Nacional da Biodiversidade Marinha ao Município de Guarapari, no Estado do Espírito Santo.

Fonte: elaboração dos autores

BIODIVERSIDADE

Como frear a perda de biodiversidade no Brasil?



Foto: Gilberto Soares/MMA

Katia Torres Ribeiro¹

Andreia Fanzeres²

¹Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Diretoria de Ações Socioambientais e Consolidação Territorial em Ucs

²Operação Amazônia Nativa

Simples e basilar... proteger a biodiversidade é garantir a dinâmica da vida, a convivência das diferenças, o respeito aos ciclos, a pulsão da diversificação, o que constitui o oposto da simplificação, padronização, homogeneização, previsão, que prevalecem em nossos sistemas produtivos, financeiros e filosóficos.

Reverter a perda de biodiversidade na extensão e velocidade necessárias para que esse planeta continue habitável pela maioria da sociedade humana requer uma mudança profunda nos processos sociais, econômicos, culturais, de modo que a diversidade seja princípio, regra, valor. Uma pequena roça indígena na Amazônia pode ter maior número de variedades de mandioca do que toda a produção comercial brasileira – pois há culturas em que diversidade ainda é bem mais que o alimento imediato, é também referência, tradição e prática.

Charles Darwin não conheceu a palavra ecologia – chamava de economia da natureza o que observava e descrevia. Uma economia de natureza deve aceitar e promover frutas de todos os tamanhos e cores, nomear os diversos tipos de peixes (e no Brasil são mais de três mil espécies!), conhecer as qualidades do que é gestado em diferentes lugares e tempos. Tal economia reconhece os processos sociais e culturais, aprende a produzir com diversidade, incorpora nas suas universidades o desafio do não-padrão. Uma restauração ecológica com natureza, por exemplo, deve almejar ampla diversidade genética, sementes de plantas com todas as características, pequenas, grandes, tortas, retas, sementes colhidas onde ainda há diversidade, gerando renda para quem cuida bem da terra. Uma agricultura com natureza enxerga o solo como ser vivo, e não como substrato, aquilo que recebe insumos em acelerada escassez.

O solo é vivo e pode se regenerar e enriquecer. O sistema financeiro com natureza reconhece os ciclos e os incorpora em seus cálculos de risco, entendendo tais processos como parte dos sistemas e não como externalidades a serem combatidas. Uma sociedade com natureza admira a diversidade social, cultural, as várias formas de fazer e viver, as várias línguas que expressam modos distintos de ver o mundo.

Um paradoxo precisa ser enfrentado – virtudes como repartição de benefícios, compartilhamento, multiplicidade de atores, implicam também, muitas das vezes, em desconcentração de poder, e isso se reflete na capacidade de incidência política em diversos campos de negociação. Existe uma assimetria de poder imensa entre os processos simplificadores da vida, que concentra poder, e os que reconhecem e promovem diversidade, que o distribuem. Mecanismos que equalizem minimamente essas assimetrias de poder são fundamentais. Por isso, justiça social, justiça racial, justiça fundiária, justiça financeira, promoção de direitos coletivos, equidade são indissociáveis da proteção ambiental. Esta é uma chave para a contenção dos processos de perda de biodiversidade.

Tais mudanças de rumo dependem de profundas transformações cognitivas, em que o diferente seja admirado, em que o conjunto de coisas pequenas seja visto, desde o ensino primário até o desenho dos grandes investimentos financeiros. E da aceitação de que não há compensação infinita. Pode havê-la em pequena escala, mas a ideia de que sempre será possível compensar uma perda é absolutamente ilusória e é preciso reverter essa expectativa.

Povos indígenas e diversas comunidades tradicionais têm elevado suas vozes a partir

de seus territórios, dizendo que, se estão mais vulneráveis às mudanças do clima por terem suas vidas menos tamponadas por máquinas, são também a resposta para a crise. Essas comunidades nos ensinam que as soluções devem passar por processos sociais mais coletivos e dialogados, ancorados em cosmovisões que orientam a relação necessária entre paisagens, seres que habitam rios, florestas, montanhas e os povos, num tênue fio que determina o equilíbrio ou o desequilíbrio da natureza, tal como a vemos.

Diante dos dois principais dilemas da humanidade hoje – as mudanças climáticas e a perda da biodiversidade – aprender com o olhar diferenciado desses povos e comunidades revela-se como o exercício de uma nova ética que pode transformar as relações econômicas, sociais e políticas que regem este planeta adoecido. É, sobretudo, uma oportunidade de experienciar outras racionalidades dentro de um regramento ambiental que pede mais inovação - não a tecnicista, mas a sociotécnica. É preciso coragem.

João Vitor Campos-Silva¹

Hugo C. M. Costa¹

¹Instituto Jurua, Manaus, Brasil

O Brasil abriga uma das maiores riquezas biológicas do planeta, sustentando processos ecológicos vitais como regulação do clima, polinização, fertilidade do solo e oferta de água e alimentos. Essa abundância natural também sustenta economias locais e identidades culturais. No entanto, a conservação da biodiversidade enfrenta pressões crescentes causadas pelo uso intensivo do solo e pela expansão de atividades produtivas que fragmentam habitats e enfraquecem as funções ecossistêmicas. A perda de biodiversidade é impulsionada principalmente pelo desmatamento, pela expansão agropecuária, pela mineração ilegal, pela degradação de rios e áreas úmidas e pelos efeitos combinados do uso do solo e das mudanças climáticas. Na Amazônia e no Cerrado, florestas vêm sendo substituídas por pastagens, soja e infraestrutura, comprometendo espécies e processos ecológicos que estabilizam o clima.

Apesar dos desafios, o Brasil tem capacidade para reverter o declínio da biodiversidade. As soluções exigem integração de políticas públicas em diferentes níveis de governo, fortalecimento da governança ambiental, ampliação e valorização das terras protegidas e indígenas, avanço na transição energética sustentável, infraestrutura e mobilidade de baixo impacto, além da promoção da sociobiodiversidade — a união entre diversidade biológica e cultural como base para o desenvolvimento.

Conter o desmatamento ilegal é a medida mais urgente. O Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm) demonstrou que a combinação de monitoramento por satélite, fiscalização coordenada, restrição de crédito e responsabilização pode reduzir drasticamente a perda florestal. Essas estratégias precisam ser reativadas e estendidas a todos os biomas, especialmente o Cerrado, que hoje apresenta a maior taxa

de destruição de vegetação do país. Além da fiscalização, mecanismos de incentivo devem recompensar a conservação. Pagamentos por serviços ambientais, créditos de restauração florestal e apoio técnico ao manejo sustentável podem ajudar produtores a recuperar áreas degradadas e manter a produtividade.

As áreas protegidas e os territórios indígenas são o alicerce do sistema de conservação brasileiro. Terras indígenas apresentam as menores taxas de desmatamento, provando que garantir direitos territoriais também protege florestas. As Unidades de Conservação de Uso Sustentável têm mostrado resultados expressivos na gestão da biodiversidade e no fortalecimento das cadeias de valor da sociobiodiversidade. Garantir a demarcação, integridade e financiamento dessas áreas é essencial, assim como fortalecer instituições como FUNAI e ICMBio. Criar corredores ecológicos ajuda a conectar paisagens fragmentadas e aumentar a resiliência. Modelos de cogestão com comunidades locais tornam esses territórios mais eficazes e justos, unindo saberes tradicionais e ciência moderna da conservação.

A governança ambiental no Brasil foi abalada por cortes orçamentários, mandatos hostis e redução da transparência. Superar isso exige reconstruir a capacidade institucional e orçamentária, garantir estabilidade técnica e ampliar a participação pública nas decisões. Conselhos e fóruns participativos fortalecidos podem unir comunidades, pesquisadores e órgãos públicos em uma gestão colaborativa. Também é crucial reforçar a conservação comunitária, comprovadamente eficaz na redução da perda de biodiversidade. Na Amazônia, no Cerrado e nas zonas costeiras, onde comunidades locais têm direitos garantidos e apoio técnico, os resultados de conservação melhoram significativamente. Florestas, pesqueiros e reservas extrativistas manejados por

comunidades protegem ecossistemas e fortalecem a coesão social e o desenvolvimento local.

Projetos hidrelétricos têm fragmentado rios e deslocado comunidades, especialmente na Bacia Amazônica. Embora a matriz energética brasileira seja majoritariamente renovável, a transição deve priorizar fontes de baixo impacto, como energia solar e biomassa, desenvolvidas de forma descentralizada e inclusiva. O planejamento energético deve integrar a gestão da biodiversidade e da água, evitando danos irreversíveis aos ecossistemas aquáticos. Uma transição verdadeiramente verde depende de energia e infraestrutura que respeitem os limites ecológicos.

Promover a sociobiodiversidade alinha conservação e justiça social. Povos indígenas, ribeirinhos, quilombolas e extrativistas detêm vasto conhecimento ecológico e práticas sustentáveis que mantêm os ecossistemas funcionando. Apoiar essas populações com acesso a mercado, crédito, infraestrutura e assistência técnica fortalece cadeias sustentáveis como a do açaí, da castanha e do pirarucu. Reconhecer a sociobiodiversidade como estratégia nacional de desenvolvimento permite ao Brasil gerar renda e autonomia enquanto conserva a natureza. Esses territórios mostram como a biodiversidade pode sustentar a resiliência econômica e a continuidade cultural. O futuro da biodiversidade brasileira depende menos de novas descobertas científicas e mais de vontade política, financiamento público, coerência institucional e inclusão social. Proteger a natureza garante segurança hídrica, alimentar e climática para as próximas gerações. Restaurar ecossistemas, fortalecer a governança local e valorizar o conhecimento dos povos da floresta são caminhos concretos para reconciliar desenvolvimento e conservação e para o Brasil liderar uma transição global justa e sustentável.

Referências

- Levis, C., Flores, B. M., Campos-Silva, J. V., Peroni, N., Staal, A., Padgurschi, M. C., Dorshow, W., Moraes, B., Schmidt, M., Kuikuro, T.W., Wauja, K., Kuikuro, K., Kuikuro, A., Fausto, C., Franchetto, B., Watling, J., Lima, H., Heckenberger, M., & Clement, C. R. (2024). Contributions of human cultures to biodiversity and ecosystem conservation. **Nature Ecology & Evolution**, 8(5), 866- 879. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02356-1>.
- Staude, I. R., Vélez-Martin, E., Andrade, B. O., Podgaiski, L. R., Boldrini, I. I., Mendonça Jr, M., ... & Overbeck, G. E. (2018). Local biodiversity erosion in south Brazilian grasslands under moderate levels of landscape habitat loss. **Journal of Applied Ecology**, 55(3), 1241-1251.
- Vieira, I. C. G., Toledo, P. D., Silva, J. D., & Higuchi, H. (2008). Deforestation and threats to the biodiversity of Amazonia. **Brazilian Journal of Biology**, 68, 949-956.
- Diniz-Filho, J. A. F., Oliveira, G. D., Lobo, F., Ferreira, L. G., Bini, L. M., & Rangel, T. F. L. V. B. (2009). Agriculture, habitat loss and spatial patterns of human occupation in a biodiversity hotspot. **Scientia Agricola**, 66, 764-771.
- Tabarelli, M., Pinto, L. P., Silva, J. M., Hirota, M., & Bede, L. (2005). Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, 19(3), 695-700.

Roberto S. Waack¹ Bernardo Strassburg²

¹Presidente do Conselho de Administração do Instituto Arapyau e membro do Conselho da Marfrig e Wise Plásticos

²Fundador e diretor de ciência do Instituto Internacional para a Sustentabilidade, e professor da PUC-Rio

Enfrentar a perda da biodiversidade no Brasil de forma consistente, sustentável e duradoura requer mais do que ações de comando e controle para o fim do desmatamento. A resposta para esse problema passa também por consolidar o capital natural como uma verdadeira classe de ativo econômico. O valor econômico da biodiversidade precisa ser reconhecido nos âmbitos macro e microeconômicos para que a conservação seja percebida como investimento - e não como custo. Para isso, é fundamental garantir um fluxo regular e volumoso de recursos financeiros, ancorado em um ambiente estável e com regras claras. Políticas públicas nacionais e internacionais são vitais para o desenvolvimento deste processo. O reconhecimento do valor do capital natural nas contas nacionais e na economia global é uma tendência inexorável, aproximando o campo geopolítico da ciência - com reflexos diretos nas agendas nacionais de proteção à biodiversidade - e impactando estratégias privadas de organizações com alta dependência de recursos naturais, incluindo a relação com a uso da terra.

Classes de ativos são conjuntos de instrumentos financeiros que têm características próprias e operam com regras do jogo equivalentes, especialmente os de regulamentação formal, mas também com práticas informais e culturais próprias. Elas se comportam de maneira similar no mercado e, em geral, têm riscos e retornos com previsibilidades semelhantes. Seus custos e preços são influenciados por fatores conhecidos e parametrizados.

A caracterização da biodiversidade, por ser extremamente sofisticada e complexa, apresenta grande desafio. Ela engloba o submicroscópico mundo dos genes, passa pelo diversificado universo das espécies resultantes de suas expressões e seus agrupamentos em reinos (vegetal, animal e,

de forma simplificada, microbiológico) e se insere em paisagens variadas, com múltiplas formas de interação com o meio e com os humanos.

A definição dos serviços ecossistêmicos, principal produto do capital natural e da biodiversidade, também não é trivial. Embora sejam mensuráveis, o carbono e os recursos hídricos e minerais ainda não têm padrões globais de medida. Conceitos como estoques de biodiversidade e fluxos de serviços prestados ainda carecem de métricas adequadas, que garantam a robustez científica e a expressão das particularidades territoriais ao mesmo tempo em que permitam a escalabilidade e a fungibilidade necessárias ao funcionamento dos mercados. Além disso, é necessária uma completa compreensão da amplitude de serviços a que as métricas estão diretamente associadas.

A biodiversidade provê alimentos, matérias-primas como água, madeira, fibras, fertilizantes, produtos biogeoquímicos e recursos genéticos. No campo de serviços, a lista é longa: ela afeta diretamente a regulação climática, influencia dinâmicas sanitárias, notadamente doenças tropicais, impacta qualidade do ar, manutenção de estoques e ciclos hidrológicos, ciclagem de nutrientes. A biodiversidade oferece ainda as mais diversas alternativas de habitats, tem efeito direto na resiliência contra eventos ambientais como enchentes e secas, mitiga danos ambientais e interfere fortemente em interações biológicas, como polinizações e controles de pragas.

A redução da perda da biodiversidade tem importantes aliados: o veloz desenvolvimento da biotecnologia, da inteligência artificial e da gestão de dados. As tecnologias voltadas para o sequenciamento genético de todas as espécies vivas do planeta estão acessíveis.

A diversidade biológica é fruto da expressão de materiais genéticos e o seu sequenciamento permite acessar uma biblioteca de dados que, correlacionado a bases de dados sobre o ambiente onde vivem, abre amplas perspectivas para a ciência biológica e suas conexões com o campo econômico. O volume de dados, memórias e padrões relativos à biodiversidade podem ser processados com grande velocidade e qualidade. Instrumentos de monitoramento se multiplicam - vão de satélites a sensores no solo, plantas e animais -, embora ainda exista grande fragmentação metodológica, o que resulta em uma profusão de dados não-comparáveis e grande desequilíbrio entre os parâmetros usados em países com ecossistemas temperados em contraposição às regiões tropicais.

A migração de incertezas biológicas, inerentes à biodiversidade, para o mundo da gestão de ativos biológicos e de riscos associados, é essencial para que o capital natural se transforme em uma classe de ativos. O mapeamento de riscos, o desenvolvimento de metodologias de caracterização, mensuração, valoração e instrumentos de mercado aos poucos aparecem.

Finalmente, é imperioso reconhecer que o valor da biodiversidade vai além de aspectos utilitários ou tangíveis. Há razões éticas, culturais, emocionais e espirituais para conservá-la pelo seu valor intrínseco. A natureza é infraestrutura vital para o bem estar da humanidade e seu reconhecimento como uma classe de ativos tem efeitos diretos na contenção da sua degradação.

4 QUALIDADE AMBIENTAL

Foto: Gilberto Soares/MMA



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

GESTÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL

Júlia Alves Menezes¹; Mariana Gutierrez Arteiro da Paz²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

²Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil (MCTI) - Associada em Impacto, Vulnerabilidade e Adaptação pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP)

Sumário Executivo

A qualidade ambiental evoluiu de um conceito técnico para um componente central da justiça socioambiental. O entendimento contemporâneo incorpora dimensões éticas, sociais e territoriais, reconhecendo que os impactos ambientais não são distribuídos de forma equitativa. A justiça ambiental no Brasil tem sido impulsionada por movimentos sociais e evidências científicas que conectam degradação ambiental à exclusão social.

As principais forças motrizes da degradação ambiental são sistêmicas e interdependentes.

Urbanização desordenada, padrões insustentáveis de produção e consumo, expansão agropecuária e mudança climática atuam de forma integrada, intensificando pressões sobre os sistemas de ar, água e solo.

A qualidade do ar no Brasil representa um risco crítico à saúde pública e à equidade ambiental. A poluição atmosférica é responsável por cerca de 51 mil mortes prematuras anuais, com impactos econômicos e sociais significativos. A rede de monitoramento é insuficiente e desigual, comprometendo a vigilância e a formulação de políticas.

A qualidade da água é comprometida por múltiplas fontes de poluição e desigualdades territoriais.

O lançamento de esgotos sem tratamento, a carga difusa da agricultura, a poluição industrial e limitações na gestão de resíduos sólidos, se relacionam com a presença de agrotóxicos e microplásticos em águas de consumo humano, com riscos à saúde e aos ecossistemas. Estudos recentes indicam a presença de resíduos de até 27 tipos de agrotóxicos em águas de consumo humano,

incluindo compostos como atrazina, 2,4-D e glifosato — alguns deles reconhecidos por seus efeitos tóxicos e disruptores endócrinos (Aranha et al., 2019). Estima-se, ainda, que mais de 2,3 milhões de toneladas de resíduos plásticos sejam lançadas nos oceanos brasileiros a cada ano, com origens majoritariamente associadas às bacias hidrográficas do Amazonas, São Francisco, Doce e Baía de Guanabara (Damasio, 2022).

A degradação dos solos compromete a resiliência ecológica e a sustentabilidade produtiva.

A expansão agropecuária, o uso intensivo de agrotóxicos e a destinação inadequada de resíduos sólidos afetam a funcionalidade dos solos. A perda de cobertura vegetal e o desmatamento, especialmente no Cerrado, agravam os passivos ambientais. O Cerrado apresentou um aumento expressivo do desmatamento nos últimos anos, especialmente em 2023, enquanto a região do Matopiba (acrônimo para Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) responde pelos maiores índices de desmatamento - 75% da área desmatada no Cerrado em 2024 (MapBiomass, 2025a).

A governança ambiental brasileira apresenta avanços normativos, mas enfrenta retrocessos institucionais.

Embora políticas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal e a Política Nacional de Qualidade do Ar representem marcos importantes, sua implementação é desigual e vulnerável a pressões políticas. A fragmentação institucional e a baixa capacidade subnacional limitam a efetividade das ações.

Inovações em governança e participação social oferecem caminhos promissores.

Experiências como o MapBiomas Alerta, o Observando os Rios e programas de Pagamento por Serviços Ambientais demonstram o potencial da ciência cidadã, da tecnologia e da articulação multissetorial para fortalecer a gestão ambiental.

A integração entre políticas ambientais e setoriais ainda é frágil e contraditória.

Apesar de discursos favoráveis à transversalidade, persistem silos burocráticos e conflitos entre metas ambientais e decisões econômicas. A ausência de mecanismos financeiros estáveis e de coordenação interministerial limita a implementação de políticas integradas.

Três eixos estratégicos são fundamentais para o avanço da política ambiental no Brasil.

Fortalecer a capacidade subnacional com recursos e tecnologias; Institucionalizar a intersetorialidade com mecanismos vinculantes; Consolidar uma cultura política baseada em transparência, cooperação e justiça socioambiental.

A qualidade ambiental no Brasil é um reflexo das desigualdades estruturais e intensificação das pressões antrópicas.

Apesar de avanços institucionais e normativos desde o GEO Brasil 2002, o país enfrenta desafios persistentes relacionados à degradação ambiental, poluição e vulnerabilidade climática. A tripla crise planetária — mudanças climáticas, perda de biodiversidade e poluição — afeta de forma desproporcional populações vulneráveis, exigindo respostas integradas e justas.

Qualidade Ambiental: da Regulação Técnica à Justiça Ambiental

A qualidade ambiental, dimensão intrínseca ao bem-estar humano e à saúde dos ecossistemas, tem sido um tema central nas discussões sobre sustentabilidade. No cenário contemporâneo, marcado pela intensificação das pressões antrópicas e pela emergência da tríplice crise planetária — mudança do clima, perda de biodiversidade e poluição —, a urgência em compreender e aprimorar a qualidade ambiental torna-se ainda mais premente (UN Environment, 2019; WHO, 2020). Essas crises, interconectadas, comprometem a integridade dos sistemas naturais e aprofundam desigualdades territoriais, econômicas e sanitárias, evidenciando a complexidade do conceito (UN Environment, 2019; WHO, 2020).

Nos anos 1970, a qualidade ambiental era abordada sob um paradigma tecnocrático e compartimentado. Com a institucionalização das políticas ambientais, impulsionadas por eventos como a Conferência de Estocolmo (1972) e pela crescente atenção aos desastres industriais, sua avaliação baseava-se em parâmetros biofísicos — como concentração de poluentes atmosféricos ou níveis de oxigênio dissolvido na água —, com foco na mitigação de impactos localizados em recursos naturais específicos - ar, água e solo. A preocupação central era o controle da poluição em níveis adequados, limitado à regulação por normas técnicas, muitas vezes ignorando dimensões sociais e territoriais dos impactos ambientais (Câmara, 2013).

Com a instituição da Política Nacional de Meio Ambiente na década de 1980, o Brasil pautou a qualidade ambiental como a ausência de degradação das características do meio ambiente - degradação esta, compreendida, como qualquer alteração adversa que comprometa os elementos físicos, químicos e biológicos que sustentam

a vida. A legislação também vincula a qualidade ambiental à poluição, definida como resultado de atividades humanas que, direta ou indiretamente, prejudicam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; dificultam o exercício de atividades sociais e econômicas; impactam negativamente a biota; comprometem a estética e a salubridade ambiental; ou introduzem matérias e energia em desacordo com os padrões estabelecidos. Esses aspectos, além de fundamentarem as definições legais de degradação, poluição e qualidade ambiental, orientam instrumentos de controle e monitoramento da qualidade ambiental adotados no país.

Ainda na década de 1980, sobretudo nos Estados Unidos, o conceito de qualidade ambiental começou a ser tensionado pelo surgimento do movimento por justiça ambiental. Um marco esteve nas denúncias de racismo ambiental e da distribuição desigual de riscos, com a localização sistemática de instalações perigosas — como aterros sanitários, indústrias poluentes e depósitos de resíduos tóxicos — em bairros de populações majoritariamente negras (Bullard, 1990; Porto et al., 2013). Esse movimento lançou as bases para uma crítica ética e política à distribuição desigual dos riscos e benefícios ambientais. Nos anos 1990, esse debate ganhou maior capilaridade internacional pela consolidação da agenda do desenvolvimento sustentável, especialmente após a Rio-92. Nesse período, o entendimento sobre qualidade ambiental se ampliou, acompanhado pelo aumento da pressão interna e externa de movimentos sociais e políticos em prol da conservação da natureza, incorporando dimensões como pobreza, desigualdade, urbanização e saúde pública (Câmara, 2013; Lawrence, 2014). A produção acadêmica, especialmente na ecologia política e na saúde ambiental, evidenciou os vínculos entre degradação ambiental e vulnerabilidade social, sobretudo em periferias urbanas, áreas rurais e territórios indígenas e tradicionais (Araújo & Belo, 2009; Pinheiro, 2024; Porto et al., 2013). O conceito passou de uma noção restrita de controle da poluição para um componente estruturante da saúde coletiva, justiça ambiental e sustentabilidade (World Health Organization, 2020).

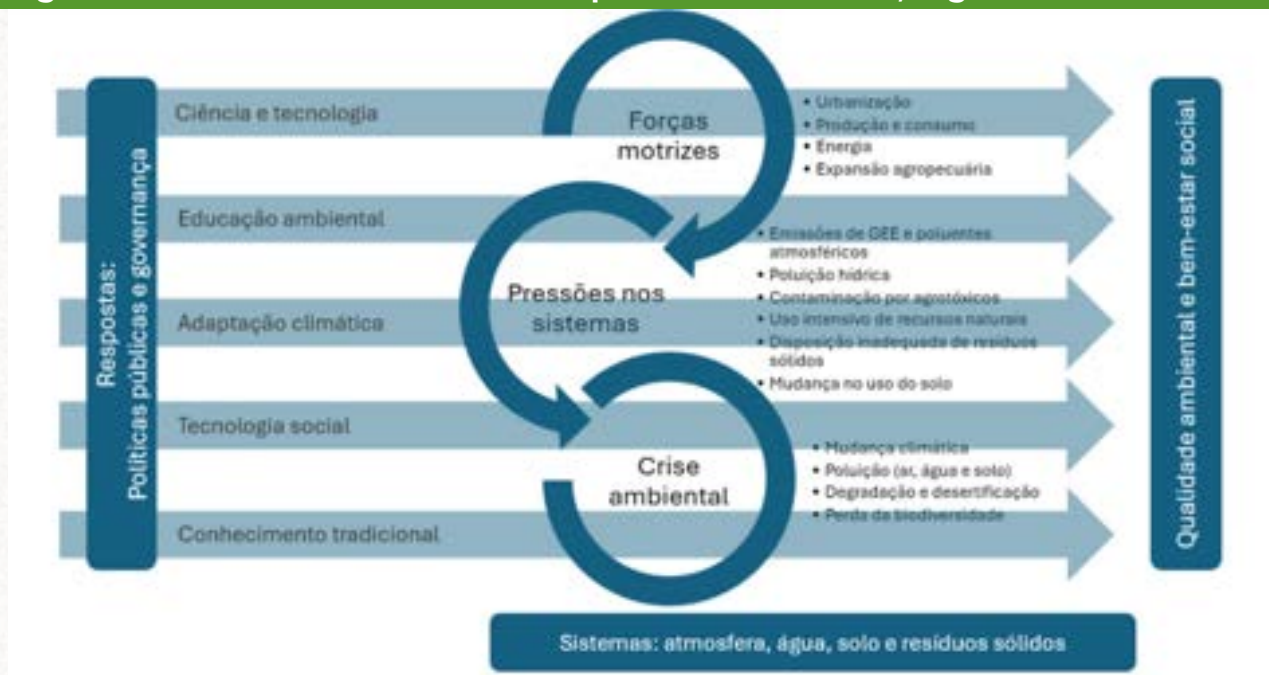
No Brasil, o debate sobre justiça ambiental consolidou-se ao longo dos anos 2000, com articulação entre movimentos sociais, organizações da sociedade civil e produção científica (Acselrad, 2004; Acselrad et al., 2008). Este conceito evoluiu para uma abordagem mais ampla ao articular a questão ambiental com a defesa dos direitos humanos universais, incorporando formas de discriminação para além da racial, como classe social, etnia e gênero (Brulle & Pellow, 2006; Sarokin & Schulkin, 1994; Verona & Troppmair, 2004). Essa abordagem conectava explicitamente a degradação ambiental às desigualdades sociais, exigindo o reconhecimento dos afetados pela poluição e degradação, e dos beneficiários de políticas e recursos ambientais (Acselrad et al., 2008; Agyeman et al., 2012). Revelou-se que grupos sociais vulnerabilizados — como populações pretas e pardas, indígenas, tradicionais e periferias urbanas — frequentemente experimentam riscos ambientais maiores e participam de maneira limitada das decisões que afetam diretamente suas condições de vida (Agyeman et al., 2012; Porto et al., 2013). Essa mudança de paradigma incorporou dimensões éticas essenciais à qualidade ambiental: equidade distributiva (quem arca com os custos ambientais), equidade processual (quem participa das decisões), além do acesso justo aos benefícios ambientais (Bullard, 1990; Mitchell, 2019).

O Mapa de Conflitos envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde evidencia essas iniquidades: as principais atividades geradoras de injustiça no Brasil — agronegócio, mineração, hidrelétricas e indústrias — estiveram associadas a mudanças no uso do solo, poluição e desmatamento, impactando majoritariamente populações rurais e tradicionais, sobretudo povos indígenas e agricultores familiares (Porto et al., 2013). Os danos mais recorrentes incluem a piora da qualidade de vida, marcada por violência, insegurança alimentar e doenças crônicas e respiratórias relacionadas à contaminação por agrotóxicos e resíduos industriais. Em grande parte dos conflitos, a atuação — ou omissão — do poder público aparece como fator determinante, seja pela fragilidade dos licenciamentos, seja pela falta de defesa efetiva dos interesses coletivos das populações atingidas.

Mais recentemente, a qualidade ambiental tem sido compreendida como o estado em que os sistemas ecológicos sustentam a saúde humana, promovem a equidade socioespacial e reforçam a resiliência frente às mudanças climáticas, garantindo voz e direitos aos grupos historicamente marginalizados (Ekins & Gupta, 2019; Verona & Troppmair, 2004; WHO, 2020). Pautas internacionais — Acordo de Paris (2015) e Agenda 2030 — alinham a qualidade ambiental a uma transição sistêmica voltada à transformação dos padrões de produção, consumo e governança, e incorporam à noção de risco, seus determinantes sociais, econômicos e institucionais. Relatórios como o GEO-6 (UN Environment, 2019) e o Relatório de Qualidade do Meio Ambiente (IBAMA, 2022) expressam essa ampliação temática ao discutir temas emergentes como microplásticos, poluentes orgânicos persistentes, resíduos farmacêuticos e poluição sonora, que afetam de maneira difusa a água, ar e solo. Tais abordagens refletem o reconhecimento da interdependência entre ambiente, saúde, economia e sociedade, e da necessidade de abordagens sistêmicas para sua garantia, o que enseja compreender as causas estruturais, dinâmicas territoriais e efeitos cumulativos da ação humana sobre os sistemas naturais.

É precisamente na investigação dessas interdependências e causas estruturais que se insere a análise deste capítulo, que tem na estrutura conceitual DPSIR — *Driver Forces, Pressure, State, Impacts and Responses*, a sigla em inglês — a base analítica para examinar a qualidade ambiental no Brasil (Figura 4.1). A análise foi conduzida em três etapas: i) reflexão sobre as principais forças motrizes e pressões, como o crescimento populacional e a urbanização, a produção e os padrões de consumo, o modelo de produção agropecuária e a mudança climática e que afetam os sistemas ambientais: ar, água e solo; ii) avaliação das condições e os impactos ambientais de cada sistema; e iii) análise das respostas institucionais, normativas e sociais, analisando seus limites, avanços e possibilidades de aprimoramento. Os determinantes, pressões e impactos setoriais serão detalhados nos demais capítulos.

Figura 4.1 - Framework da análise de qualidade ambiental, segundo a DPSIR



Fonte: elaborado pelas autoras.

Forças Motrizes e Pressões por Trás das Mudanças

As dinâmicas apresentadas nesta seção demonstram como os vetores estruturais de transformação ambiental no Brasil —

urbanização desigual, padrões insustentáveis de produção e consumo, e expansão agropecuária — contribuem de forma integrada para a intensificação da chamada tripla crise planetária. As inter-relações entre esses vetores evidenciam a complexidade de seus desdobramentos sobre a qualidade ambiental e sua gestão (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 - Inter-relações entre as forças motrizes e as principais pressões ambientais

F o r ç a M o t r i z	Pressões						
		Emissões de GEE e Poluentes Atmosféricos	Poliuição Hídrica	Contaminação por Agrotóxicos	Uso Intensivo de Recursos Naturais	Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos	Mudança no Uso do Solo
	Urbanização	Alta, por transporte, energia e indústria	Alta, por esgoto sanitário e efluentes industriais	---	Alta demanda por água, energia e solo para infraestrutura	Alta geração de RSU e logo de esgoto	Alta, por expansão da mancha urbana, impermeabilização e demanda por alimentos
	Produção, Consumo e Energia	Muito Alta, por termelétricas e processos industriais	Alta, por efluentes industriais com metais pesados e compostos químicos	---	Alta demanda por água para resfriamento e matérias-primas	Alta geração de resíduos industriais e perigosos	Média, para mineração e instalação de infraestrutura

Quadro 4.1 - Inter-relações entre as forças motrizes e as principais pressões ambientais

F o r ç a	Pressões						
		Emissões de GEE e Poluentes Atmosféricos	Poluição Hídrica	Contaminação por Agrotóxicos	Uso Intensivo de Recursos Naturais	Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos	Mudança no Uso do Solo
M o t r i z	Expansão Agropecuária	Alta, por desmatamento, queimadas e pecuária	Média a Alta, por efluentes da agroindústria e escoamento superficial, além de comprometer a qualidade da água em áreas urbanas	Muito alta, por aplicação e larga escala	Muito Alta demanda por água para irrigação e por solo	Média, por descarte de embalagens e resíduos orgânicos	Muito Alta, por conversão de ecossistemas nativos

Urbanização e Desigualdades Socioambientais

Apesar de o Brasil ter registrado, entre 2010 e 2022, sua menor taxa de crescimento populacional desde 1872 — apenas 0,52% ao ano — o processo de urbanização continua avançando. Mais de 87% da população brasileira vive atualmente em áreas urbanas (IBGE, 2022), e a expansão da mancha urbana triplicou nos últimos 38 anos (MapBiomias, 2023b). Essa expansão, em grande parte desordenada, acarreta o aumento na demanda por abastecimento, saneamento e infraestrutura urbana, além de provocar impactos sobre o ciclo hidrológico e os sistemas hídricos locais e regionais (Jacobi & Giatti, 2015). A ampliação da demanda por água potável sobrecarrega sistemas de captação, especialmente em regiões metropolitanas como São Paulo e Rio de Janeiro (ANA, 2023). A impermeabilização do solo reduz a recarga de aquíferos e aumenta a ocorrência de enchentes. O déficit em saneamento agrava o cenário: apenas metade do volume de esgoto coletado no Brasil passa por tratamento (ANA, 2023), sendo o restante lançado diretamente em corpos d'água, comprometendo a qualidade da água e a resiliência dos ecossistemas aquáticos (Jacobi & Giatti, 2015).

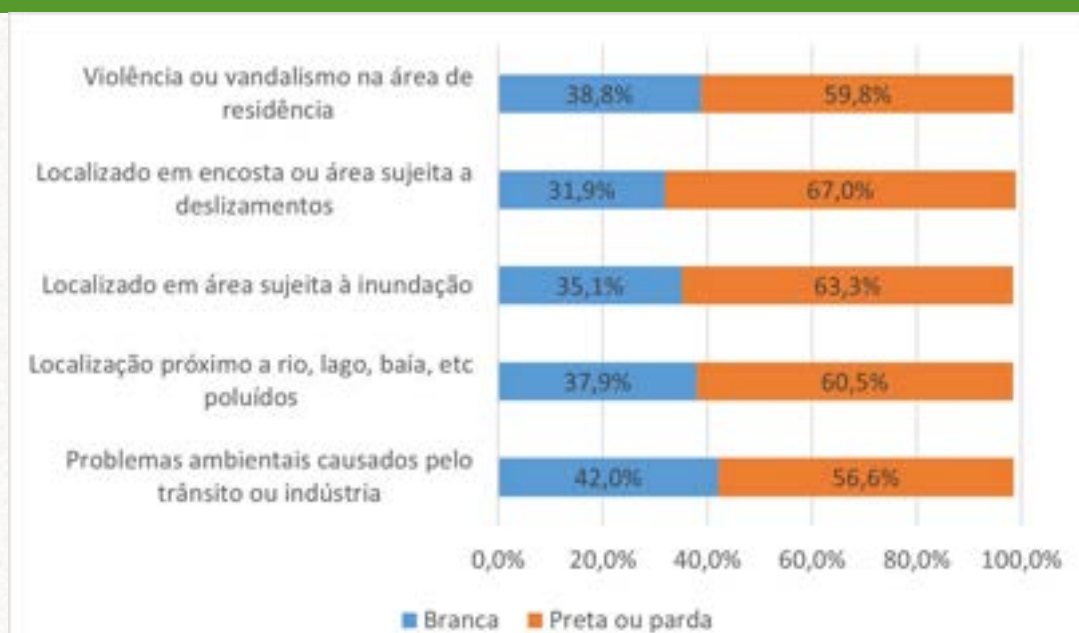
Além da pressão sobre os sistemas ambientais, o processo de urbanização no Brasil no século XX foi marcado pela desigualdade social em decorrência da concentração de terra, renda e poder nas cidades (Maricato, 2003). O fenômeno da metropolização, a partir dos anos de 1980,

destaca-se pela expansão urbana e pela dinâmica da concentração (IPEA, 2018), evidenciada pelo crescimento acelerado das periferias em relação às áreas e municípios centrais. Esse padrão reforça a segregação ambiental e inaugura o registro de áreas extensas caracterizadas por pobreza, alta densidade e exclusão social (IPEA, 2018; Maricato, 2003).

Nesse contexto, as áreas de menor interesse do mercado, como encostas, várzeas e regiões poluídas, foram ocupadas por populações de baixa renda, agravando tanto a insustentabilidade ambiental quanto a desigualdade social (Maricato, 2024). A precarização do acesso à cidade e os impactos da poluição tornam-se processos interdependentes, que se retroalimentam. Essa dinâmica contribui para o aumento da desigualdade social, uma vez que a segregação ambiental e urbana está diretamente relacionada ao acesso à cidade, como aos serviços e infraestruturas urbanos (IPEA, 2018; Maricato, 2003).

Ademais, a pobreza e a exclusão de direitos básicos no Brasil também é racializada. O último censo do IBGE evidencia a desigualdade social por cor ou raça, que muito se associa com o acesso à cidade, como à moradia, serviços de saneamento e empregos. As populações pretas e pardas são as mais afetadas por violência, estão entre as famílias com menor renda e estão mais expostas a situações de risco, como a problemas ambientais, em localizações próximas a cursos d'água poluídos e áreas sujeitas à inundação e deslizamento (Figura 4.2, IBGE, s. d.).

Figura 4.2 - Proporção de pessoas de acordo com a avaliação de situação de risco (%)



Fonte: IBGE, s.d.

O processo de urbanização também afeta as emissões atmosféricas, pois a expansão em direção a áreas informais, somada à precariedade do transporte público, contribuiu para o crescimento da frota de automóveis em 14% entre 2018 e 2023 (CNM, 2023). Isso repercutiu no aumento da demanda por gasolina automotiva no setor de transportes de uma forma geral (EPE, 2024) e, consequentemente, em maior emissão de poluentes atmosféricos, especialmente nas periferias das grandes cidades (IBGE, 2022; UN Environment, 2019). As emissões atmosféricas no Brasil decorrem principalmente de fontes móveis (veículos), fixas (indústrias e termelétricas) e difusas (queimadas). Em áreas urbanas, os veículos são responsáveis por grande parte dos óxidos de nitrogênio, material particulado fino (MP2.5) e compostos orgânicos voláteis.

Produção, Consumo e Energia

A indústria representa cerca de 10% da demanda hídrica do Brasil, com maior concentração no Sudeste (ANA, 2023). Setores como alimentos, químicos e de transformação destacam-se pelo elevado consumo hídrico e energético. O setor industrial consome aproximadamente 30% da energia final, com forte dependência de eletricidade, gás natural e derivados de petróleo (EPE, 2024). Parte dessa energia é gerada por hidrelétricas, implicando uso da água.

A expansão industrial em bacias críticas — como a do rio Tietê — amplia os riscos de sobrecarga hídrica e de conflitos entre usos concorrentes (ANA, 2020), ainda que, entre 2018 e 2020, tenha sido observada a redução da intensidade do uso da água por indústrias extrativistas, de transformação e construção no país (IBGE, 2023). Casos como os desastres de Mariana e Brumadinho, ocasionaram impactos ambientais e socioeconômicos na UGRHI Doce, em 2015, e na UGRHI São Francisco, em 2019, respectivamente. Tais desastres reforçam a importância de mecanismos legais que ofereçam a segurança para populações e ambientes próximos de grandes empreendimentos (ANA, 2020).

Outro fator relevante é a produção e o consumo energético no país. A matriz energética brasileira segue dependente de fontes não renováveis. Em 2023, 50,9% da energia ofertada teve origem em fontes fósseis, com 35,1% vindos de petróleo e derivados. Quanto às fontes renováveis, 12,1% provêm de fontes hidráulicas (EPE, 2024), sendo que o maior uso não consuntivo de água no Brasil é para a geração de energia hidrelétrica (ANA, 2024). Apesar do crescimento das fontes renováveis, a oferta de petróleo aumentou 2,15% em relação ao ano anterior (EPE, 2024). Episódios como a crise hídrica de 2021 aumentou a participação termelétrica fóssil no referido ano, porém, ainda que esse episódio tenha se destacado perante os

demais, desde os anos de 2010 observa-se um aumento da utilização desse tipo de energia. Uma das consequências dessa ampliação é o aumento de 200% da geração fóssil entre os anos 2000 e 2021 e elevação de 113% nas emissões de gases de efeito estufa do setor elétrico, no mesmo período (IEMA, 2022).

Na área de resíduos sólidos, os desafios são persistentes. Há baixa cobertura da coleta seletiva e fragmentação dos sistemas de logística reversa (Figura 4.3). Os padrões de consumo insustentáveis, impulsionados pela urbanização e pelo crescimento econômico, têm gerado um aumento contínuo na produção de resíduos sólidos urbanos, desafiando os sistemas de gestão

e disposição final (UN Environment, 2019). A destinação inadequada ainda é uma realidade para quase metade dos municípios brasileiros. Em termos quantitativos, o volume absoluto de resíduos dispostos em aterros sanitários no ano de 2022 foi de 43,8 milhões de toneladas, enquanto quase 28 milhões de toneladas foram descartadas de forma inadequada (ABREMA, 2023). Essa prática pode causar a infiltração de contaminantes no solo, atingindo aquíferos e comprometendo a qualidade das águas subterrâneas. Além disso, a contaminação do escoamento superficial pode impactar negativamente os corpos d'água superficiais (ANA, 2024).

Figura 4.3 - Panorama dos resíduos sólidos urbanos e da logística reversa no Brasil.



Fonte: elaborado pelas autoras. (Brasil & MMA, 2024; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental & Ministério das Cidades, 2023; SINIR, 2019).

Expansão Agropecuária e Pressões sobre os Sistemas Ambientais

A expansão da fronteira agropecuária, bem como o crescimento da produção, está entre as principais forças motrizes de transformação territorial e qualidade do solo no Brasil. A área ocupada por atividade agropecuária no Brasil cresceu 50% entre os anos de 1985 e 2022 e representa atualmente um terço do território nacional (MapBiomass, 2023b). A irrigação é o principal uso consuntivo de água no Brasil,

representando 50% da água retirada no país (ANA, 2024).

A conversão de vegetação nativa em pastagens e monoculturas reduz a infiltração de água no solo e compromete os aquíferos. A expansão agrícola em novas fronteiras, como a Amazônia e a região do MATOPIBA (acrônimo para Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia)¹, também tem contribuído para o aumento da pressão sobre o solo, elevando o uso de agrotóxicos e modificando o uso da terra (IBGE, 2017).

¹O Capítulo "Agricultura" detalha mais profundamente a questão das fronteiras agrícolas, bem como outros determinantes e pressões aqui brevemente apresentados.

É importante destacar que o Brasil é o país que mais utiliza agrotóxicos no mundo, tanto em números absolutos quanto em aplicação por área cultivada. Em 2021, o Brasil aplicou 719,5 mil toneladas, volume quase 60% superior ao aplicado pelos Estados Unidos, segundo país no ranking, com 457 mil toneladas (FAO, 2023). Para além do valor absoluto, os três países com maior aplicação por hectare foram o Brasil (10,9kg/ha), a Argentina (5,6kg/ha) e a Indonésia (5,3kg/ha), sendo que o uso brasileiro foi quase o dobro do registrado na Argentina, e dados monitorados nas últimas décadas mostram uma tendência de aumento no uso (FAO, 2023). O uso intensivo de fertilizantes e defensivos químicos tem elevado os riscos de eutrofização, com proliferação de algas e redução do oxigênio dissolvido na água (ANA, 2020). Além disso, entre 2014 e 2017, resíduos de 27 agrotóxicos foram detectados na água para consumo humano no país em níveis acima dos recomendados pela Organização Mundial de Saúde (Aranha et al., 2019).

Outras práticas de manejo também são relevantes para a qualidade ambiental. As queimadas, por exemplo, se não controladas podem agravar as emissões atmosféricas, aumentar o risco de incêndios florestais e se configurarem fonte sazonal de poluentes atmosféricos. Apesar das queimadas estarem relacionadas a vários fatores, alguns estudos vêm relacionando a conversão do uso da terra promovida pela agricultura e pecuária com a intensidade do fogo em regiões como Amazônia e Cerrado (Alencar et al., 2023; Santos et al., 2024). Em 2024 houve um aumento de hectares queimados em 79% em relação a 2023, com cerca de 60% concentrados na Amazônia e cerca de 30% no Cerrado (MapBiomas, 2025b). Esses eventos emitem grandes quantidades de CO₂, MP2.5 e outros poluentes, com efeitos sobre a qualidade do ar, a saúde humana e o clima.

Diagnóstico do estado e dos impactos ambientais

Qualidade do Ar

A qualidade do ar no Brasil reflete diretamente as pressões relacionadas à expansão urbana desordenada, ao crescimento da frota de veículos movidos a combustíveis fósseis, à concentração de atividades industriais e à recorrência de queimadas como prática agropecuária. Esses fatores contribuem para a emissão de poluentes atmosféricos em escalas locais, regionais e até nacionais, com implicações ambientais e socioeconômicas significativas.

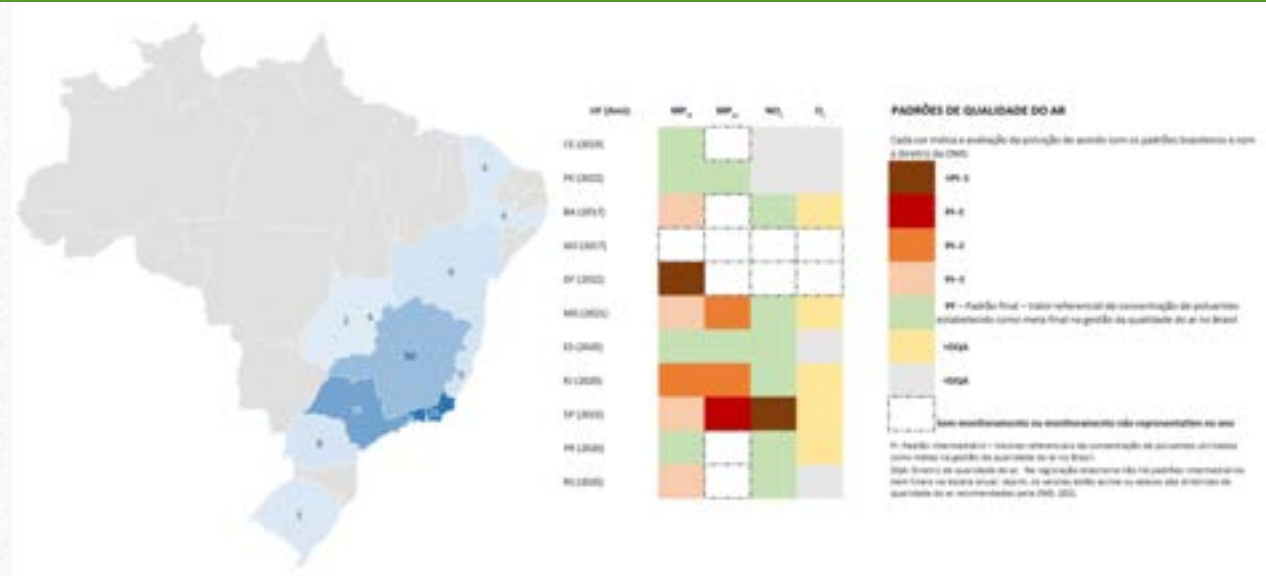
Atualmente, a poluição atmosférica é reconhecida como o risco ambiental mais letal à saúde humana, associando-se ao agravamento de doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas, e ao aumento da mortalidade prematura (Behera et al., 2024; De Simoni et al., 2021; Requia, Amini, et al., 2021). Estima-se que aproximadamente 51 mil mortes por ano estejam associadas à exposição a poluentes atmosféricos, superando os óbitos por acidentes de trânsito (De Simoni et al., 2021; OPAS, 2018). Entre 2000 e 2015, mais de 13 mil internações por doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos foram associadas à exposição a poluentes provenientes de incêndios florestais no Brasil (Ye et al., 2021). As perdas econômicas devidas à mortalidade causada por partículas finas (MP_{2.5}) relacionadas a incêndios florestais no país totalizaram cerca de US\$ 81,08 bilhões entre 2000 e 2016, (cerca de 0,68% das perdas econômicas totais e de 0,14% do PIB), com magnitude influenciada pela estrutura setorial do PIB - maior participação da agricultura associada a frações atribuíveis mais elevadas (Wu et al., 2023).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 506/2024 estabelece os padrões nacionais para partículas em suspensão (PTS, MP₁₀ e MP_{2.5}), fumaça, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e chumbo. Dentre esses, o MP_{2.5} destaca-se como o mais prejudicial à saúde, por penetrar profundamente nos pulmões e atingir a corrente sanguínea, enquanto o ozônio troposférico agrava doenças respiratórias e reduz a função pulmonar, sobretudo em crianças, idosos e populações expostas à poluição crônica (Behera et al., 2024; Requia, Amini, et al., 2021).

Entretanto, a rede brasileira de monitoramento da qualidade do ar, que poderia auxiliar na identificação de áreas e poluentes críticos, segue insuficiente, desigual e tecnicamente defasada (Figura 4.4). Faltam séries históricas contínuas, a

diversidade de poluentes monitorados é baixa e persistem falhas de cobertura em áreas com maior potencial emissor (Vormittag et al., 2021). A medição de MP_{2.5} — poluente de maior relevância sanitária — é particularmente precária, inexistindo em diversos estados, o que compromete vigilância e prevenção. A maioria dos estados não cumpre integralmente os requisitos da Resolução CONAMA nº 506/2024² e poucas capitais monitoram adequadamente MP_{2.5} e ozônio; predominam MP₁₀ e monóxido de carbono, insuficientes para os desafios sanitários atuais (De Simoni et al., 2021). Diante desse quadro, estima-se ser necessário entre 46 a 138 estações automáticas, adicionalmente às estações atualmente em operação, para garantir uma rede de monitoramento mínima mais representativa, interoperável e útil à proteção da saúde pública (IEMA, 2024).

Figura 4.4 - Estado da poluição do ar nas capitais brasileiras



Fonte: adaptado de IEMA, s. d.

Essa lacuna estrutural no monitoramento não é apenas um problema técnico, mas também um fator que aprofunda desigualdades socioambientais. Os grupos vulnerabilizados — como moradores de periferias urbanas próximas a corredores viários e zonas industriais, comunidades expostas a queimadas e trabalhadores do setor informal — enfrentam exposição crônica a poluentes, somada à ausência de políticas públicas e saúde ambiental. Mais

de 10 milhões de crianças brasileiras frequentam escolas expostas a níveis elevados de poluição, localizadas próximas a rodovias e áreas de queimada (Requia, Roig, et al., 2021). No bioma Amazônico, comunidades rurais, indígenas e ribeirinhas convivem por até seis meses com concentrações inseguras de poluentes, especialmente durante a estação seca (Oliveira et al., 2023).

²Resolução Conama 506/2024 substitui a anterior, 491/2018, e estabelece os padrões nacionais para cada poluente de forma alinhada aos valores da OMS de 2021. Os atuais padrões estão sendo implementados em sequência (PI-1, PI-2 e PI-3) a partir de 2024 a 2044, cada um mais restritivo que o anterior, até alcançar o padrão final (PF), com data ainda indefinida.

Do ponto de vista ecossistêmico, os impactos da poluição atmosférica não se limitam à saúde humana. A perda de serviços ambientais — como a polinização, a regulação climática e a integridade de solos — já compromete setores produtivos importantes, como a agricultura e a pecuária. Estudo econométrico global, incluindo o Brasil, identificou a poluição do ar como um dos preditores mais relevantes da produtividade agrícola mundial - um aumento de 1% no MP_{2-5} esteve associado a uma redução de 0,104% na produtividade agrícola, enquanto 1% a mais de O_3 implicou queda de 0,207% (Dong & Wang, 2023). No Brasil, o ozônio troposférico foi relacionado à perda de produtividade da soja entre 15% e 62% para concentrações entre 65 e 100 ppb, respectivamente (Rodrigues & Martins, 2001). Os impactos se entrelaçam com as agendas climática, alimentar e hídrica, ao intensificarem os efeitos de ondas de calor, estiagens e insegurança alimentar, especialmente em áreas urbanas mal arborizadas e rurais sob pressão ambiental (Buralli & Connerton, 2025; De Simoni et al., 2021; IBAMA, 2022).

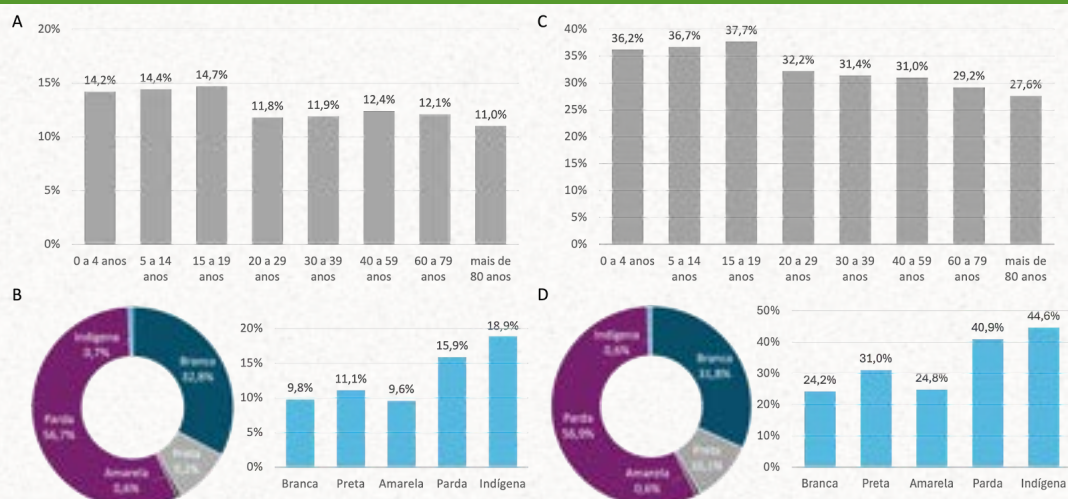
Qualidade da água

A degradação da qualidade da água no Brasil está diretamente relacionada a múltiplas pressões antrópicas, que se originam tanto nas dinâmicas territoriais continentais quanto nas zonas costeiras, incluindo o lançamento de esgotos

domésticos sem tratamento, carga difusa de nutrientes e agrotóxicos da agricultura, poluição industrial e disposição inadequada de resíduos sólidos. Adicionalmente, a ocupação irregular das margens dos corpos hídricos e as alterações no regime hidrológico, acentuadas pelas mudanças do clima, têm comprometido a integridade dos sistemas aquáticos, impactando diretamente a saúde humana, segurança hídrica e biodiversidade.

As desigualdades no acesso à água de boa qualidade são marcantes. Populações ribeirinhas, comunidades indígenas, áreas periurbanas e zonas rurais enfrentam maiores riscos de exposição à água contaminada, com limitada atuação dos sistemas de vigilância sanitária (Abreu, 2024; Fortes et al., 2019). A universalização do saneamento básico permanece um desafio atrelado a desigualdades territoriais, sociais e raciais. Cerca de 87% da população rural enfrenta pelo menos uma forma de saneamento inadequada, em terras indígenas são 69% (I. Ferreira, 2024; Moreira, 2024) e entre os quilombolas, 94,6% (Loschi, 2025). Pessoas pretas, pardas e indígenas têm menores taxas de cobertura dos serviços de saneamento em comparação à população branca e amarela, e as crianças de 0 a 4 anos apresentam menor acesso à rede de esgoto e maior proporção de domicílios sem canalização de água (I. Ferreira, 2024)) (Figura 4.5).

Figura 4.5 - Perfil social da população em estado de privação dos serviços de saneamento no Brasil em 2022.



(A) Frequência relativa da população com privação de coleta de esgoto e (C) com privação de acesso à rede geral de água, por faixa etária. (B) Distribuição da população com privação de coleta de esgoto e (D) com privação de acesso à rede geral de água por raça autodeclarada.

Fonte: adaptado de Instituto Trata Brasil et al., 2023.

A exposição contínua à água contaminada agrava a incidência de doenças de veiculação hídrica, como hepatites virais, gastroenterites, esquistossomose e leptospirose (Fortes et al., 2019; Wolf et al., 2023). Doenças infecciosas e parasitárias estão associadas a esgoto e lixo no entorno, maior proporção de pobreza e famílias chefiadas por mulheres, enquanto por outro lado, a cobertura de esgotamento adequado atua como fator de proteção, corroborando que déficits de saneamento ambiental e consequente maior vulnerabilidade no acesso à água segura aumentam o risco sanitário (Souza et al., 2020).

Dados do Sisagua mostram que, em 2019, muitas localidades, especialmente municípios de pequeno porte nas regiões Norte e Nordeste, apresentaram amostras de água fora dos padrões de potabilidade (Araujo et al., 2022; Bárta et al., 2021). Cerca de 80% dos municípios realizaram ações de vigilância, com menor cobertura nas regiões Norte e Nordeste. Observa-se que o déficit técnico-financeiro – são estimados R\$428,7 bilhões em investimentos para atingir a universalização dos serviços – e o institucional – ausência de convergência entre as políticas de saneamento, meio ambiente, água, resíduos e clima – impede que a maioria dos municípios promova isoladamente uma gestão eficiente, sobretudo em regiões de baixa densidade populacional (Pompermayer & Sobrinho, 2023; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental & Ministério das Cidades, 2023).

Sobre o monitoramento da qualidade ambiental da água, a média nacional foi classificada como "boa" no ciclo 2019-2022, para 69% dos corpos hídricos (IPEA, 2024). Porém, os valores discrepantes para as diversas bacias hidrográficas refletem situações de escassez localizadas: em contextos de baixa disponibilidade, vazões menores reduzem diluição e autodepuração, deteriorando a qualidade e reduzindo a oferta de água efetivamente utilizável. Além disso, a grande heterogeneidade espacial e temporal da disponibilidade de água doce se agrava em regiões densamente povoadas ou de baixa resiliência institucional. Para lagos, lagoas e reservatórios, houve melhora nos resultados entre os ciclos 2010-2016 e 2019-2022, mas uma piora nos indicadores

de rios e córregos e de água subterrânea no mesmo período (IPEA, 2024).

Regiões críticas quanto à segurança hídrica são os sistemas da Bacia do São Francisco, do Parnaíba, do Nordeste Setentrional e dos rios Piranhas-Açu e Paraguassu, com destaque para o semiárido brasileiro, onde os índices de armazenamento nos principais reservatórios têm se mantido em níveis historicamente baixos (IBAMA, 2022). A ausência de qualidade compromete a resiliência dos sistemas frente a eventos extremos, como secas prolongadas, além de aumentar os custos operacionais dos sistemas de abastecimento e gerar conflitos entre usuários. A situação é particularmente crítica em bacias hidrográficas fortemente urbanizadas ou com saneamento precário, como as dos rios São Francisco, Doce, Paraíba do Sul e Tietê, onde os índices de qualidade da água são consistentemente inferiores à média nacional (ANA, 2024). Esses dados reforçam os impactos cumulativos da urbanização, do saneamento precário, incluindo o fluxo de águas residuais doméstica e industrial não tratadas de forma segura, e da perda de cobertura vegetal sobre a qualidade dos corpos hídricos no país (SOS Mata Atlântica, 2025).

A ausência de dados sistematizados sobre micropoluentes, resíduos industriais persistentes e contaminantes emergentes — como resíduos de medicamentos e hormônios — limita o planejamento ambiental com base em risco, dificultando a adoção de respostas efetivas (Marcon, 2023). A crescente pressão associada ao uso intensivo de agrotóxicos, por exemplo, amplia a contaminação dos sistemas hídricos. Estudos recentes indicam a presença de resíduos de até 27 tipos de agrotóxicos em águas de consumo humano, incluindo compostos como atrazina, 2,4-D e glifosato — alguns deles reconhecidos por seus efeitos tóxicos e disruptores endócrinos (Aranha et al., 2019). O transporte desses contaminantes ocorre por escoamento superficial, lixiviação e drenagem, afetando tanto águas superficiais quanto subterrâneas, com riscos cumulativos para os ecossistemas aquáticos e a saúde pública.

A poluição dos rios por resíduos sólidos, especialmente plásticos, também se consolida como vetor relevante da

degradação da qualidade da água. O descarte inadequado de resíduos urbanos, aliado à deficiência na coleta e manejo, gera o acúmulo de materiais nos corpos d'água, que são transportados por bacias hidrográficas e acabam por atingir os sistemas costeiros e oceânicos. Estima-se que mais de 2,3 milhões de toneladas de resíduos plásticos sejam lançadas nos oceanos brasileiros a cada ano, com origens majoritariamente associadas às bacias hidrográficas do Amazonas, São Francisco, Doce e Baía de Guanabara (Damasio, 2022). Esse fluxo de poluentes — incluindo resíduos sólidos, microplásticos e contaminantes químicos — estabelece uma conexão direta entre a qualidade da água em rios, estuários e ambientes marinhos.

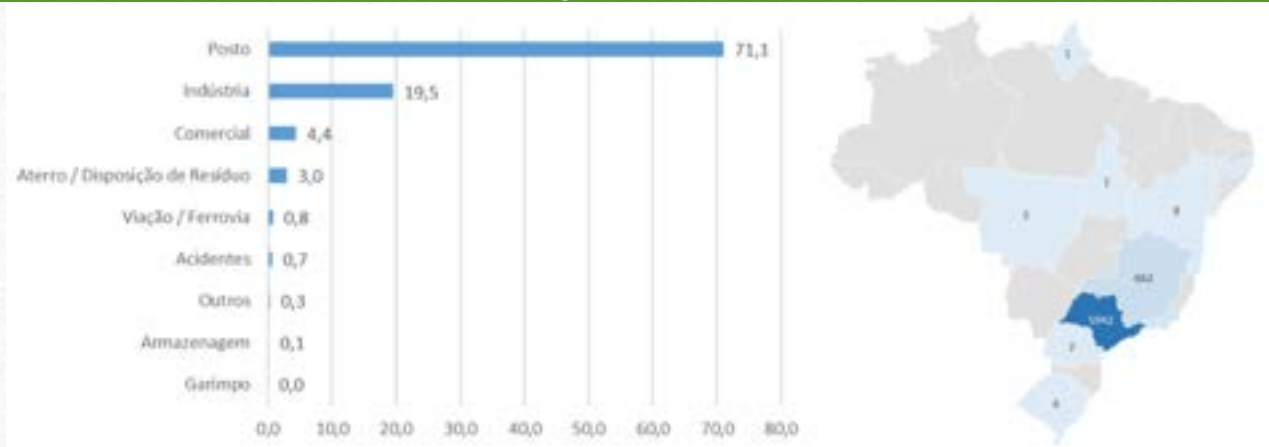
Nos sistemas costeiros, esses materiais resultam na degradação de habitats sensíveis, como manguezais, recifes de coral e pradarias marinhas, afetando a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e a segurança alimentar de populações costeiras e ribeirinhas (Joly et al., 2019; Tekman et al., 2022). Pesquisas identificaram concentrações elevadas de microplásticos no Rio Maracanã (RJ), com até 51.166 partículas/m³, principalmente advindos de fibras sintéticas de roupas, e no sistema amazônico, com até 8.178 partículas/kg nos sedimentos dos rios Negro, Solimões e Amazonas, com maiores concentrações próximas a áreas urbanas como Manaus (Drabinski et al., 2023; Gerolin et al., 2020). Além de afetar a qualidade ecológica dos ambientes, os microplásticos funcionam como vetores de contaminantes químicos e patógenos, com potencial de bioacumulação na fauna aquática e riscos indiretos à saúde humana.

Qualidade dos solos

Apesar dos avanços legais e institucionais, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos para a conservação do solo, tanto no que diz respeito à destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos quanto ao manejo das atividades agropecuárias. Estes desafios incluem o uso excessivo de insumos agrícolas poluentes, a contínua expansão da fronteira agropecuária e a adoção de práticas produtivas pouco sustentáveis, que comprometem a qualidade ambiental e a funcionalidade dos solos.

Conforme apresentado previamente, muitos municípios brasileiros ainda não atendem às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) na disposição de seus resíduos sólidos urbanos, o que contribui com a contaminação dos solos (ABREMA, 2023) (Figura 4.6). Apesar de indústrias e postos se destacarem na origem de áreas contaminadas no país, 3% de tais áreas estão relacionadas à disposição inadequada de resíduos (MMA, 2020) (Figura 4.6). Buscando alterar esse cenário, a PNRS estabeleceu condições para acesso a recursos federais, como a obrigatoriedade de elaboração de planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e a implantação de coleta seletiva. Um exemplo concreto dessa diretriz é o Programa Nacional Lixão Zero, com foco na eliminação dos lixões e na melhoria da qualidade ambiental urbana, integra a Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana e disponibiliza dados interativos sobre resíduos sólidos e logística reversa (MMA, 2019). Além disso, a ele foi integrado o Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas, com foco em ações que estimulem a investigação e remediação destas áreas para prover ganho de qualidade ambiental nas cidades (MMA, 2020).

Figura 4.6 - Origem da contaminação das áreas contaminadas no país e estimativas de áreas contaminadas por estado.

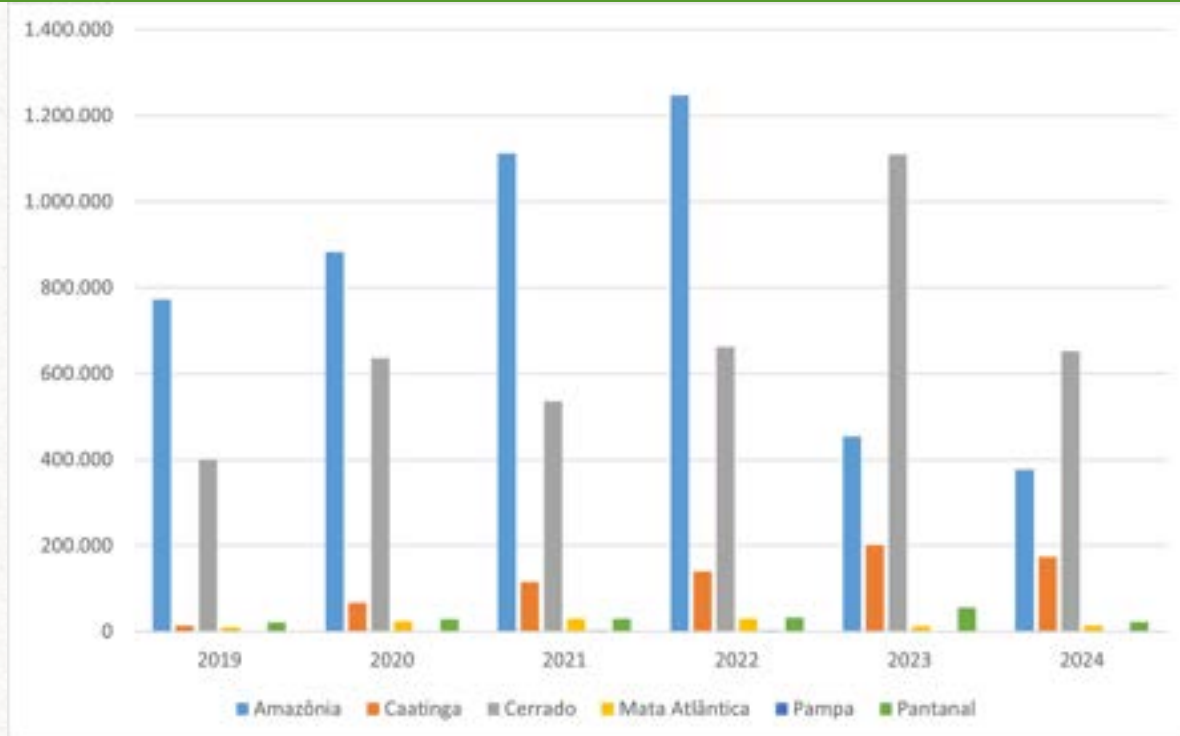


Fonte: MMA, 2020.

Paralelamente aos problemas com resíduos, o uso do solo, especialmente pela agropecuária, exerce forte pressão sobre a qualidade ambiental ao comprometer funções ecológicas essenciais do solo, como a retenção de carbono e a capacidade agrobiológica (Mello et al., 2020). A degradação do solo — resultante de processos como erosão hídrica, compactação, acidificação e salinização — afeta cerca de 33% das terras produtivas globais (FAO, 2021), sendo particularmente crítica em regiões tropicais como o Brasil, onde se intensifica com a expansão agropecuária, o desmatamento em novas fronteiras agrícolas e o regime de chuvas (García-Ruiz et al., 2015; Guerra & Jorge, 2014; Lal, 2009). Em 2010, cerca de 70% das pastagens brasileiras apresentavam algum nível de degradação, sendo 32% em estágio severo (LAPIG, 2020). Entre 2010 e 2018, cerca de 31,7 milhões de hectares deixaram de ser pastagens, dos quais a maior parte já estava degradada, indicando abandono de áreas pouco produtivas (LAPIG, 2020). Embora alguma recuperação parcial tenha havido, especialmente nos biomas Cerrado, Pampa e Pantanal, impulsionados por políticas

A conversão acelerada de áreas naturais no Brasil tem gerado impactos ambientais significativos, apesar de 64% do território ainda manter cobertura vegetal (MapBiomias, 2023a). A Amazônia, que havia reduzido o desmatamento² em 2012, voltou a registrar aumento a partir de 2019, embora tenha apresentado queda expressiva em 2023 e 2024 (Figura 4.7). Já o Cerrado apresentou um aumento expressivo nos últimos anos, especialmente em 2023, enquanto a região do Matopiba, apesar de concentrar os maiores fragmentos remanescentes, também responde pelos maiores índices de desmatamento - 75% da área desmatada no Cerrado em 2024 (MapBiomias, 2025a). Ainda que todos os biomas tenham registrado redução do desmatamento neste ano, o Cerrado continua como o mais afetado, evidenciando a vulnerabilidade estrutural de biomas com menor grau de proteção normativa e institucional (Figura 4.7).

²Plano setorial e de abrangência nacional, de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC, cuja revisão é denominada ABC+), dedicada ao desenvolvimento da agricultura com práticas de manejo que diminuam as emissões e aumentem a resiliência da agropecuária no Brasil.

Figura 4.7 - Área desmatada por bioma, em hectares, entre os anos de 2019 e 2024.

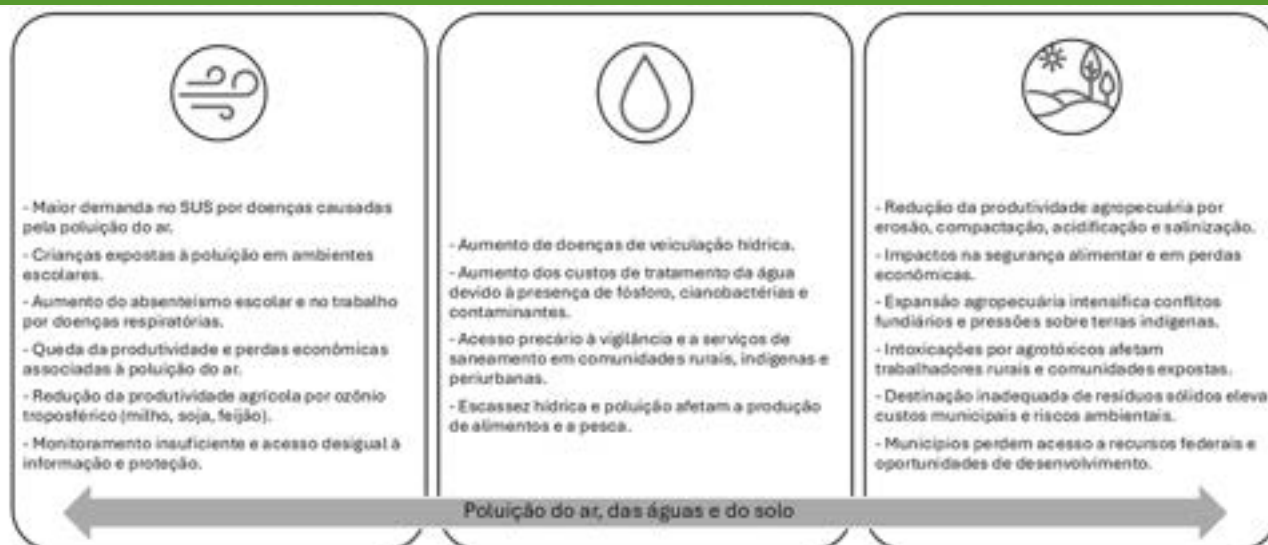
Fonte: MapBiomias, 2025.

As práticas agrícolas se relacionam, para além da poluição do solo e da água, com a saúde pública. Como mencionado previamente, o Brasil é atualmente o maior consumidor de agrotóxicos. Entre 2010 e 2024, 5% das intoxicações exógenas notificadas no Brasil registradas no Sistema de Agravo de Notificação (Sinan), foram causadas por agrotóxicos, sendo 69% associadas ao uso agrícola (BRASIL, 2025). Quanto à contaminação ambiental, o Sistema Nacional de Solos do Ministério da Saúde (Sissolo/MS) identificou, entre 2004 e 2020, 1.517 áreas com risco de exposição a agrotóxicos em zonas agrícolas ou de armazenamento. O SISAGUA registrou em 2014 que mais de 90% das amostras de água destinada ao consumo humano estavam dentro dos padrões legais, no entanto, ainda que apresentassem resíduos de agrotóxicos em níveis abaixo do limite permitido, considerar a existência destes resíduos é relevante para as ações de vigilância em saúde (ANA, 2019). No caso dos alimentos, o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos da Anvisa, ativo desde 2001 e regulamentado em 2023, apontou que 23% das amostras de origem vegetal analisadas em 2017-2018 estavam fora dos padrões — uma redução frente aos 36% em 2011 (ANVISA, 2017).

Respostas institucionais e iniciativas complementares de múltiplos atores

As inter-relações entre os condicionantes sistêmicos da transformação e os impactos sociais, ambientais e econômicos evidenciam a urgência de abordagens integradas e multiníveis para enfrentar as causas e mitigar os efeitos da tripla crise planetária (Figura 4.8). Nesse sentido, destacam-se instrumentos como a Agenda 2030, cuja implementação se dá em múltiplas escalas — do global ao local — e envolve diferentes setores da sociedade.

Figura 4.8 - Impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes da poluição ambiental.



Fonte: elaborado pelas autoras.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) expressam metas que, ao mesmo tempo, são influenciadas pelas causas e pressões que afetam a qualidade ambiental e, por meio de seus meios de implementação, podem contribuir para sua melhoria (Quadro 4.2, Figura Q4.2).

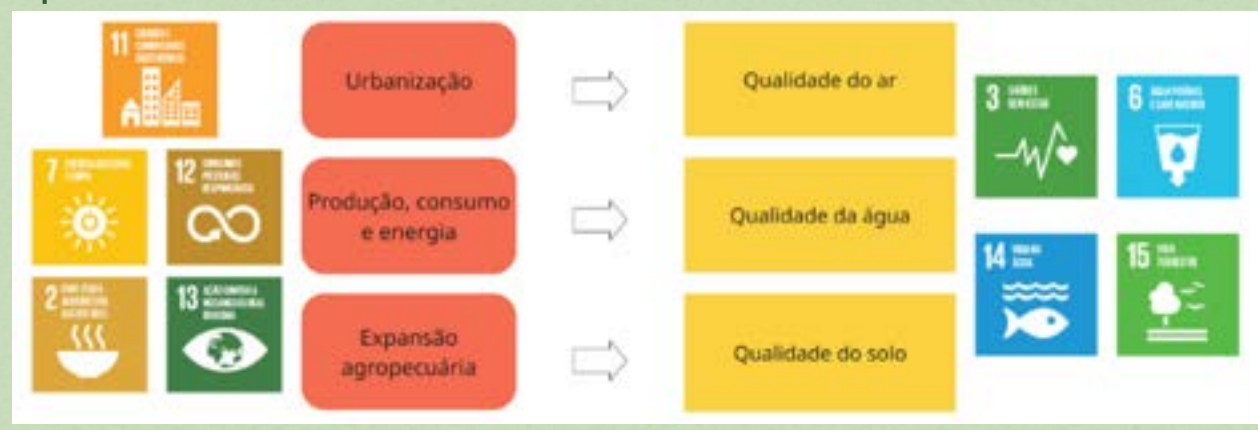
Alinhadas a essa perspectiva, as políticas públicas brasileiras reafirmaram seu compromisso com o desenvolvimento sustentável, compromisso este, reafirmado durante reunião do G20 em 2024 no Brasil (Brasil et al., 2024).

Quadro 4.2 - Agenda 2030 e qualidade do ar, água e solo

A poluição atmosférica está diretamente relacionada com os ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), ODS 13 (Ação climática), ODS 7 (Energia limpa) e ODS 12 (Produção e consumo sustentável) e impacta diretamente o cumprimento das metas dos ODS 3 (Saúde e bem-Estar) (Figura Q4.2). As emissões de poluentes e GEE afetam desproporcionalmente populações vulneráveis, ampliando desigualdades territoriais, repercutindo indiretamente nos ODS 1 (Erradicação da pobreza) e ODS 10 (Redução das desigualdades). A melhoria da qualidade do ar exige o fortalecimento da governança ambiental, investimentos em monitoramento e o alinhamento entre políticas de mitigação climática e saúde pública.

O acesso universal e seguro à água potável está no cerne do ODS 6 (Água Potável e Saneamento), mas também se relaciona com o ODS 3 (Saúde), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 12 (Consumo Sustentável). A poluição hídrica afeta a segurança hídrica, a biodiversidade aquática e o bem-estar humano, especialmente em territórios com baixos níveis de saneamento e cobertura institucional (Figura Q4.2). A superação desse desafio demanda ações integradas de controle da poluição, vigilância ambiental e justiça ambiental.

A expansão desordenada das fronteiras agropecuárias e a degradação ambiental comprometem metas centrais do ODS 15 (Vida Terrestre), ODS 13 (Clima), ODS 2 (Fome Zero) e ODS 12 (Consumo Sustentável) (Figura Q4.2). O uso insustentável do solo reduz a resiliência climática, ameaça a biodiversidade e prejudica modos de vida tradicionais. Políticas de ordenamento territorial, restauração ecológica e valorização de sistemas produtivos sustentáveis são fundamentais para cumprir a Agenda 2030, para a qualidade ambiental de forma equitativa e socialmente justa, respeitando os preceitos do desenvolvimento sustentável.

Quadro 4.2 - Agenda 2030 e qualidade do ar, água e solo
Figura Q4.2 - Relação entre as forças motrizes, causas e pressões, os sistemas impactados e os ODS.

Marcos Legais: Evolução e Desafios da Governança Ambiental Brasileira

Nas décadas de 1970 e 1980, consolidou-se um modelo tecnocrático e centralizador, com foco na regulação de impactos por normas técnicas (Bursztyn, 2018; IPEA, 2016). A criação da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) representou um divisor de águas ao estabelecer o Sisnama, responsável por articular competências entre União, estados e municípios, e o Conama, inicialmente consultivo, mas posteriormente dotado de poder regulamentador. Esse arcabouço foi ampliado com a promulgação da Constituição Federal de 1988, que consagrou o meio ambiente ecologicamente

equilibrado como direito fundamental (Art. 225), impulsionando a formulação de legislações setoriais. Assim, a partir dos anos 2000, princípios como precaução, participação e corresponsabilidade passaram a orientar políticas mais integradas, como a PNRS e a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Mais detalhes sobre a evolução temporal da governança ambiental podem ser observados no quadro 4.3. Já o quadro 4.4 resume os principais marcos infralegais, indicando conteúdo, status e relevância de cada norma. A análise de ambos oferece uma visão sintética para identificar lacunas e oportunidades de aprimoramento regulatório.

Quadro 4.3 - Síntese crítica e evolução temporal das respostas institucionais: pontos fortes e oportunidades de melhoria

Ano	Respostas institucionais	Pontos fortes	Desafios e oportunidades de melhoria
1981	Política Nacional do Meio Ambiente	- Criação do SISNAMA (articulação federativa) - Estabelecimento do CONAMA (poder regulamentador)	- Implementação desigual entre entes federados - Capacitação técnica insuficiente em níveis subnacionais
1988	Constituição Federal (Art. 225)	- Elevação do meio ambiente a direito fundamental - Estabeleceu competências comuns entre União, estados e municípios para proteger o meio ambiente, fomentando a cooperação federativa. - Base jurídica para políticas setoriais	- Dificuldade de efetivação plena do direito - Conflitos com outros direitos constitucionais
1989	Criação do IBAMA (Lei 7.735/1989)	- Unificou diversos órgãos em uma autarquia federal com poder de polícia ambiental - Fortaleceu a capacidade de <i>enforcement</i> ambiental	- Sobrecarga de funções e recursos limitados - Fiscalização insuficiente em áreas remotas - Coordenação contínua com outros órgãos (ex. ICMBio e IBAMA)

Quadro 4.3 - Síntese crítica e evolução temporal das respostas institucionais: pontos fortes e oportunidades de melhoria

Ano	Respostas institucionais	Pontos fortes	Desafios e oportunidades de melhoria
1997	Política Nacional de Recursos Hídricos	- Governança participativa (Comitês de Bacia) - Instrumentos econômicos (cobrança pelo uso da água) - Atualização com foco em justiça ambiental (Decreto 11.960/2024)	- Fragmentação institucional e de competências - Articulação intersetorial insuficiente - Baixo reinvestimento nas bacias - Conflito entre agendas econômicas-ambientais
1998	Lei de Crimes Ambientais	- Introduz a responsabilidade penal de pessoas jurídicas.	- Baixa efetividade (com poucas condenações) - Lentidão processual - Dificuldades de fiscalização em áreas remotas
1999	Política Nacional de Educação Ambiental (Lei 9.795/1999) Atualizada em 2024 (Lei 14.926/2024)	- Princípios e diretrizes para a educação ambiental em todos os níveis de ensino e na sensibilização pública - Fomenta consciência ecológica e integração do tema ambiental nos currículos escolares de forma interdisciplinar - Atualização incorporou conteúdos sobre mudanças climáticas e proteção da biodiversidade nos currículos a partir de 2025 - Busca envolver estudantes em ações de preservação e prepará-los para enfrentar riscos socioambientais, fortalecendo a consciência ecológica das novas gerações.	- Exige a capacitação contínua de professores. - Carência de mecanismos para transformar diretrizes em práticas pedagógicas efetivas nas escolas - Exige mecanismos de acompanhamento que avaliem a aplicação nas escolas e o impacto no aumento do engajamento ambiental da comunidade escolar
2000	Sistema Nacional de Unidades de Conservação	- Instrumento consolidado de proteção territorial - Permite criação de mosaicos e cogestão com comunidades - Efetivo em conter desmatamento em territórios prioritários. - Mecanismos de gestão participativa	- Falta de recursos para gestão - Sobreposição com pressões econômicas - Fragilidade no monitoramento participativo em UC de uso sustentável. - Muitas das UCS sem plano de manejo - Subfinanciamento crônico - Conflitos fundiários não resolvidos
2004	Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia	- Estabelece a transversalidade da política ambiental - Combinação de tecnologias (monitoramento satélite, operações de comando e controle e incentivos econômicos) - Reduziu o desmatamento anual em 83% entre 2004 e 2012, mantendo patamares historicamente baixos até 2018	- Necessidade de garantir recursos financeiros - Descontinuidade: o PPCDAM foi revogado em 2019, e o desmonte de órgãos ambientais no período seguinte levou a novo aumento do desmatamento - Melhor detalhamento do cronograma de implementação da nova fase - Dificuldade em coordenar ações em múltiplos setores (fundiário, agrícola, climático) para atingir as metas
2006	Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei 11.284/2006)	- Instituiu as concessões florestais para manejo sustentável em florestas públicas - Criou o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal	- Escala ainda limitada: florestas sob concessão aquém do quantitativo necessário para combater a exploração ilegal - Desafios de viabilidade econômica com baixa atratividade para empresas - Demanda aprimorar a atratividade (diversificação de produtos florestais, créditos de carbono, etc.) e apoio governamental para ganhar escala
2007	Criação do ICMBio (Lei 11.516/2007)	- Gestão das unidades de conservação federais - Promoção da conservação da biodiversidade, permitindo foco e especialização na proteção de parques e reservas nacionais	- Coordenação contínua com outros órgãos (ex. ICMBio e IBAMA) - Necessidade de investimento e fortalecimento institucional para manejo eficiente
2009	Política Nacional sobre Mudança do Clima	- Em revisão entre 2023 e 2025, passará a incorporar ao seu arcabouço legal, de forma inédita, os conceitos de transição justa e justiça climática - Apresenta estratégias gerais e setoriais para mitigação das emissões de GEE e de adaptação climática	- Hiato entre o primeiro plano em 2016 e sua revisão, que se iniciou em 2023, apesar de ser prevista para acontecer a cada quatro anos.

Quadro 4.3 - Síntese crítica e evolução temporal das respostas institucionais: pontos fortes e oportunidades de melhoria

Ano	Respostas institucionais	Pontos fortes	Desafios e oportunidades de melhoria
2010	Política Nacional de Resíduos Sólidos	- Logística reversa setorial - Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos - Cases de sucesso (latas: 100% reciclagem; embalagens agrícolas: 93% (ABREMA, 2023)) - Inclusão de catadores	- Baixa taxa de reciclagem de eletrônicos - Precariedade do trabalho de catadores, sendo a maioria informal (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental & Ministério das Cidades, 2023) - Elevado volume de resíduos sólidos urbanos com disposição inadequada
2011	Lei Complementar 140/2011 (Competências Ambientais)	- Regulamentou as competências ambientais comuns (CF art. 23) - Definiu atribuições de cada ente federativo no licenciamento e na fiscalização ambiental - Fortaleceu o federalismo cooperativo e a segurança jurídica nas ações ambientais através das Comissões Tripartites de Meio Ambiente.	- Diferenças na capacidade técnica e de recursos entre órgãos estaduais podem levar a níveis desiguais de proteção ambiental - Exige mecanismos de apoio técnico-financeiro da União para evitar "vácuos" de fiscalização em locais onde os estados são frágeis.
2012	Código Florestal (Lei 12.651/2012)	- Exigiu a manutenção de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL) - Instituiu o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e Programas de Regularização Ambiental (PRA)	- Execução lenta: muitas áreas a regularizar ainda seguem sem cadastro no CAR e baixa validação de dados pelos órgãos competentes - A morosidade na análise do CAR e na implantação dos PRAS posterga a recomposição de déficits ambientais. - Necessidade de aprimorar a qualidade dos dados e acelerar a regularização, sob pena de o potencial do Código não se concretizar
2017	Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) (Lei 13.576/2017)	- Estabeleceu metas anuais de descarbonização para o setor de combustíveis - Criou os Créditos de Descarbonização (CBIOS) para incentivar a produção de biocombustíveis com menor intensidade de carbono	- Necessário garantir a integridade ambiental com critérios rígidos para que os ganhos não sejam anulados por emissões indiretas de mudança de uso da terra - Complementaridade de políticas (ex. estratégias de eficiência energética e eletrificação do transporte) para maximizar a redução total de emissões no setor
2021	Lei de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)	- Instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; - Institui o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA) e o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) - Reconhece e valoriza as atividades que estimulam a conservação e a recuperação dos recursos naturais - Previsão normativa (cobrança pelo uso dos recursos hídricos - Lei das Águas podem ser destinadas a ações de PSA) fortalece um dos principais programas no Brasil, o Programa Produtor de Águas da ANA	- Sem avanços em regulamentação - Ainda não houve definição de critérios para CNPSA e PFPSA - Indefinição de como os recursos para o pagamento por serviços ambientais serão gerados e alocados
2021	Lei de Incentivo à Reciclagem (Lei nº 14.260/2021)	- Cria incentivos fiscais através da redução do IR - Institui mecanismos financeiros (Favorecicle e ProRecicle) para financiar a cadeia de reciclagem e projetos da economia circular - Apoio a iniciativas que envolvam catadores e organizações comunitárias.	- Necessidade de capilaridade regional e apoio técnico a municípios - Consolidar indicadores de impacto ambiental e social
2023	Lei de Agrotóxicos (Lei nº 14.785/2023)	- Estabeleceu a rastreabilidade dos produtos - Simplificar registros, incentivar produtos biológicos e fortalecer a fiscalização. - Equilibrar a produção agrícola com a proteção da saúde humana e do meio ambiente - Desdobramentos: Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos (Pronara), instituído em 2025	- Necessário acompanhar a regulamentação da lei por meio de decretos e regulamentos administrativos - Responsabilização no âmbito criminal ainda possui alto grau de abstração e subjetividade

Quadro 4.3 - Síntese crítica e evolução temporal das respostas institucionais: pontos fortes e oportunidades de melhoria

Ano	Respostas institucionais	Pontos fortes	Desafios e oportunidades de melhoria
2024	Política Nacional de Qualidade do Ar	- Marco legal unificado para o controle da poluição atmosférica no implementação país - Diretrizes nacionais integradas - Adoção de padrões OMS periodicamente atualizáveis - Instrumentos econômicos e zonas de emissão zero	- Desafio de multiescalar para controle de fontes poluidoras (indústrias, frota veicular, queimadas). - Necessidade de sistemas de monitoramento unificados - Regulamentação pendente em estados
2024	Lei do Inventário Nacional de Substâncias Químicas - Lei nº 15.022/2024	- Reduz riscos à saúde e ambiente e ordena o mercado químico - Transparência através de informações públicas - Gestão de risco escalonada por medidas que vão desde limites de concentração até proibição de uso/importação	- Regulamentação pendente (minuta do decreto ainda em discussão) - Capacidade de avaliação de risco dependente de equipe, laboratórios e dados - Desafio de harmonizar medidas de risco com outros marcos setoriais (ex. saúde)
2024	Taxonomia Sustentável Brasileira	- Orienta investimentos públicos e privados na transição ecológica (mitigação climática, proteção da biodiversidade, uso sustentável da água, economia circular)	- Critérios pouco exigentes para agropecuária - Falta de mecanismos de verificação - Não alinhamento pleno com taxonomias internacionais - Revisar e aprimorar periodicamente os critérios, assegurando que a taxonomia resulte em mudança de comportamento efetiva

Quadro 4.4 - Marcos infralegais importantes da governança ambiental no Brasil

Tema	Norma infralegal	Conteúdo essencial	Status / atualização	Relevância para a governança
Avaliação de Impacto	CONAMA 01/1986	Define EIA/RIMA e hipóteses de exigência	Vigente	Pilar do licenciamento de grandes empreendimentos
Licenciamento	CONAMA 237/1997	Procedimentos e competências no licenciamento	Vigente	Padroniza fluxos e evita sobreposição federativa
Efluentes	CONAMA 430/2011 (compl. 357/2005)	Condições e padrões de lançamento de efluentes	Em revisão (2024–2025)	Atualiza parâmetros e integra gestão hídrica/urbana
Áreas contaminadas e solo	CONAMA 420/2009	Valores orientadores e diretrizes de gerenciamento	Em revisão (2024–2025)	Harmoniza investigação, avaliação de risco e remediação
Qualidade do ar	CONAMA 506/2024	Atualiza padrões e fases de convergência nacionais	Recém-atualizada	Dá executividade ao marco legal de ar limpo
Resíduos sólidos	Decreto 10.936/2022	Regulamenta a PNRS e programa de logística reversa	Vigente	Define responsabilidades, metas e instrumentos
Financiamento da reciclagem	Decreto 11.413/2023	Créditos/Certificados de Logística Reversa	Em implementação	Rastreabilidade e financiamento à cadeia de reciclagem
Economia circular	Decreto 12.082/2024 (ENEC)	Estratégia nacional de EC; diretrizes do PLANEC	Vigente	Integra circularidade à política industrial e compras
Compras sustentáveis	Decretos 7.746/2012 e 9.178/2017	Critérios socioambientais em aquisições federais	Vigentes (compatíveis com Lei 14.133)	Alinham compras públicas à sustentabilidade
Clima – coordenação	Decreto 11.550/2023 (CIM)	Reestrutura governança climática interministerial	Vigente	Transversaliza as metas climáticas em políticas setoriais
Recursos hídricos	Decreto 11.960/2024 (Conselho Nacional de Recursos Hídricos)	Atualiza governança do Conselho Nacional de Recursos Hídricos	Vigente	Fortalece articulação federativa e justiça hídrica
Crédito/finanças	Res. CMN 5.193/2024	Critérios de risco socioambiental e condicionantes para crédito	Vigentes	Conectam política financeira à regularidade ambiental
Controle florestal	Instrução normativa Ibama (Sinaflor/DOF+)	Rastreabilidade da madeira e integração federativa de dados	Em evolução	Transparência e controle do uso de produtos florestais

Nos anos recentes, observa-se um processo de desmonte institucional, com enfraquecimento de órgãos ambientais, cortes de recursos, flexibilizações regulatórias e disputas em torno da exploração de territórios sensíveis, como terras indígenas, o que intensifica os conflitos socioambientais e amplia os déficits de justiça ambiental (Porto & Milanez, 2009; Seixas et al., 2020). Nesse contexto, a integração entre políticas ambientais e setoriais é amplamente defendida como condição para uma governança eficaz e transversal; contudo, persistem entraves estruturais como a fragmentação institucional, a atuação setorializada e a predominância de interesses econômicos imediatos sobre estratégias de desenvolvimento sustentável.

No setor energético, apesar da matriz elétrica majoritariamente renovável, a conciliação entre expansão e proteção socioambiental permanece frágil. Exemplos como a Usina Hidrelétrica Belo Monte – marcado por conflitos com povos indígenas e redução em até 80% a vazão do rio Xingu em trechos críticos (Zuanon et al., 2019) – evidenciam a ausência de salvaguardas robustas e a invisibilidade de impactos sobre povos tradicionais. O potencial do biogás, capaz de suprir parte significativa da demanda nacional, também é limitado pela falta de articulação regulatória e política (Desclaux & Júnior, 2021).

Na agropecuária, há contrastes entre a promoção de práticas de baixo carbono, como o sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, e a fragilização dos instrumentos de controle ambiental. Entre 2012 e 2021, a despesa líquida para controle ambiental caiu 68%, com patamares mínimos nos anos finais do período, indicando enfraquecimento de capacidades de fiscalização (Freitas et al., 2022). Ao mesmo tempo, o uso de agrotóxicos cresceu em ritmo quase três vezes superior à área cultivada a partir de 2019 (Hess & Nodari, 2022), reforçando a assimetria entre metas ambientais declaradas e decisões orçamentárias e normativas.

O setor de transportes também reflete essa contradição. Embora o programa PROCONVE tenha reduzido

significativamente as emissões veiculares desde 1986 (CETESB, 2017), a ausência de integração com o planejamento urbano compromete sua efetividade. A queda no uso do transporte coletivo – São Paulo perdeu 30% dos passageiros entre 2013 e 2022 – e o foco em corredores de ônibus, em detrimento de sistemas mais estruturantes e modais sustentáveis (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - NTU, 2024), revelam uma lógica ainda pouco orientada à sustentabilidade urbana.

Alguns avanços para a gestão da qualidade ambiental também vêm sendo observados no campo da gestão de áreas contaminadas. Apesar de poucos avanços desde a Resolução CONAMA nº420 de 2009, que estabelece diretrizes para a gestão de áreas contaminadas aderentes às competências de cada ente federativo e instituiu o Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas (BDNAC), recentemente foi editado pelo MMA a Portaria nº603, que instituiu o Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas no âmbito da Agenda de Qualidade Ambiental Urbana. O Plano prevê a modernização da gestão, por meio de ferramenta digital; ampliação do mapeamento, que hoje é centrado nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e em dados do Ministério da Saúde; apoio aos estados, consórcios e municípios na recuperação de áreas; bem como em aspectos de capacitação técnica, modernização normativa e consolidação de linhas de financiamento (MMA, 2020).

A institucionalização da Agenda Transversal Ambiental no Plano Plurianual (PPA) 2024-2027 constitui uma iniciativa importante, ao abranger cerca de metade dos programas federais e ao promover uma abordagem mais holística e integrada da dimensão ambiental no planejamento e execução das políticas públicas (Brasil et al., 2024). Essa iniciativa visa superar a fragmentação institucional e fortalecer a coordenação intersetorial através da coordenação entre diferentes ministérios e agências, da maior clareza na alocação de recursos para objetivos ambientais e do monitoramento integrado do desempenho de políticas. Entre

suas metas relevantes, destacam-se: aumentar de 2,2% para 8,3% a taxa de resíduos recicláveis secos e orgânicos; ampliar de 24 mil para 30 mil a quantidade de substâncias químicas perigosas destinadas de forma ambientalmente adequada; implementar 220 iniciativas de

educação ambiental participativa, popular e territorial e promover a recuperação de 1.500.000 hectares de florestas e demais formas de vegetação nativa em todos os biomas brasileiros (Agência Câmara de Notícias, 2023).

Quadro 4.5 - Estratégias Nacionais e Iniciativas para uma Economia Circular

Os resultados da PNRS seguem aquém do previsto: os lixões cresceram 21,1% desde 2014 e a demanda por materiais reciclados segue em desvantagem frente às matérias-primas virgens: a indústria recicladora importou cerca de 44 mil toneladas de resíduos em 2024 (Ferreira & Lima, 2024; Peres, 2024). Esse quadro evidencia uma dupla falta de articulação: i) vertical, ao concentrar nos municípios a responsabilidade pela extinção dos lixões sem o necessário apoio técnico-financeiro de União e estados; e ii) horizontal, pela baixa integração entre a PNRS, a política industrial e as compras públicas.

A estratégia nacional de economia circular (ENEC), operacionalizada pelo Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC), pode ajudar a superar o modelo de produção linear. Ela oferece a direção estratégica (cadeias circulares, crédito/tributação verdes, logística reversa, compras públicas circulares), em sinergia com a Nova Indústria Brasil (NIB) e o Plano de Transformação Ecológica (PTE) (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, s. d.). A NIB tem o objetivo de fortalecer as cadeias produtivas baseadas na economia circular e no uso sustentável da biodiversidade, desenvolver indústrias da bioeconomia e promover a valorização da floresta em pé, com investimentos da ordem de R\$300 bilhões até 2026. Já o PTE busca impulsionar o desenvolvimento preservando o meio ambiente, combatendo as mudanças climáticas e as desigualdades, além de ancorar a pauta da sustentabilidade na formulação da política econômica do país através de eixos de atuação como finanças sustentáveis e infraestrutura verde.

Um exemplo de como a PNRS pode se articular ao desenvolvimento industrial ao reduzir o consumo de matériaprima virgem é a plataforma Reciclar pelo Brasil – parceria entre a Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis e grandes empresas – em que a obrigação legal de logística reversa impulsiona a reciclagem inclusiva. Desde 2017 foram recuperadas mais de 550 mil toneladas de resíduos, impactando 269 cidades e gerando mais de R\$413 milhões em vendas para cooperativas de catadores (Reciclar pelo Brasil, s. d.). Complementarmente, a EuReciclo operacionaliza o sistema de créditos de reciclagem atuando como ponte entre produtores de embalagens e cooperativas. Com mais de 60% dos clientes sendo de pequeno e médio porte, o sistema oferece escala à logística reversa e integra pequenos negócios à cadeia industrial (ABNEE, 2025). Por fim, os ecoparques surgem como alternativa para evoluir na quantidade de resíduos reciclados, pois em uma mesma unidade segregam, processam e transformam as frações dos resíduos em produtos de valor agregado, alimentando a política industrial. No Rio de Janeiro está o maior aterro sanitário bioenergético da América do Sul, em que 10 mil toneladas diárias de lixo geram cerca de 24 mil m³ de biogás por hora, depois purificados em biometano (Nogueira, 2024). O chorume é tratado e transformado em água de reuso. Outros ecoparques estão espalhados por pelo menos 11 estados brasileiros, combinando aterros sanitários, unidades de triagem mecanizada, produção de biogás/biometano e fertilizantes, demonstrando que é possível articular setor público e iniciativa privada para transformar resíduos em energia e matérias-primas de valor agregado (Grupo Orizon, s. d.).

Experiências e mecanismos de fortalecimento da governança socioambiental

A governança ambiental brasileira tem demonstrado notáveis inovações, com experiências que fortalecem a efetividade das políticas públicas e oferecem lições valiosas (Quadro 4.5). Essas inovações abrangem desde o monitoramento participativo e o uso de tecnologias avançadas até a integração de políticas setoriais e a mobilização de mecanismos financeiros e coalizões multissetoriais.

O fortalecimento das finanças sustentáveis desponta como um dos vetores mais promissores para consolidar um novo modelo de desenvolvimento no Brasil. A criação de ambientes regulatórios e institucionais favoráveis à expansão de instrumentos financeiros sustentáveis — como fundos climáticos e seguros verdes — é essencial para mobilizar os recursos necessários à descarbonização da economia, à proteção da biodiversidade e à promoção da justiça socioambiental. A criação do Comitê Interinstitucional da Taxonomia Sustentável Brasileira (2023) representa um avanço crucial na definição de critérios unificados para atividades sustentáveis, alinhando investimentos às metas dos ODS e à Agenda 2030. A implementação do PTE reforça essa reorientação das políticas públicas ao estruturar eixos como finanças sustentáveis, transição energética e infraestrutura para adaptação climática (Brasil et al., 2024).

No contexto da transparência climática global, o Brasil possui o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), cujo objetivo principal é disponibilizar os resultados do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Na iniciativa privada, o Programa Brasileiro GHG Protocol tem desempenhado papel central ao padronizar inventários corporativos de emissões e disponibilizar dados públicos, criando base de confiança para compromissos empresariais de descarbonização.

Coordenado pelo FGVces/WRI em parceria com empresas e governo, adapta ao contexto nacional o padrão internacional de contabilização de emissões de GEE, oferecendo ferramentas setoriais (como florestas, SAFs e agropecuária) para mensuração e reporte, permitindo planejamento de mitigação, engajamento de cadeias produtivas e atração de investimentos verdes (WRI, s. d.).

Para além da transparência, plataformas que auxiliam a tomada de decisão vêm subsidiando políticas públicas climáticas, em iniciativas de co-produção do governo com atores não governamentais e científicos. O Simulador Nacional de Políticas Setoriais e Emissões (SINAPSE), ferramenta do governo brasileiro, permite simular cenários futuros com políticas nacionais setoriais e potencial de redução de emissões de GEE, visando o alcance das metas contidas na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) submetida pelo País ao Acordo de Paris. Esta ferramenta desenvolvida pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) em parceria com WRI Brasil e Energy Innovation, abrange nas projeções desde desmatamento, transporte rodoviário, até número de vidas preservadas (mortes evitadas) pela redução nas emissões (MCTI, 2025) (MCTI, 2025). Já para a área de adaptação climática, o AdaptaBrasil, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ferramenta que apresenta avaliação de risco climático para nove setores, como desastres geohidrológicos, infraestruturas de transporte, saúde e seguranças alimentar, energética e hídrica, tem subsidiado o Plano Clima Adaptação por meio de avaliações de risco climático setoriais (AdaptaBrasil, s. d.; MCTI, 2024). Adicionalmente, a reativação da Comissão Nacional dos ODS, em 2023, marca um avanço relevante no fortalecimento da participação social e da legitimidade democrática no monitoramento da Agenda 2030, sinalizando uma retomada do compromisso com uma governança mais participativa e responsiva (Brasil et al., 2024).

Quadro 4.6 - Boas práticas para a sustentabilidade

Monitoramento e ciência cidadã: O “Observando os Rios” envolve escolas, associações locais e instituições públicas para coletar dados sobre a qualidade da água em 450 rios de 18 estados, destacando a criticidade de muitos corpos hídricos e pressionando por respostas institucionais (SOS Mata Atlântica, 2025). O MapBiomias Alerta usa inteligência artificial e imagens de satélite para detectar desmatamento em tempo real, melhorando a fiscalização e ajudando em decisões governamentais, como no ICMS Ecológico e em autuações e embargos em Goiás devido à supressão irregular ou degradação de vegetação nativa (Cardoso et al., 2024). Co-desenvolvido pela Articulação Nacional de Políticas Públicas de Educação Ambiental e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, o Sistema MonitoraEA, alinhado à Política Nacional de Educação Ambiental, fortalece a capacidade institucional, o controle social e a governança ambiental democrática (Paz et al., 2022). Desde 2016, oferece um framework pedagógico e dialógico para mapear, avaliar e monitorar políticas públicas de educação ambiental em todo o Brasil (MonitoraEA, s. d.).

Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): combina atividades agrícolas, pecuárias e florestais em uma mesma área para otimizar o uso da terra, recuperar pastagens degradadas e aumentar a produtividade de forma sustentável. A Fazenda Santa Brígida, em Ipameri (GO), reduziu 55% das emissões de GEE entre 2007 e 2014 ao adotar ILPF, além de cortar 54% nos custos de produção e aumentar a eficiência em seis vezes, atendendo 500 pessoas em 70 hectares (Embrapa & The World Bank, 2025). A Rede ILPF, formada por Embrapa, Cocamar e empresas agroindustriais, promove ILPF no Brasil desde 2006, conectando ciência, mercado e produtores para práticas de baixa emissão de carbono. Um de seus projetos é o Projeto Rural Sustentável – Caatinga, que apoia pequenos e médios agricultores, mitigando GEE, aumentando a renda e combatendo a pobreza – já mobilizou 1.500 produtores, conservou 200 ha, melhorou a renda familiar em 15% e evitou a emissão de 20 mil toneladas de CO₂ (Rede ILPF, s. d.).

Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA): O Movimento Viva Água, liderado pela Fundação Grupo Boticário objetiva restaurar 650 hectares até 2030 para a disponibilidade hídrica na bacia do rio Miringuava (PR). Por meio de ações de restauração de florestas, promoção de PSA e de práticas agropecuárias sustentáveis, o projeto espera, ao longo de toda a sua implementação, benefícios de mais de R\$71 milhões em valores sociais na bacia (Fundação Grupo Boticário, 2020, 2022). O Projeto Floresta+ Amazônia, do MMA com PNUD e financiado pelo Fundo Verde para o Clima, apoia PSA para pequenos produtores, comunidades tradicionais e povos indígenas da Amazônia Legal. Com US\$ 96 milhões, distribuiu mais de R\$ 4 milhões em PSA até 2024 e conservou 3 mil hectares, servindo como laboratório para a Política Nacional de PSA, com ênfase em justiça ambiental, mitigação climática e valorização de ativos florestais (Casteloni et al., s. d.).

Soluções baseadas na Natureza (SbN): O Programa Prodesol, lançado em 2018 pela Prefeitura de Sobral (CE), é uma iniciativa contínua de governança participativa. Envolve secretarias municipais, organizações comunitárias e conselhos participativos, com financiamento do Banco de Desenvolvimento da América Latina. O programa promove a qualidade ambiental e urbana, focando em equidade social e territorial, especialmente em áreas vulneráveis, através de investimentos em saneamento básico, requalificação urbana e SbN. Resultados incluem a requalificação do Parque Pajeú, melhorias em iluminação, segurança, lazer, reflorestamento e jardins filtrantes; expansão dos sistemas de esgotamento sanitário e abastecimento de água em áreas periféricas; redução de riscos de doenças hídricas; e valorização ambiental e social com políticas municipais de resíduos sólidos, mobilidade urbana, arborização e educação ambiental. Isso contribui para reduzir desigualdades territoriais, fortalecer a governança local e melhorar a qualidade de vida e saúde pública em Sobral (Cavalcante et al., 2022).

Quadro 4.6 - Boas práticas para a sustentabilidade

Coalizões multissetoriais: O Consórcio Interestadual da Amazônia Legal é uma autarquia que reúne 9 governos subnacionais em cooperação com FUNBIO, ICS e parceiros multilaterais, cujas ações são vinculadas em escala estadual para fomentar economia verde, infraestrutura resiliente e governança (Consórcio Interestadual de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia Legal, 2025). O Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, que articula 300 instituições públicas e privadas, estabeleceu a meta de restaurar 1 milhão de hectares até 2030, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e promovendo a recuperação de um dos biomas mais ameaçados do país. A Coalizão Brasil Clima, Agricultura e Florestas reúne empresas, sociedade civil, setor financeiro e academia para articular propostas de baixo carbono na agricultura, uso da terra e florestas. Ela conecta políticas públicas, compromissos empresariais e ciência, elaborando agendas para restaurar paisagens e influenciar compromissos nacionais de clima e biodiversidade, funcionando como ponte entre setor produtivo e políticas ambientais (Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura, s. d.).

Eixos estratégicos para a política ambiental brasileira

Diante desses desafios, emergem três eixos estratégicos para a efetiva integração das políticas ambientais no Brasil:

1. o fortalecimento da capacidade subnacional: é nos estados e, especialmente, nos municípios que muitas políticas são implementadas, ainda que com estrutura e recursos técnicos escassos. Esse é o caso dos 100 municípios mais extensos do país, cuja capacidade institucional limitada no nível local contribuiu para falhas na aplicação de normas e para a persistência de problemas ambientais - esses locais responderam por 38% de todo o desmatamento registrado de 2021 a 2024, sobretudo na Amazônia e Cerrado (Prizibiszki, 2024). Descentralizar recursos financeiros e tecnologias para estados e municípios, além de capacitar equipes técnicas locais, pode ser o caminho para promover a justiça ambiental e melhorar a qualidade de vida, permitindo a expansão de saneamento básico, gestão de resíduos e preparação para eventos climáticos extremos. Alguns exemplos são o Programa União com Municípios, que apoia prefeituras da Amazônia no combate ao desmatamento, com investimentos e condicionalidades; o Programa Cidades Verdes Resilientes (MMA, 2024), que endereça a falta de ações coordenadas e direcionamento de recursos para qualidade ambiental e resiliência climática; e a iniciativa AdaptaCidades (MMA, 2025), que apoia Estados e Municípios com recursos técnicos, incluindo capacitações, e financeiros para o desenvolvimento de planos e estratégias locais e regionais de adaptação climática e

integração de políticas nacionais e subnacionais num modelo de governança federativa.

2. a institucionalização da intersectorialidade: a temática ambiental segue tratada como acessória em silos entre planos setoriais — a exemplo do Plano ABC e do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) — sem indicadores cruzados. É necessário adotar mecanismos vinculantes de coordenação — isto é, instrumentos obrigatórios que amarram metas e salvaguardas socioambientais às decisões orçamentárias, regulatórias e contratuais. A Nova Lei de Licitações representa um passo normativo ao elevar a sustentabilidade a princípio legal e objetivo das contratações públicas, exigindo critérios ambientais, sociais e econômicos que podem estimular cadeias produtivas sustentáveis, atrair investimentos verdes e induzir inovação, sobretudo se articulada com outras estratégias como o Plano Clima, a PNRS ou o programa cidades verdes resilientes. Contudo, os avanços práticos nessa agenda ainda são tímidos: o Tribunal de Contas da União identificou a baixa utilização da nova lei nos 3. a consolidação de uma cultura política orientada à cooperação, à transparência e à responsabilidade compartilhada: reformas institucionais são limitadas sem uma mudança de cultura política. A transparência e participação pública melhoram a qualidade das decisões ambientais, pois permitem escrutínio, incorporam conhecimentos locais e aumentam a legitimidade das medidas adotadas (Borioni & Sánchez, 2023). Porém, há retrocessos e ameaças à participação

comunitária - como a composição reduzida do CONAMA em 2019, reestabelecia em 2023 - e uma cultura de sigilo sobre informações ambientais, dificultando o controle social (Ribeiro, 2023). Fóruns participativos, como os Comitês de Bacia Hidrográfica, raramente influenciam decisões estratégicas, que continuam centralizadas e orientadas por interesses econômicos, perpetuando injustiças ambientais (Bragagnolo et al., 2017; de Gusmão & Pavão, 2019). A educação ambiental e a disseminação de informações acessíveis são alicerces fundamentais para construir uma cultura cooperativa voltada à justiça socioambiental. A implementação da Política Nacional de Educação Ambiental reforça esse movimento, ao estabelecer a transversalidade da educação ambiental em todos os níveis e modalidades de ensino, incluindo ações não formais.

Respostas institucionais e iniciativas complementares de múltiplos atores

Desde o relatório GEO Brasil 2002, que destacava a necessidade urgente de conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental, o Brasil avançou significativamente na construção de um arcabouço normativo robusto. O cenário da década de 2000, marcado por desafios como a degradação generalizada de recursos naturais, problemas urbanos e industriais, desastres de grandes magnitudes e a fragilidade institucional, serviu como um diagnóstico para as políticas subsequentes. Ao longo das últimas duas décadas, impulsionado por crescente conscientização global e nacional, o país fortaleceu seus marcos legais e institucionais e aperfeiçoou sistemas de monitoramento e gestão territorial. Políticas específicas como o PPCDAm demonstraram a capacidade do Estado em mitigar pressões sobre biomas críticos, enquanto instrumentos como a PNRS e a Lei de PSA

representaram esforços relevantes na modernização da gestão ambiental e infraestrutura buscando a universalização de serviços essenciais, acompanhados pela incorporação de tecnologias de monitoramento remoto e bases de dados públicas. A participação ativa em acordos internacionais - como a Convenção sobre Diversidade Biológica e o Acordo de Paris - e o engajamento da sociedade civil e setor privado também impulsionaram práticas sustentáveis e maior transparência.

Contudo, desafios significativos ainda persistem. O desmatamento ainda pressiona biomas estratégicos como a Amazônia e o Cerrado, impulsionado por práticas econômicas predatórias. Eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes, como secas na Amazônia e inundações no Sul, somadas às vulnerabilidades do país, aumentam o risco climático, exigindo políticas eficazes de adaptação e mitigação. A poluição hídrica e atmosférica e a gestão inadequada de resíduos sólidos, com lixões ainda ativos em diversas cidades, continuam impactando a saúde pública e ecossistemas, refletindo deficiências na fiscalização e infraestrutura. Adicionalmente, a perda acelerada da biodiversidade evidencia a crescente pressão sobre ecossistemas e espécies endêmicas, enquanto conflitos socioambientais, especialmente envolvendo terras indígenas e quilombolas, se somam às pressões constantes para flexibilização de instrumentos essenciais, como o licenciamento ambiental.

Diante desse contexto, a tensão entre expansão econômica e conservação ambiental segue como um desafio central no Brasil. Atividades intensivas no uso dos recursos naturais, especialmente nos setores agropecuário, de mineração e infraestrutura, se dão à revelia dos limites ecológicos e da capacidade de suporte dos ecossistemas, aumentando as desigualdades socioambientais e afetando desproporcionalmente populações vulneráveis e territórios periféricos. O cenário atual representa a complexidade crescente dos riscos ambientais, demandando respostas institucionais mais ágeis, coordenadas e integradas do que aquelas que os arranjos institucionais atuais têm sido capazes de oferecer.

Referências

- Abreu, A. B. de O. (2024). **CONAMA E CNRH: A QUEM COMPETE A GOVERNANÇA DA NORMATIZAÇÃO DA PADRONIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DE REÚSO NO BRASIL?** [Dissertação de Mestrado]. Universidade de Brasília.
- Acselrad, H. (2004). Justiça ambiental—Ação coletiva e estratégias argumentativas. Em **Justiça Ambiental e Cidadania**. Relume Dumará.
- Acselrad, H., Mello, C. C. do A., & Bezerra, G. das N. (2008). **O que é justiça ambiental**. Garamond.
- AdaptaBrasil. (s. d.). **AdaptaBrasil MCTI**. <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>
- Agência Câmara de Notícias. (2023, outubro 24). **Agenda Ambiental do Plano Plurianual 2024-2027**. Política e administração pública. <https://www.camara.leg.br/noticias/1010403-agenda-ambiental-do-plano-plurianual-2024-2027/>
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. (2019). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: Informe anual** (p. 100). ANA. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. (2020). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: Informe anual** (p. 118). ANA. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. (2023). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: Informe anual** (p. 105). ANA. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. (2024). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: Informe anual** (p. 154). ANA. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. (2017). **Nota Técnica 02/2017: Posicionamento da Anvisa referente à Recomendação 028/2016 aprovada em Reunião Plenária do Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – CONSEA**. <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos/arquivos/nota-tecnica-02-2017>
- Agyeman, J., Bullard, R. D., & Evans, B. (2012). Joined-up thinking: Bringing together sustainability, environmental justice and equity. Em **Just Sustainabilities: Development in an Unequal World** (V. 6, p. 1–16). MIT Press.
- Alencar, A., Martenexen, L. F., Gomes, J., Morton, D., & Brando, P. (2023). **Entendendo a relação entre o fogo e desmatamento em 2023. Amazônia em Chamas nº 12—Nota técnica**. https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Amazonia-em-Chamas-12_v01.pdf
- Aranha, A., Rocha, L., & Agência Pública/Repórter Brasil. (2019). **“Coquetel” com 27 agrotóxicos foi achado na água de 1 em cada 4 municípios**. Por trás do alimento. <https://portrasdoalimento.info/2019/04/15/coquetel-com-27-agrotoxicos-foi-achado-na-agua-de-1-em-cada-4-municipios/>
- Araujo, L. F. de, Camargo, F. P., Torres Netto, A., Vernin, N. S., & Andrade, R. C. de. (2022). Análise da cobertura de abastecimento e da qualidade da água distribuída em diferentes regiões do Brasil no ano de 2019. **Ciência & Saúde Coletiva**, 27, 2935–2947.
- Araújo, M. A. T., & Belo, P. de S. (2009). Grandes projetos minerários e comunidades tradicionais na Amazônia: Impactos e perspectivas. **Revista de Políticas Públicas**, 13(2), 265–277.
- Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABNEE. (2025, setembro 15). **Logística reversa: Eureciclo garantiu a destinação correta de 37 mil toneladas de resíduos em Minas**. Clipping. <https://www.clipping.abinee.org.br/logistica-reversa-eureciclo-garantiu-a-destinacao-correta-de-37-mil-toneladas-de-residuos-em-minas/>
- Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente - ABREMA. (2023). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf
- Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - NTU. (2024). **Anuário NTU: 2023-2024** (p. 72) [Anuário]. NTU. <https://ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub638573500081945042.pdf>

- Bárta, R. L., Silva, J. A. G. da, Daronco, C. R., Pretto, C., Stumm, E. M. F., & Colet, C. de F. (2021). Qualidade da água para consumo humano no Brasil: Revisão integrativa da literatura. **Vigilância Sanitária em Debate**, 9(4), 74–85. <https://doi.org/10.22239/2317-269x.01822>
- Behera, D. K., Viswanathan, P. K., & Mishra, S. (2024). Effects of air pollution on global health: Evidence from the global burden of disease study in the BRICS countries. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, 97(8), 813–832.
- Borioni, R., & Sánchez, L. E. (2023). Reforming environmental licensing in Brazil: Discourses analysis in the National Environment Council. **Ambiente & Sociedade**, 26, e00774.
- Bragagnolo, C., Lemos, C. C., Ladle, R. J., & Pellin, A. (2017). Streamlining or sidestepping? Political pressure to revise environmental licensing and EIA in Brazil. **Environmental Impact Assessment Review**, 65, 86–90.
- BRASIL. (2025). Intoxicação Exógena – Notificações registradas no Sinan Net – Brasil: Notificações por Agente Tóxico segundo Ano de Notificação (2010–2024). *Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS – DATASUS*. <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sinannet/cnv/Intoxbr.def>
- Brasil & Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024). **Sustentabilidade Ambiental e Climática: Artigos técnicos sobre financiamento para adaptação, oceanos, pagamentos por serviços ambientais e economia circular** (N. 9786588265963; p. 154–154).
- Brasil, Presidência da República, & Secretaria-Geral. (2024). **Relatório nacional voluntário, Brasil 2024** (p. 356–356).
- Brulle, R. J., & Pellow, D. N. (2006). Environmental justice: Human health and environmental inequalities. **Annual Review of Public Health**, 27, 103–124. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.27.021405.102124>
- Bullard, R. D. (1990). **Dumping in Dixie: Race, class, and environmental quality**. Routledge.
- Buralli, R. J., & Connerton, P. (2025). Air pollution, health and regulations in Brazil: Are we progressing? **Cadernos de Saúde Pública**, 41(3). <https://doi.org/10.1590/0102-311XEN172924>
- Bursztyn, M. A. (2018). **Fundamentos de política e gestão ambiental: Caminhos para a sustentabilidade**. Editora Garamond.
- Câmara, J. B. D. (2013). Governança ambiental no Brasil: Ecos do passado. **Revista de sociologia e política**, 21, 125–146.
- Cardoso, M. R. D., Disarz, R., Guzzo, D. de S. G., & Andrade, M. O. (2024). **APLICAÇÃO DE ALERTAS DE DESMATAMENTO E MAPEAMENTOS DE USO E COBERTURA DO SOLO DA REDE MAPBIOMAS NO COMBATE AO DESMATAMENTO ILEGAL NO ESTADO DE GOIÁS** (6a Edição do Prêmio MapBiomias). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás. https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/09/Premio_MapBiomias_29_assinado_assinado-Murilo-Cardoso.pdf
- Casteloni, C., Bernardino, P., Barbosa, R., Cavini, R., & Gai, T. (s. d.). **PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA LEGAL: DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO, GESTÃO ADAPTATIVA E PRIMEIROS RESULTADOS DO FLORESTA+ AMAZÔNIA**. Recuperado 29 de maio de 2025, de https://www.florestamaisamazonia.org.br/wp-content/uploads/2025/04/artigo_flomais-1.pdf
- Cavalcante, A. B., Ribeiro, R. M., Silva Filho, S. D. da, Mesquita, M. do S. S., Fernandes, C. de S., & Feijão, G. M. M. (2022). CONTRIBUIÇÃO DO PROGRAMA PRODESOL NA QUALIDADE DE VIDA DOS CIDADÃOS SOBRALENSES. **REVISTA INCLUSIONES**, 2, 247–262.
- Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura. (s. d.). **Sobre nós**. Recuperado 10 de setembro de 2025, de <https://coalizaobr.com.br/sobre-nos/#como-atuamos>
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. (2017). **Evolução e futuro do PROCONVE**. História e resultados dos 30 anos de política de controle das emissões de veículos no Brasil (p. 22). CETESB. <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/server/api/core/bitstreams/5de4500a-d09f-4221-889f-a4b435bdbad9/content>
- Confederação Nacional de Municípios - CNM. (2023). **Análise do impacto da frota de veículos nos Municípios brasileiros**. https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2023/Estudos_tecnicos/202309_ET_MOB_Impacto_frota_veiculos.pdf

Consórcio Interestadual de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia Legal. (2025, junho 18). **Planejamento Estratégico**. Consórcio Interestadual da Amazônia Legal. <https://www.consorcioamazonialegal.gov.br/planejamento-estrategico>

Damasio, K. (2022, julho 21). **No Brasil, 2,3 milhões de toneladas de plástico têm alto risco de chegar ao mar**. National Geographic. <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/07/no-brasil-23-milhoes-de-toneladas-de-plastico-tem-alto-risco-de-chegar-ao-mar>

de Gusmão, P. P., & Pavão, B. B. M. (2019). Gestão das águas, comitês de bacias hidrográficas e resolução de conflitos ambientais. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, 1(2), 38–77.

De Simoni, W. F., Sant'anna, A., Artaxo, P., Pinheiro, B., Araújo, C., Vormittag, E., Wicher, H., Borges, K., Faria, M., Andrade, M. de F., Porto, P., Artaxo, P., Rocha, R., & Esturba, T. (2021). **O Estado da Qualidade do Ar no Brasil**. <https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/o-estado-da-qualidade-do-ar-no-brasil>

Desclaux, L., & Júnior, H. Q. P. (2021). Políticas públicas em contextos intersetoriais: O desafio da coordenação e exemplo do biogás. **Revista Brasileira de Energia** | Vol, 27(4), 108–141. <https://doi.org/10.47168/rbe.v27i4.584>

Dong, D., & Wang, J. (2023). Air pollution as a substantial threat to the improvement of agricultural total factor productivity: Global evidence. **Environment International**, 173, 107842.

Drabinski, T. L., de Carvalho, D. G., Gaylarde, C. C., Lourenço, M. F., Machado, W. T., da Fonseca, E. M., da Silva, A. L. C., & Baptista Neto, J. A. (2023). Microplastics in freshwater river in Rio de Janeiro and its role as a source of microplastic pollution in Guanabara Bay, SE Brazil. **Micro**, 3(1), 208–223. <https://doi.org/10.3390/micro3010015>

Ekins, P., & Gupta, J. (2019). Perspective: A healthy planet for healthy people. **Global Sustainability**, 2(e20), 1–9. <https://doi.org/10.1017/sus.2019.17>

Embrapa & The World Bank. (2025). **Synthesis of economic results of integrated crop-livestock-forest-systems in Brazilian Amazon and Cerrado biomes** (p. 110). Embrapa Cerrados. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1175955/synthesis-of-economic-results-of-integrated-crop-livestock-forest-systems-in-brazilian-amazon-and-cerrado-biomes>

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. (2024). **Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023** (p. 274). <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>

Ferreira, I. (2024). **Censo 2022: Rede de esgoto alcança 62,5% da população, mas desigualdades regionais e por cor e raça persistem** [Agência IBGE Notícias]. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-persistem#:~:text=Em%202022%2C%2097%2C8%25,sanit%C3%A1rios%20ou%20buracos%20para%20deje%C3%A7%C3%B5es.>

Ferreira, P., & Lima, J. D. de. (2024, dezembro 18). **Por que o Brasil importa 44 mil toneladas de lixo e qual mudança de regra motivou alerta do Ibama**. Estadão Sustentabilidade. <https://www.estadao.com.br/sustentabilidade/por-que-o-brasil-importa-44-mil-toneladas-de-lixo-e-qual-mudanca-de-regra-motivou-alerta-do-ibama/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2023). **Pesticides use and trade, 1990–2021** (N. 70; FAOSTAT Analytical Briefs Series). Fao. <https://doi.org/10.4060/cc6958en>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). **The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report 2021**. FAO. doi.org/10.4060/cb7654en

Fortes, A. C. C., Barrocas, P. R. G., & Kligerman, D. C. (2019). A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. **Saúde em Debate**, 43(spe3), 20–34. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s302>

Freitas, C. R., Carvalho, R. A., & Oviedo, A. (2022, junho). **O FINANCIAMENTO DA GESTÃO AMBIENTAL NO BRASIL: UMA AVALIAÇÃO A PARTIR DO ORÇAMENTO PÚBLICO FEDERAL (2005-2022)**. Instituto Socioambiental. <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/t3d00048.pdf>

Fundação Grupo Boticário. (2020). **Movimento Viva Água**. https://fundacaogrupoboticario.org.br/wp-content/uploads/2024/12/20190913_Resumo-executivo_Viva-Agua_Final.pdf

Fundação Grupo Boticário. (2022). **Soluções baseadas na natureza e seu papel na promoção da resiliência climática, segurança hídrica e geração de benefícios econômicos**. Fundação Grupo Boticário. <https://www.fundacaogrupoboticario.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Solucoes-baseadas-na-Natureza-Viva-Agua-Miringuava-1.pdf>

García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J. C., Lana-Renault, N., & Sanjuán, Y. (2015). A meta-analysis of soil erosion rates across the world. **Geomorphology**, 239, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.008>

Gerolin, C. R., Pupim, F. N., Sawakuchi, A. O., Grohmann, C. H., Labuto, G., & Semensatto, D. (2020). Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. **Science of the Total Environment**, 749, 141604. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141604>

Grupo Orizon. (s. d.). **Sustainability Report 2023**. Recuperado 10 de setembro de 2025, de https://orizonvr.com.br/novo_site/wp-content/uploads/2024/06/grupoOrizon_RelatorioSust2023_ING_v05-1.pdf#:~:text=16%20Ecoparks%2011,spread%20across%2011%20Brazilian%20states

Guerra, A. J. T., & Jorge, M. do C. O. (2014). Degradação dos solos e riscos ambientais. Em A. J. T. Guerra & M. do C. O. Jorge (Org.), **Geoeologia das paisagens**. Bertrand Brasil.

Hess, S. C., & Nodari, R. O. (2022). Agrotóxicos no Brasil: Panorama dos produtos aprovados entre 2019 e 2022. **Ambientes em movimento**, 2(2).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (s. d.). <https://www.ibge.gov.br/painel-cor-ou-raca/> [Conjunto de dados]. <https://www.ibge.gov.br/painel-cor-ou-raca/>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2017). **Censo Agropecuário 2017: Resultados definitivos** [Conjunto de dados]. <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/resultados-definitivos.html>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2022). **Censo 2022** [Conjunto de dados]. <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/downloads.html?localidade=BR&tema=2>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2023). **Contas Econômicas Ambientais da Água: Brasil 2018-2020**. Agência Nacional das Águas - ANA; IBGE - Coordenação de Contas Nacionais. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102001>

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. (2022). **Relatório de Qualidade do Meio Ambiente: RQMA Brasil 2020**. IBAMA. <http://www.ibama.gov.br>

Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA. (s. d.). **Plataforma da qualidade do ar** [Conjunto de dados]. Recuperado 10 de setembro de 2025, de <https://energiaeambiente.org.br/qualidadedoar/>

Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA. (2022). **2o Inventário de Emissões Atmosféricas em Usinas Termelétricas**. Instituto de Energia e Meio Ambiente. https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/12/termeletricas_IEMA_2021.pdf

Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA. (2024). **Dimensionamento da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil: Cenários iniciais**. (p. 25). IEMA. <https://energiaeambiente.org.br/produto/dimensionamento-da-rede-basica-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar-no-brasil-cenarios-iniciais>

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. (2016). **Governança ambiental no Brasil: Instituições, atores e políticas públicas** (A. M. M. de Moura, Org.). IPEA.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. (2018). **ESCALAS DA URBANIZAÇÃO BRASILEIRA. Texto para discussão**. <https://repositorio.ipea.gov.br/items/17aff767-e86d-4d81-9006-d78de5e819a5>

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. (2024). **Agenda 2030: Objetivos de desenvolvimento sustentável: Avaliação do progresso das principais metas globais para o Brasil**: ODS 6: Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todas e todos. IPEA. <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/17cce56b-768d-4b71-8538-4521c52a685b/content>

Instituto Não Aceito Corrupção - INAC. (2023). **A nova Lei de Licitações e a sustentabilidade nas contratações públicas**. <https://www.naoaceitocorrupcao.org.br/post/a-nova-lei-de-licitacoes-e-a-sustentabilidade-nas-contratacoes-publicas#:~:text=14,da%20nova%20lei%20nos%20certames>

Instituto Trata Brasil, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável), & EX ANTE Consultoria Econômica. (2023). **A VIDA SEM SANEAMENTO. PARA QUEM FALTA E ONDE MORA ESSA POPULAÇÃO?** Instituto Trata Brasil. <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/11/VERSAO-FINAL-PRIVACAO-DO-SANEAMENTO.pdf>

Jacobi, P. R., & Giatti, L. L. (2015). A ambivalência do desenvolvimento sustentável e a busca de novas vias para a sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, 18(3). <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOCeditorialV1832015>

Joly, C. A., Scarano, F. R., Seixas, C. S., Metzger, J. P., Ometto, J. P., Bustamante, M. M. C., Padgurschi, M. C. G., Pires, A. P. F., Castro, P. F. D., Gadda, T., Toledo, P., & Padgurschi, M. C. G. (2019). **1o Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade & Serviços Ecossistêmicos**. Editora Cubo. <https://doi.org/10.4322/978-85-60064-88-5>

Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. **Food Security**, 1(1), 45–57. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0009-z>

LAPIG – LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO. (2020). **Pastagens naturais e cultivadas do Brasil: Relatório técnico 2010-2018**.

Lawrence, R. J. (2014). Understanding Environmental Quality Through Quality of Life (QOL) Studies☆. Em **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095489091399?via%3Dihub>

Loschi, M. (2025). **Censo 2022: 94,6% dos quilombolas em áreas rurais convivem com precariedades no saneamento básico**. Agência IBGE Notícias. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/43313-censo-2022-94-6-dos-quilombolas-em-areas-rurais-convivem-com-precariedades-no-saneamento-basico#:~:text=Censo%202022:%2094%2C6%25,saneamento%20b%C3%A1sico%20%7C%20Ag%C3%Aancia%20de%20Not%C3%ADcias>

MapBiomias. (2023a). **Brasil além das florestas: A vegetação herbácea e arbustiva nos biomas**. Projeto MapBiomias. https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/11/FACT_MapBiomias_Nao_Florestais_22.11_v6.pdf

MapBiomias. (2023b, outubro). **Área de agropecuária no Brasil cresceu 50% nos últimos 38 anos**. <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/06/area-de-agropecuaria-no-brasil-cresceu-50-nos-ultimos-38-anos/>

MapBiomias. (2025a). **RAD2024: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024** (p. 209). https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/05/RAD2024_15.05.pdf

MapBiomias. (2025b, janeiro). **Área queimada no Brasil cresce 79% em 2024 e supera os 30 milhões de hectares**. <https://brasil.mapbiomas.org/2025/01/22/area-queimada-no-brasil-cresce-79-em-2024-e-supera-os-30-milhoes-de-hectares/>

Marcon, P. (2023). **Governança das Águas no Brasil: Colaborações da sociedade civil e desafios da implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 200–200.

Maricato, E. (2003). Metrópole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançados**, 17(48), 151–166. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142003000200013>

Maricato, E. (2024). Esclusione territoriale urbana e sostenibilità ambientale nella periferia del capitalismo: Il caso del Brasile. **Rassegna di Architettura e Urbanistica**, 59(174), 53–53.

Mello, K. de, Taniwaki, R. H., Paula, F. R. de, Valente, R. A., Randhir, T. O., Macedo, D. R., Leal, C. G., Rodrigues, C. B., & Hughes, R. M. (2020). Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, 270, 110879–110879. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>

Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação - MCTI. (2024). **Primeiro Relatório Bienal de Transparência do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima** (p. 216–216).

Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação - MCTI. (2025). **Simulador Nacional de Políticas Setoriais e Emissões (SINAPSE)**. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/sinapse>

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (s. d.). **PLANO NACIONAL DE ECONOMIA CIRCULAR 2025 – 2034**. Recuperado 9 de outubro de 2025, de https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/enec/plano-nacional/plano-nacional-de-economia-circular-2025-2034_03-06-2025.pdf

Ministério do Meio Ambiente. (2019). **Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana: Programa Nacional Lixo Zero**. MMA. https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/lixao-zero/programa-lixao-zero_vdefeso.pdf

Ministério do Meio Ambiente. (2020). **Programa nacional de recuperação de áreas contaminadas**. MMA. <https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/recuperacao-de-areas-contaminadas/ProgramaNacionaldeRecuperaodereasContaminadas.pdf>

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima - MMA. (2024). **Cidades Verdes Resilientes**. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/cidades-verdes-resilientes#:~:text=O%20momento%20político%2C%20tomado%20de,respostas%20urgentes%20do%20poder%20público>

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima - MMA. (2025). **MMA lança iniciativa AdaptaCidades**. <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/mma-lanca-iniciativa-adaptacidades>

Mitchell, G. (2019). Environmental Justice: An Overview. Em **Encyclopedia of Environmental Health** (2nd ed., p. 569–577). Elsevier. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124095489112278>

MonitoraEA. (s. d.). **MonitoraEA - Sistema Brasileiro de Monitoramento e Avaliação em Educação Ambiental**. Recuperado 10 de setembro de 2025, de <https://www.monitoraea.org.br>

Moreira, M. (2024). **Censo 2022: 470 mil indígenas vivem sem água, esgoto e coleta de lixo adequados**. G1 - Economia. <https://g1.globo.com/economia/censo/noticia/2024/10/04/censo-2022-quase-13-dos-indigenas-vivem-em-condicoes-precarias-de-saneamento-basico.ghtml>

Nogueira, V. (2024, agosto 30). **Como um aterro sanitário no Rio transformou o problema do lixo em solução energética**. O Globo. <https://oglobo.globo.com/economia/negocios/noticia/2024/08/30/como-um-aterro-sanitario-no-rio-transformou-o-problema-do-lixo-em-solucao-energetica.ghtml>

Oliveira, I. N. de, Oliveira, B. F. A. de, Silveira, I. H. da, Machado, L. M. G., Villardi, J. W. R., & Ignotti, E. (2023). Air pollution from forest burning as environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: An exposure indicator for human health. **Cadernos de Saúde Pública**, 39, e00131422.

Organização Pan-Americana de Saúde - OPAS. (2018). **Não polua o meu futuro! O impacto do ambiente na saúde das crianças** (N. 18–0023; p. 30). OPAS. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/49123>

Paz, M. G. A. da, Raymundo, M. H. A., Branco, E. A., Coletti, K. M., Portugal, S., Santos, C. K. N. dos, Souza, J. B. de, & Peres, I. K. (2022). **Avaliação de Políticas Públicas de Educação Ambiental: Interfaces entre o Sistema MonitoraEA e a experiência do Ibama**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <https://doi.org/10.29327/588886>

Peres, E. H. (2024, agosto 2). **Com meta de eliminar lixões, número de descarte irregular cresce 21,1% no Brasil**. Notícias R7. <https://noticias.r7.com/brasil/com-meta-de-eliminar-lixoes-numero-de-descarte-irregular-cresce-211-no-brasil-02082024/>

Pinheiro, Z. de S. (2024). **Estudo Analítico sobre a Participação das Comunidades Tradicionais na Construção do PDDU em Barcarena (PA), sob aÉgide da Convecção 169**. 106–106.

Pompermayer, F. M., & Sobrinho, E. S. (2023). A necessidade de investimentos para a universalização do saneamento no Brasil: Uma proposta de abordagem conforme a situação contratual dos grupos de municípios. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental do Ipea**, 29, 35–47. <https://doi.org/10.38116/brua29art3>

Porto, M. F., & Milanez, B. (2009). Eixos de desenvolvimento econômico e geração de conflitos socioambientais no Brasil: Desafios para a sustentabilidade e a justiça ambiental. **Ciência & saúde coletiva**, 14, 1983–1994.

Porto, M. F., Pacheco, T., & Leroy, J. P. (2013). **Injustiça ambiental e saúde no Brasil: O mapa de conflitos**. Editora Fiocruz.

Prizibisczki, C. (2024). **Mais da metade dos maiores municípios do país não possuem secretaria ambiental**. O Eco. <https://oeco.org.br/noticias/mais-da-metade-dos-maiores-municipios-do-pais-nao-possuem-secretaria-ambiental/>

Reciclar pelo Brasil. (s. d.). Recuperado 10 de setembro de 2025, de <https://reciclapelobrasil.com.br/#:~:text=Números%20de%20Impacto>

Rede ILPF. (s. d.). **Projeto Rural Sustentável – Caatinga**. Recuperado 10 de setembro de 2025, de <https://redeilpf.org.br/projeto-rural-sustentavel-caatinga/>

Requia, W. J., Amini, H., Mukherjee, R., Gold, D. R., & Schwartz, J. D. (2021). Health impacts of wildfire-related air pollution in Brazil: A nationwide study of more than 2 million hospital admissions between 2008 and 2018. **Nature communications**, 12(1), 6555.

Requia, W. J., Roig, H. L., & Schwartz, J. D. (2021). Schools exposure to air pollution sources in Brazil: A nationwide assessment of more than 180 thousand schools. **Science of the Total Environment**, 763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143027>

Ribeiro, L. (2023). **Decreto de Lula restabelece ampla participação social no Conama**. UOL. <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2023/02/17/decreto-de-lula-restabelece-ampla-participacao-social-no-conama.htm#:~:text=Por%20meio%20de%20decreto%2C%20o,sociedade%20civil%20integrantes%20do%20Conselho>

Rodrigues, G. S., & Martins, R. A. (2001). Efeitos potenciais do ozônio troposférico sobre as plantas cultivadas e o biomonitoramento ambiental. Em **Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira** (p. 143–165). Embrapa Meio Ambiente. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1056211>

Santos, F. C., Chaves, F. M., Negri, R. G., & Massi, K. G. (2024). Fires in Pantanal: The link to Agriculture, Conversions in Cerrado, and Hydrological Changes. **Wetlands**, 44(6), 75. <https://doi.org/10.1007/s13157-024-01832-5>

Sarokin, D. J., & Schulkin, J. (1994). Environmental Justice: Co-evolution of Environmental Concerns and Social Justice. **Environmentalist**, 14, 121–129. <https://doi.org/10.1007/BF01901305>

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental & Ministério das Cidades. (2023). **Caderno de debates. Plano Nacional de Saneamento Básico—Plansab**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. https://www.abes-dn.org.br/wp-content/uploads/2023/10/Caderno-de-Debates_final.pdf#page=79

Seixas, C. S., Prado, D. S., Joly, C. A., May, P. H., Neves, E. M. S. C., & Teixeira, L. R. (2020). Governança ambiental no Brasil: Rumo aos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS)? **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, 25(81). <https://doi.org/10.12660/cgpc.v25n81.81404>

Silva, E. M. de S., Cabrinha, N. M. G., da Silva Thompson, N. P., & Costa, L. C. P. (2025). A nova Lei de Licitações e Contratos (LEI No 14.133/2021): Impactos no planejamento, eficiência e transparência dos processos licitatórios nos municípios da administração pública do estado do Amazonas. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, 14(3), e1946–e1946. <https://doi.org/10.23900/2359-1552v14n3-41-2025>

Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR. (2019). **Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos**. SINIR. <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>

SOS Mata Atlântica. (2025). **Observando os rios 2025: O retrato da qualidade da água nas bacias hidrográficas da Mata Atlântica** (p. 40). SOS Mata Atlântica. <https://sosma.org.br/iniciativas/observando-os-rios>

Souza, H. P. de, Oliveira, W. T. G. H. de, Pereira, J. C. dos S., João Paulo, T., Ferreira, I. P. S., Esashik, S. N. G. de S., Lima, T. F. P. de, & Delácio, A. de S. (2020). Doenças infecciosas e parasitárias no Brasil de 2010 a 2017: Aspectos para vigilância em saúde. **Rev Panam Salud Publica**, 44(e10). <https://doi.org/10.26633/RPSP.2020.10>

Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L., & Bergmann, M. (2022). **Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems** (p. 1–221). WWF. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5898684>

UN Environment (Org.). (2019). **Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People**. Cambridge University Press; Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/9781108627146>

Verona, J. A., & Troppmair, H. (2004). **Evolução das questões ambientais, qualidade ambiental e de vida e a cidade de Várzea Paulista-SP**: breve comparação de conceitos. *Geografia*, 29(1), 111–126.

Vormittag, E. D. M. P. A. D. A., Cirqueira, S. S. R., Neto, H. W., & Saldiva, P. H. (2021). Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avancados**, 35(102), 7–30. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002>

Wolf, J., Johnston, R. B., Ambelu, A., Arnold, B. F., Bain, R., Brauer, M., Brown, J., Caruso, B. A., Clasen, T., & Colford, J. M. (2023). Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation, and hygiene in domestic settings: A global analysis for selected adverse health outcomes. **The Lancet**, 401(10393), 2060–2071.

World Health Organization. (2020). **WHO Global Strategy on Health, Environment and Climate Change: The Transformation Needed to Improve Lives and Well Being Sustainably Through Healthy Environments**. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240000377>

WRI. (s. d.). *GHG Protocol. O padrão global para que empresas e organizações mensurem e gerenciem emissões de gases de efeito estufa*. Programa de clima. Recuperado 9 de outubro de 2025, de <https://www.wribrasil.org.br/projetos/ghg-protocol>

Wu, Y., Li, S., Xu, R., Chen, G., Yue, X., Yu, P., Ye, T., Wen, B., Coêlho, M. de S. Z. S., & Saldiva, P. H. N. (2023). Wildfire-related PM2.5 and health economic loss of mortality in Brazil. **Environment international**, 174, 107906.

Ye, T., Guo, Y., Chen, G., Yue, X., Xu, R., Coêlho, M. de S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Zhao, Q., & Li, S. (2021). Risk and burden of hospital admissions associated with wildfire-related PM2.5 in Brazil, 2000–15: A nationwide time-series study. **The Lancet Planetary Health**, 5(9), e599–e607. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00173-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00173-X)

Zuanon, J., Sawakuchi, A., Camargo, M., Wahnfried, I., Sousa, L., Akama, A., Cunha, J., Ribas, C., D'Horta, F., Pereira, T., Lopes, P., Mantovanelli, T., Lima, T. S., Garzón, B., Carneiro, C., Reis, C. P., Rocha, G., Santos, A. L., de Paula, E. M., ... Pezzuti, J. (2019). Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu. **Paper do NAEA**, 28(2), 413.

QUALIDADE AMBIENTAL

**Como fazer do Brasil uma
nação com cada vez menos
lixo, mais reciclagem e menos
poluição?**



Foto: MMA

Laura Valente de Macedo¹

Andrea Struchel²

¹FGV Earth

²Prefeitura de Campinas e Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente

Segundo estimativa do IBGE (2024), a população urbanizada do Brasil atingiu 90% do total de 212,6 milhões de pessoas em 2023, das quais cerca de um terço concentradas nas 48 cidades com mais de 500 mil habitantes. Como centros consumidores, as cidades contemporâneas, inclusive no Brasil, têm se desenvolvido a partir do modelo linear de “take–make–waste” (extrair-produzir-descartar), que pressupõe a infinitude dos recursos naturais e da capacidade do meio ambiente de absorver os rejeitos depois do seu processamento para atividades humanas.

Os dados da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) revelam que em 2023, 31,9% dos municípios ainda dispunham dos resíduos coletados em lixões (2024). Estima-se que, na média nacional, sejam geradas 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), das quais 93% são coletadas; dessas, apenas 8% são recicladas (Quadro 1). A fim de interromper esse ciclo aberto em um sistema terrestre que é fechado, a

alternativa é transicionar para o modelo circular, em que o consumo é reduzido e os resíduos são reinseridos na cadeia produtiva.

Portanto, para uma resposta simples à pergunta “Como fazer do Brasil uma nação com cada vez menos lixo, mais reciclagem e menos poluição?”, o ponto de partida é a adoção de um círculo virtuoso de produção e consumo, característico da economia circular. O caminho rumo ao desenvolvimento sustentável implica adotar uma abordagem regenerativa e inclusiva, para ir além da gestão integrada de resíduos e da melhoria da eficiência produtiva para evitar desperdício e poluição – da água, do solo e da atmosfera. Mesmo que não seja uma prioridade da administração municipal, aprimorar a gestão de resíduos sólidos traz o benefício adicional de contribuir para o objetivo global de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de origem antropogênica — principal causa das mudanças climáticas, cujos impactos afetam sobretudo as cidades.

Quadro C4.1. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil — Síntese 2022–2024

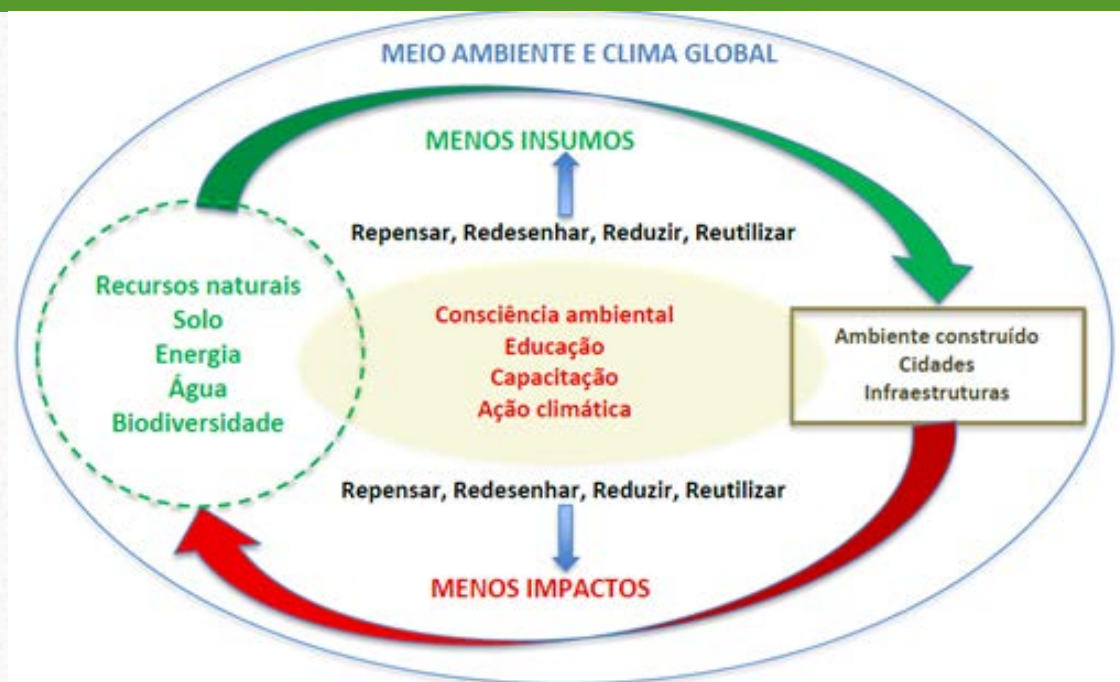
Fonte/Instituição	Ano de referência	Indicadores principais	Valores/ Situação atual	Observações
IBGE - Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC)	2023	Estrutura institucional e serviços de coleta e disposição final	60,5% dos municípios possuem coleta seletiva; 31,9% ainda destinam resíduos em lixões	Fonte oficial de caráter censitário; dados qualitativos e estruturais, não em toneladas
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Ministério das Cidades)	2022	Quantidade de RSU coletados, reciclados e destino final	72,7 milhões t. coletadas; 64% com destinação adequada (aterros sanitários); 1,1 milhão t. recuperadas para reciclagem	Dados autodeclarados; cobertura parcial (~68% dos municípios)
ABRELPE - Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil	2023	Geração, coleta e destinação de RSU	80,96 milhões t. geradas; 75,6 milhões t. coletadas (93,4%); 58,5% com destinação adequada; ~8% dos resíduos secos reciclados	Referência técnica nacional reconhecida pelo MMA e organismos internacionais

Quadro C4.1. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil — Síntese 2022–2024

Fonte/Instituição	Ano de referência	Indicadores principais	Valores/ Situação atual	Observações
ABREMA - Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024	2024 (dados 2023)	Geração, coleta e reciclagem de RSU	81 milhões t. geradas; 93% de cobertura de coleta; 58% de destinação adequada; <10% reciclado	Fonte técnica nacional atualizada; base metodológica derivada da ABRELPE, SNIS e IBGE
MMA - Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)	2022	Diagnóstico e metas nacionais de RSU	77,1 milhões t. geradas (base 2020-2021); Meta: elevar reciclagem a 25% até 2040; Eliminar lixões até 2028	Documento de referência oficial; consolida dados do IBGE, SNIS e ABRELPE

Segundo Stahel (2016), a Economia Circular propõe substituir o modelo linear de “extrair, produzir, descartar” por sistemas regenerativos que mantêm produtos, componentes e materiais em uso pelo maior tempo possível (Figura 1). Seu foco está em preservar valor, reduzir desperdícios e promover a eficiência no uso de recursos por meio da reutilização, remanufatura e reciclagem, criando benefícios econômicos,

sociais e ambientais, além de reduzir a dependência de matérias-primas, as emissões de GEE e a poluição associadas à produção e ao consumo. A Economia Circular tornou-se um conceito importante para identificar soluções voltadas à sustentabilidade, podendo contribuir para tornar o desenvolvimento urbano mais sustentável e, assim, fortalecer a proteção ambiental (Paes et al., 2021).

Figura C4.1. Economia circular

Fonte: Elaboração própria.

O Brasil é signatário de diversos tratados ambientais, incluindo a Agenda 2030 que define 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), sendo os mais relevantes para a resposta a essa pergunta o ODS 11 (Cidades Sustentáveis), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ODS

13 (Ação Climática) e ODS 15 (Vida Terrestre). Ademais, o país possui um arcabouço legal robusto para a proteção do meio ambiente, com diversas políticas públicas e planos setoriais em nível nacional para orientar as ações subnacionais rumo à sustentabilidade. Um resumo das principais

normas brasileiras compatíveis com a implantação da economia circular encontra-se no Quadro 2.

O principal marco referente à gestão integrada de resíduos sólidos no Brasil é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010, que estabelece diversos princípios como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa. Entretanto, sua aplicação ainda é desigual e fragmentada e depende de capacidade técnica, financeira e institucional em nível municipal. A União e os estados devem apoiar os municípios com financiamento, capacitação e consórcios regionais, especialmente nas regiões mais pobres, para implementar a PNRS.

Por fim, mas não menos importante, um elemento fundamental no fluxo de gestão dos RSU é a participação de catadores autônomos (da cadeia informal) que devem ser considerados como agentes ambientais da transição para a economia circular. Dados para 2023 do Panorama de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil (ABRELPA, 2024) revelam que 4,5 milhões de toneladas do

material coletado pelos catadores são reciclados, ao passo que a coleta dos serviços públicos recuperou menos da metade, cerca de 2,2 milhões de toneladas, equivalentes a 3.3% dos RSU coletados.

Embora o Brasil ainda não possua uma Lei Nacional da Economia Circular específica, diversos dispositivos legais já incorporam princípios circulares, sobretudo a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, a redução do desperdício e o uso eficiente dos recursos naturais. A Constituição Federal, em seu artigo 225, garante o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e impõe ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo. Esse princípio é o fundamento para políticas de economia circular, pois implica o uso racional dos recursos e a prevenção da poluição. A efetividade de sua aplicação, porém, depende da coordenação federativa, da integração entre ministérios e esferas de governo e do fortalecimento da capacidade técnica e financeira dos municípios — os principais executores dessas políticas públicas.

Quadro C4.2. Marco Normativo da Economia Circular no Brasil

Instrumento Legal/Político	Ano	Conteúdo relacionado à Economia Circular	Nível de Implementação / Observações
Constituição Federal (art. 225)	1988	Estabelece o direito ao meio ambiente equilibrado e o dever de proteção dos recursos naturais - base para o princípio da circularidade.	Fundamento constitucional para políticas de sustentabilidade e uso racional dos recursos.
Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n° 12.305)	2010	Define a hierarquia da gestão de resíduos (não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final). Institui a responsabilidade compartilhada e a logística reversa.	Principal marco legal da circularidade no Brasil; requer implementação integrada nos três níveis federativos.
Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei n° 12.187)	2009	Estimula redução de emissões e uso eficiente de recursos e energia, em sinergia com práticas circulares e economia de baixo carbono.	Articulação com planos setoriais e metas de mitigação de emissões.
Política Nacional de Produção e Consumo Sustentáveis (Decreto n° 7.746)	2012	Promove padrões sustentáveis de produção e consumo, ecodesign, rotulagem ambiental e compras públicas sustentáveis.	Implementação por programas interministeriais; foco em inovação e mercado sustentável.
Marco Legal do Saneamento (Lei n° 14.026)	2020	Inclui a recuperação de recursos nos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos, incentivando o reaproveitamento e o biogás.	Em fase de implementação nos municípios e consórcios regionais.
Lei de Incentivos à Reciclagem (Lei n° 14.260)	2021	Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Reciclagem (Recicla+ Brasil). Prevê deduções fiscais e fomento a projetos de reciclagem.	Em implantação; fortalece instrumentos econômicos e incentivos privados.
Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)	2022	Introduz o eixo "Circularidade Econômica e Inovação". Define metas de redução de resíduos e aumento de reciclagem até 2040.	Principal plano em execução; prevê governança nacional e indicadores de circularidade.

Quadro C4.2. Marco Normativo da Economia Circular no Brasil

Instrumento Legal/Político	Ano	Conteúdo relacionado à Economia Circular	Nível de Implementação / Observações
Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC) - em formulação	2023-2025	Prevê a criação de um marco regulatório integrado, metas nacionais, incentivos à inovação e articulação interministerial.	Em elaboração pelo MMA, MDIC, MCTI e parceiros institucionais.
Resolução CONAMA n° 307 (Construção Civil)	2002	Regula o manejo e reaproveitamento de resíduos da construção civil e demolição.	Implementação descentralizada; contribui para circularidade no setor de obras.
Decreto n° 10.240 (Eletroeletrônicos e Pilhas)	2020	Estabelece sistema de logística reversa para eletroeletrônicos e pilhas, com metas progressivas.	Em execução, com abrangência nacional.
Programas Estaduais de Economia Circular (ex.: São Paulo, Paraná, Minas Gerais, RS)	2019-2024	Desenvolvem planos de ação regionais, hubs de inovação circular e parcerias público-privadas.	Iniciativas subnacionais pioneiras; contribuem para construção da estratégia nacional.
Fundo Clima e FNMA	--	Financiamento de projetos de eficiência de recursos, reciclagem e inovação tecnológica.	Instrumentos financeiros complementares à agenda circular.

Em nível local, as ações prioritárias incluem implementar, expandir e fiscalizar as medidas compatíveis com essas políticas e planos. E a gestão municipal pode liderar adotando práticas, como segregação de lixo e redução de desperdício, no âmbito da própria administração pública. Dentre as diversas estratégias possíveis, destaca-se por exemplo o fortalecimento do sistema de compras públicas sustentáveis, priorizando produtos reciclados, reutilizáveis ou com menor pegada de carbono. Isso gera demanda de mercado e torna a reciclagem mais viável economicamente.

Outras iniciativas que podem trazer benefícios locais e até contribuir para a redução de emissões de GEE passam por parcerias com a comunidade, universidades e empresas, como o caso de Florianópolis (Quadro 3) em que a prefeitura desenvolveu uma política pública de agricultura urbana como infraestrutura verde a azul, a partir de uma parceria com comunidades locais, para reduzir o lixo orgânico disposto inadequadamente, transformando-o em composto para cultivo de hortaliças e plantas medicinais (Macedo et al., 2024).

Quadro C4.3. Inovação em gestão de resíduos sólidos urbanos em Florianópolis

O programa Cultiva Floripa da prefeitura de Florianópolis, criado por decreto em 2021, teve origem no Programa de Agricultura Urbana (PMAU), estabelecido por decreto em 2017, com o objetivo de resolver um problema de gestão de resíduos sólidos urbanos e, ao mesmo tempo promover a agricultura urbana, a reciclagem e a compostagem, entre outras medidas de gestão urbana sustentável. Inspirado pela iniciativa “Revolução dos Baldinhos” iniciada em 2016, o programa teve continuidade devido às parcerias entre municipalidade, associações comunitárias, ONGs e universidade. Suas atividades incluem a gestão de resíduos orgânicos através de compostagem e vermicompostagem, produção de mudas e sementes, e certificação de produção orgânica. Até 2022 a prefeitura havia mapeado 112 hortas comunitárias em Unidades Escolares Municipais, Postos de Saúde e bairros, além de lotes públicos vagos, evitando assim o despejo de lixo e a contaminação.

Fonte: Prefeitura Municipal de Florianópolis, 2025. <https://www.pmf.sc.gov.br/sistemas/cultivaFloripa/> Acesso em 25 out. 2025

Um outro exemplo de economia circular encontra-se na Amazônia, onde se tem reduzido impactos da má gestão de resíduos e gerado benefícios locais. Uma agroindústria que produz óleos de andiroba e murumuru para cosméticos envolve 400 famílias e reaproveita 20 t/ano de resíduos, transformando tortas oleaginosas em sabão

e cascas em adubo. No rio Juruá, comunidades e povos indígenas recuperaram o pirarucu com manejo sustentável, gerando 100 t/ano de peixe e 7,5 t de resíduos usados para produzir ração de tartarugas (Paes et al., 2021). Essas ações integram conservação, renda e reaproveitamento, promovendo a transição

do modelo linear para o circular.

Existem vários mecanismos e estratégias de governança para apoiar as cidades brasileiras nessa transição. Além de fundos nacionais e internacionais, de governos, ONGs e fundações, municípios encontram nas redes nacionais e transnacionais uma fonte de aprendizado por meio de troca de experiências e treinamentos, cooperação entre pares e mesmo financiamento. Dentre as redes transnacionais de cidades, as mais importantes e atuantes no Brasil incluem o ICLEI e a C40.

No Brasil, a Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente (ANAMMA) tem apoiado os municípios na gestão integrada de resíduos sólidos, principalmente por meio de capacitação técnica, articulação institucional e troca de experiências entre gestores municipais (ANAMMA, 2021). Além disso, a ANAMMA promove a integração vertical entre instâncias de governo, atuando frequentemente em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e com o Fórum Nacional de Secretários de Meio Ambiente. Nesse sentido, pode-se citar o programa de capacitação sobre o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que promove o fortalecimento da governança municipal no tema. Entretanto, como demonstram os números oficiais em relação à gestão de RSU, os planos precisam sair do papel.

Portanto, conduzir o Brasil a um futuro com menos lixo e menos poluição requer colaboração entre instâncias e departamentos de governo, integrar políticas públicas, promover inovação, inclusão social e consciência cidadã. Trata-se de transformar o modo como o país produz, consome e valoriza os recursos naturais. Essa transição é tanto ambiental quanto ética — um passo essencial para um Brasil mais justo e sustentável.

Referências

- Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente (ANAMMA). (2021). **ANAMMA: Uma história de legados e conquistas** (1ª ed.). São Paulo: BB Editora. ISBN 978-85-62716-88-1.
- Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA). (2024). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: ABREMA. <https://www.abrema.org.br/> (Acesso em 22 de outubro de 2025)
- Brasil. Ministério das Cidades (MCID). (2023). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2022**. Brasília: MCID. <https://www.gov.br/mdr/snis> (Acesso em 22 de outubro de 2025)
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). (2022). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares**. Brasília: MMA. <https://www.gov.br/mma> (Acesso em 22 de outubro de 2025)
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2024). **Pesquisa de Informações Básicas Municipais – MUNIC 2023: Meio ambiente**. Rio de Janeiro: IBGE. <https://www.ibge.gov.br> (Acesso em 22 de outubro de 2025)
- Macedo, L. V., Bellezoni, R. A., de Oliveira, J. A. P., Salehi, P., Currie, P., & Jones, A. (2023). **Inovar em infraestrutura verde e azul para melhorar o nexo alimento-água-energia: Um guia de implementação para cidades e governos subnacionais** (Tradução e adaptação ao contexto brasileiro por L. S. V. de Macedo). São Paulo: ICLEI América do Sul; FGV-EAESP CEISA. <https://americadosul.iclei.org/documentos/innovar-em-infraestrutura-verde-e-azul-para-melhorar-o-nexo-alimento-agua-energia/> (Acesso em 22 de maio de 2025)
- Paes, M. X., Campos-Silva, J. V., & de Oliveira, J. A. P. (2021). Integrating circular economy in urban Amazon. **npj Urban Sustainability**, 1, 29. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00031-z>

Elineia Gomes de Jesus¹

José Carlos da Silva Gomes¹

Marcelo Aversa¹

¹Cooperativa Rainha da Reciclagem

A meta de recuperação de resíduos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos para o ano de 2024 estava prevista em 13,8%, com vistas a atingir 48,1% no ano de 2040 (BRASIL, 2022). Contudo, a realidade está bem distante desta meta. No Brasil, em 2022, foram recuperados 1,12 milhão de toneladas/ano de massa de recicláveis sólidos secos, cujo montante estimado representa cerca de 5,5% do total potencialmente recuperável. (BRASIL, 2023). A quase totalidade desta recuperação de recicláveis é feita por 38.999 catadores associados em 1.921 entidades associativas ou cooperativas presentes em 1.372 municípios da amostra do SNIS de 2022 (idem).

A solução do problema de como conduzir o Brasil a uma nação que cada vez menos gere resíduos, rejeitos e poluição já está definida nas leis, planos e documentos internacionais. O problema é fazer acontecer o que está, por exemplo, na Lei 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS) e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável “Consumo e Produção Responsáveis” (ODS 12) e “Cidades e Comunidades Sustentáveis” (ODS 11). Desde a década de 1990, de um lado, as cooperativas de trabalho da reciclagem de resíduos brasileiras têm se organizado, como instrumento de luta de catadores(as) por uma vida digna e, de outro, as municipalidades têm viabilizado mecanismos de remuneração pelos serviços prestados pelos(as) catadores(as) (Besen et al, 2014).

Em que pese o avanço da PNRS para o setor, a legislação e sua regulamentação não avançam em relação à logística reversa e à integração dos serviços prestados por catadores(as) no ciclo de vida dos produtos (Pisano et al, 2022; Jacobi et al, 2011). Apesar, das omissões do Estado brasileiro (união, estados e municípios), dois caminhos estão sendo tomados pelas organizações de

catadores (as): a formação de redes de cooperativas de reciclagem; e o debate perante as municipalidades para formalização de contratos de prestação de serviços que não se limite a remuneração justa pelos serviços ambientais prestados, mas também para que esta ação esteja integrada a uma política municipal de inclusão social.

As redes de cooperativas de reciclagem viabilizam a integração na produção, armazenamento e comercialização do material reciclável em volumes e periodicidade compatíveis com a dinâmica das linhas e volumes de produção exigidos pelas grandes indústrias recicladoras (Pisano et al, 2022). Estudos indicam a existência de 50 redes de cooperativas no Brasil (Campos et al, 2021), representando um processo inovador no país e de vanguarda no cenário internacional (Pisano et al, 2022). Entre os benefícios estão: a viabilização de escala para atender os processos de produção pelas grandes recicladoras, por meio do armazenamento e comercialização em conjunto; o intercâmbio de informações sobre preços praticados pelos compradores evitando a exploração por partes intermediárias da cadeia de reciclagem; o aumento do valor agregado dos materiais recicláveis e seu acesso direto aos grandes recicladores como fator de aumento de renda das cooperativas; a qualificação da gestão por meio da conjugação de esforços para enfrentamento de desafios comuns, desde a capacitação de cooperados(as) até soluções tecnológicas de produção e de informação (idem).

No âmbito das relações contratuais entre cooperativas de reciclagem e municipalidades, dois principais problemas podem expressar lacunas nas políticas públicas de recuperação de recicláveis sólidos secos. O primeiro diz respeito aos modelos contratuais entre municipalidades e

associações ou cooperativas de reciclagem que não remuneram de forma justa a prestação dos serviços de catadores(as), como sujeitos fundamentais no ciclo da coleta seletiva. É necessário avançar para uma equação de pagamento pelos serviços ambientais prestados que inclua o conjunto das despesas da unidade de triagem e o pagamento digno de cooperados(as). O segundo trata da ausência ou precariedade das formas de inclusão social de catadores(as), por meio da obrigação dos municípios promoverem ações intersetoriais de saúde, segurança alimentar, assistência social, desenvolvimento econômico, educação etc. É imprescindível partir do pressuposto evidente de que catadores(as) necessitam primeiro ser reciclados como seres humanos para o trabalho e convivência social, o que se inicia com a alimentação e saúde. A Cooperativa Rainha da Reciclagem desenvolve apoio a adictos, com cuidados terapêuticos baseados na atenção à espiritualidade, ao trabalho e à alimentação, tendo o suporte da Associação Beneficente Toque de Esperança.

É inegável que muito se avançou desde a década de 1990 até o presente na reciclagem de resíduos sólidos no Brasil. Este texto buscou apresentar caminhos para que união e estados coordenem de fato as políticas públicas para recuperação de resíduos sólidos secos, a fim de que os municípios tenham direção e responsabilidade pela efetividade da PNRS. A questão é que quem tem fome não pode esperar vinte ou trinta anos até que uma política pública seja definida. A pessoa que está nesta situação ou ela morre ou se torna catador(a).

Referências

- Besen, G. R., et al. (2014). Coleta seletiva na região metropolitana de São Paulo: Impactos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Ambiente & Sociedade**, 17, 259–278.
- Brasil. Ministério das Cidades (MCidades)/Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). (2023). **Diagnóstico temático: Manejo de resíduos sólidos urbanos – Visão geral (ano de referência 2022)**. MCidades/SNIS.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Qualidade Ambiental. (2022). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)**. MMA.
- Jacobi, P. R., & Besen, G. R. (2011). Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: Desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, 25, 135–158.
- Pisano, V., Demajorovic, J., & Besen, G. R. (2022). Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil: Perspectivas das redes de cooperativas de catadores. **Ambiente & Sociedade**, 25, e01511.

Ilvan Medeiros Lustosa Junior¹

Cristiane Gomes Barreto²

¹CDS/UnB

²UnB

O desafio de transformar o Brasil em uma nação com menos lixo, mais reciclagem e menor poluição exige uma mudança estrutural que vai muito além da gestão técnica dos resíduos. Trata-se de um processo que envolve dimensões culturais, sociais e ambientais, demandando uma revisão profunda da forma como a sociedade entende, produz e descarta seus materiais. O lixo não é apenas um problema visível das cidades, mas o reflexo de um modelo de desenvolvimento que historicamente se baseou no consumo excessivo e no descarte inconsequente. Para superar essa lógica, é preciso promover uma mudança de mentalidade, capaz de transformar o lixo em recurso e estimular práticas que fortaleçam a economia circular e a justiça socioambiental. Um primeiro passo nessa transição é popularizar a distinção entre resíduos e rejeitos. No senso comum, tudo aquilo que não serve mais é classificado como “lixo”, sem diferenciar o que pode ser reaproveitado do que realmente não possui valor econômico ou energético. Resíduos, como papel, vidro, plástico ou restos orgânicos, podem ser reciclados, compostados ou reinseridos em cadeias produtivas. Já os rejeitos, como materiais hospitalares ou contaminados, exigem disposição final em aterros. Essa distinção é chave para a economia circular, pois permite enxergar os resíduos como matéria-prima e não como sobras descartáveis. Difundir esse conceito na sociedade é essencial para reduzir a geração de rejeitos, ampliar a reciclagem e fortalecer cadeias produtivas sustentáveis. Mas é igualmente importante problematizar quem sofre os efeitos da má gestão dos rejeitos e quem são os principais responsáveis por sua produção. Historicamente, os impactos da poluição recaem de forma desproporcional sobre populações vulnerabilizadas — comunidades periféricas, povos tradicionais e

trabalhadores informais da reciclagem — que vivem próximas a lixões, rios contaminados ou áreas degradadas. Enquanto isso, grandes conglomerados industriais e setores de alto consumo concentram a geração dos resíduos mais perigosos e de difícil tratamento. Esse desequilíbrio expressa o que se denomina racismo ambiental: a sobreposição de desigualdades sociais, étnicas e territoriais na distribuição dos riscos e danos ambientais. Avançar para um país com menos lixo e menos poluição exige, portanto, políticas que responsabilizem os grandes geradores, ampliem a logística reversa e assegurem condições dignas aos catadores e às populações diretamente afetadas.

Outro aspecto fundamental é reconhecer a diversidade dos resíduos e a importância de incluir materiais da sociobiodiversidade e dos territórios tradicionais nas estratégias de gestão. Resíduos agroextrativistas, como cascas, sementes e fibras do Cerrado ou da Amazônia, podem ser transformados em insumos para a indústria alimentícia, cosmética ou energética. Do mesmo modo, práticas de compostagem comunitária em áreas rurais e urbanas contribuem para reduzir o volume de rejeitos destinados a aterros e ao mesmo tempo gerar adubos para a agricultura familiar. Incorporar esses resíduos nos sistemas de gestão amplia a valorização da sociobiodiversidade e promove inovação social, vinculando conservação ambiental à geração de renda local.

No campo das políticas públicas, ainda há muito a avançar. Embora o Brasil possua a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), implementada em 2010, os dados revelam que uma parcela significativa dos municípios ainda não possui programas estruturados de coleta seletiva ou alternativas ambientalmente adequadas

para a destinação final. Segundo diagnósticos recentes, apenas cerca de um terço das cidades brasileiras têm alguma iniciativa consolidada de coleta seletiva, e mesmo nessas, a cobertura é parcial e desigual. Isso significa que a maioria dos resíduos recicláveis ainda segue para aterros ou lixões. A ampliação de programas municipais e consorciados de gestão de resíduos, associada a incentivos para a indústria da reciclagem e a inclusão dos catadores como atores centrais, é fundamental para alterar esse cenário.

Assim, conduzir o país a uma nação com menos lixo e mais reciclagem requer uma combinação de mudanças culturais, institucionais e produtivas. É necessário fortalecer a educação ambiental desde as escolas, ampliando a consciência sobre consumo responsável e economia circular. É imprescindível também ampliar políticas públicas que garantam infraestrutura de coleta seletiva, reciclagem e compostagem em larga escala, bem como mecanismos de fiscalização que responsabilizem os grandes geradores e assegurem equidade ambiental. Além disso, é estratégico investir em inovação social e tecnológica, reconhecendo a riqueza dos resíduos da sociobiodiversidade e promovendo soluções enraizadas nos territórios.

Em suma, tornar o Brasil um país com menos lixo e menos poluição não é apenas uma questão técnica, mas um projeto político de transformação social e cultural. Trata-se de redefinir as relações entre consumo, produção e ambiente, garantindo justiça socioambiental e inclusão social. Ao distinguir resíduos de rejeitos, combater o racismo ambiental, valorizar a sociobiodiversidade e fortalecer políticas públicas de gestão integrada, o país poderá construir uma economia verdadeiramente circular, sustentável e justa — conduzindo-nos, assim, a uma nação com cada vez menos lixo e mais vida.

Figura C4.2. Resíduos recém-gerados a partir da quebra do fruto de Baru (*Dipteryxatala*) na comunidade de Sagarana, Arinos- MG, Brasil em 2025.



Fonte: Autoria

Figura C4.3. Área de descarte inadequado de resíduos de Baru (*Dipteryx atala*) na comunidade de Sagarana, Arinos- MG, Brasil em 2025.



Fonte: Autoria

5 RECURSOS HÍDRICOS



Foto: Gilberto Soares/MMA

Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:
<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou
<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

O ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS

José Gustavo Féres¹

¹Técnico em Planejamento e Pesquisa do IPEA e professor da FGV EPGE

Sumário Executivo

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade hídrica no mundo, mas esta abundância não significa que o país esteja isento de desafios em relação ao gerenciamento de seus recursos hídricos. A água encontra-se desigualmente distribuída ao longo do território. Além de espacialmente desigual, a disponibilidade hídrica mostra uma assimetria em relação à distribuição da população, com 80% dos recursos concentrados na Região Amazônica que abriga apenas 5% da população brasileira e 9% do uso de água.

A complexidade dos desafios da gestão de recursos hídricos no Brasil tende a aumentar no contexto da denominada “tríplice crise”, representada pelas mudanças climáticas, pelo desmatamento e pela perda da biodiversidade. Os cenários dos diferentes modelos climatológicos apontam de forma consistente para as alterações no regime de chuvas no país, com a intensificação e maior frequência de eventos extremos como secas severas e inundações ao longo do século XXI. Além disso, o desmatamento e as alterações climáticas levam à perda de biodiversidade, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos e a sua capacidade de regular o ciclo da água. Os efeitos da tríplice crise sobre o regime hidrológico poderão contribuir para o agravamento problemas de segurança hídrica.

Além do um cenário mais complexo e desafiador em relação à oferta, os gestores de recursos hídricos devem ainda se defrontar com uma crescente demanda dos setores usuários.

A expansão da agricultura irrigada, o crescimento urbano e o processo de industrialização tendem a impactar tanto a quantidade quanto a qualidade da água, bem como a intensificar os conflitos pelo seu uso. Chama a atenção o aumento da importância relativa da irrigação. O setor respondia por 35,1% de retirada de água em

1970, atende pela metade do uso no momento atual (2023) e deve responder por 56% do uso segundo as projeções para o ano de 2040. Enquanto a vazão de retirada era de 188,7 m³/s em 1970, projeta-se um aumento para 1553,5 m³/s até 2040, um aumento de oito vezes.

O saneamento é o grande desafio para melhora da qualidade da água para a população e meio ambiente. 95% da população brasileira residente em domicílios conta com água canalizada, proveniente tanto da rede geral de distribuição como do uso de fontes alternativas. Porém, os indicadores de tratamento de esgoto tem baixas taxas de cobertura para o nível de desenvolvimento país. Do total do esgoto gerado, apenas 52,2% é tratado.

Existem grandes disparidades regionais no acesso à água e esgoto tratados. Enquanto o percentual de tratamento de esgoto alcança 61,6% na região Sudeste, na região Norte ele limita-se a 19,8%. São Paulo tinha mais de 90% da população atendida por rede pública de esgoto em 2022, mas alguns estados ficavam abaixo de 10%, como o Pará (9,2%). Cerca de 85% da população no Brasil em 2022 tinha acesso à rede de abastecimento de água, sendo que a Região Norte contava com o menor atendimento (64,2%) e a Região Sul com o maior (91,6%). Os quadros mais críticos em termos de poluição orgânica são observados nas proximidades dos maiores aglomerados urbanos do país.

A implementação do sistema de gestão descentralizado e participativo dos recursos hídricos no Brasil mostrou avanços significativos desde a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos em 1997. Ainda que o ritmo de implementação das estruturas de governança e dos instrumentos de política ocorra de forma desigual no território, as bacias hidrográficas com maior potencial para conflitos pelo uso da água já contam com comitês ativos e com

planos de bacias hidrográficas em execução. O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos consolidou-se e permite o monitoramento das informações sobre disponibilidade hídrica e usos da água a partir da integração de dados, sendo um instrumento importante de planejamento e apoio à tomada de decisão. O planejamento estratégico do setor ocorre tanto em nível local (planos de bacia hidrográfica) quanto em nível nacional, com o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 sendo um instrumento de macroplanejamento estratégico com visão de longo prazo. Acumulam-se ainda os casos de implementação da cobrança pelo uso da água.

Apesar dos avanços na implementação de um modelo de gestão descentralizado e participativo, ainda permanecem desafios a serem enfrentados pelos gestores de recursos hídricos. A integração da gestão dos recursos hídricos com as demais políticas setoriais mostra-se fundamental para garantir o aproveitamento múltiplo da água de forma sustentável. A articulação com as estratégias definidas para os diferentes setores,, bem como a incorporação dos efeitos das mudanças climáticas na prospecção dos cenários hidrológicos, são condições necessárias para a garantia da segurança hídrica no longo prazo.

Introdução

O Brasil detém cerca de 12% da água doce do planeta, sendo um dos países com maior disponibilidade hídrica no mundo. No entanto, esta abundância de oferta de água não significa que o país esteja isento de desafios em relação ao gerenciamento de seus recursos hídricos e tampouco em relação ao cumprimento das metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 – Água e Saneamento. Baixos índices de cobertura de saneamento, bem como o lançamento de efluentes domésticos e industriais com tratamento inadequado, têm impacto significativo sobre a qualidade das águas interiores.

A necessidade de abastecimento dos grandes aglomerados urbanos e o aumento da área irrigada resultam em conflitos pelo uso da água em determinadas regiões. Por fim, as mudanças nos padrões de precipitação e a redução na disponibilidade de água doce em certas regiões também são preocupações crescentes, uma vez que afetam a capacidade dos sistemas de atender às necessidades hídricas da população e da economia.

Disponibilidade Hídrica

O Brasil é um país que apresenta dimensões continentais e grande diversidade de biomas, que variam de muito úmidos a muito secos. Ainda que a pluviosidade média esteja na faixa de 1.760 mm/ano, as chuvas não se distribuem de

maneira espacialmente uniforme: a região semiárida apresenta índices inferiores a 500 mm/ano, enquanto a região Amazônica pode registrar índices que superam 3.000 mm/ano. Estas características resultam em uma disponibilidade hídrica complexa e desigualmente distribuída no território.

Além de espacialmente desigual, a disponibilidade hídrica mostra uma assimetria em relação à distribuição da população. A Região Hidrográfica Amazônica, por exemplo, abriga cerca de 80% da água doce superficial do país e abriga apenas 5% da população total brasileira. Já a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste possui 2,5% da água disponível, mas abriga aproximadamente 14,8% da população brasileira, e desse montante 92% vivem em áreas urbanas.

Tendo em vista as flutuações naturais dos regimes de vazão, a gestão de recursos hídricos utiliza o conceito de disponibilidade hídrica superficial, que é uma vazão mínima de referência para fins de planejamento. No cálculo da disponibilidade hídrica são consideradas as garantias naturais de oferta de água (mensuradas pela vazão Q95) somadas ao aumento de garantias ofertado pelos reservatórios, de acordo com suas regras de operação¹.

A Figura 5.1 apresenta a disponibilidade hídrica para todo o território nacional. Como pode ser observado, as menores ofertas de água são observadas na região semiárida da região Nordeste.

Figura 5.1 - Disponibilidade hídrica no Brasil

Fonte: Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2021 (ANA, 2022).

Comportamento de Chuvas e Vazões

O período recente tem sido caracterizado por variações significativas nas vazões observadas em grande parte do Brasil. Entre 2010 e 2020 foram registradas reduções de vazão substanciais em diferentes regiões. A região Nordeste, que depende fortemente da água armazenada em seus reservatórios, apresentou uma grande seca que se estendeu de 2012 até 2016. Como reflexo dos anos de estiagem, 65 açudes que

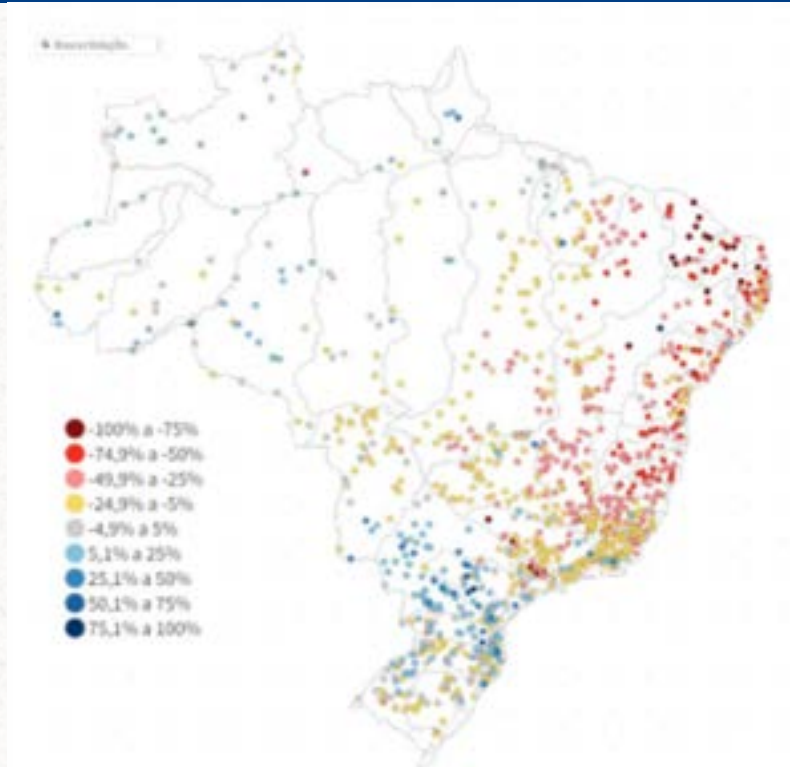
forneem água para abastecimento público encontravam-se secos em dezembro de 2016. Na UGRH São Francisco, observaram-se reduções das vazões na ordem de 25 a 50% no período entre 2010 e 2020. Reduções importantes nas vazões também foram registradas na UGRH Tocantins-Araguaia e na maior parte da UGRH Paraguai².

A Figura 5.2 apresenta uma comparação da vazão observada no período 2010-2020 em relação à média do período 1980-2010. Destacam-se as reduções de vazão em regiões já caracterizadas por uma baixa disponibilidade hídrica.

¹A Q95 é obtida pela ordenação das vazões diárias medidas na estação fluviométrica durante todo seu histórico, sendo seu valor o que limita as 5% menores observações. Assim, espera-se que em 95% do tempo a vazão no rio seja maior ou igual à Q95. Já para as garantias ofertadas pelos reservatórios destinados à geração de energia elétrica, consideram-se às vazões defluentes mínimas obrigatórias, e para os demais reservatórios a garantia adicional é dada por aquilo que sua vazão regularizada com 95% de garantia supera sua Q95.

²As Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs), definidas como unidades territoriais de planejamento, de gestão e de intervenção em recursos hídricos, foram criadas pela Resolução nº 109/2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. O Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022 – 2040 delimita 47 UGRHs interestaduais e 17 UGRHs de bacias estaduais.

Figura 5.2 - Diferença das vazões observadas no período 2010-2020 em relação à média 1980 – 2010 (em %)



Fonte: Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2021 (ANA, 2022).

Desde 2016, os registros de precipitação no Brasil vêm apresentando valores abaixo da média na maior parte do seu território. Considerando a magnitude dessa diminuição, expressa em termos de tempo de retorno (TR), não foi incomum observar ao longo desses anos baixos valores cujos TRs foram maiores que 50 anos. Assim, condições críticas de seca que só eram esperadas, em média, a cada 50 anos, ocorreram em diversas localidades nos últimos anos. As regiões localizadas mais ao norte e nordeste do Brasil foram as mais impactadas por esses eventos críticos, e apenas a partir de 2020 houve uma melhoria das condições de baixa precipitação nessas regiões. Já as regiões localizadas mais ao sul do Brasil, incluindo parte importante da bacia hidrográfica do Paraná, vivenciaram períodos úmidos nos anos 2016 e 2017. Porém, a partir de 2018, houve um deslocamento da seca para essas regiões, culminando com a recente crise energética do Brasil.

Para as vazões, observou-se desde 2016 um reflexo daquilo que já vinha sendo prenunciado pelos registros de precipitação. No entanto, os eventos de seca foram mais

pronunciados que aqueles observados na precipitação, demonstrando que outros fatores além da questão climática como, por exemplo, os associados aos usos da água e ao uso e ocupação do solo, impactam sobremaneira a disponibilidade hídrica. De fato, a chamada “tríplice crise”, determinada pela ação conjunta dos eventos climáticos, o desmatamento e a perda de biodiversidade, tende a agravar os problemas as situações de vulnerabilidade. Observa-se assim uma quantidade significativa de valores muito baixos de vazões cujos tempos de retorno foram maiores que 100 anos, notadamente nas UGRHs localizadas no Nordeste setentrional, São Francisco e Tocantins-Araguaia e, mais recentemente, também em UGRHs das regiões Sul e Sudeste do Brasil.

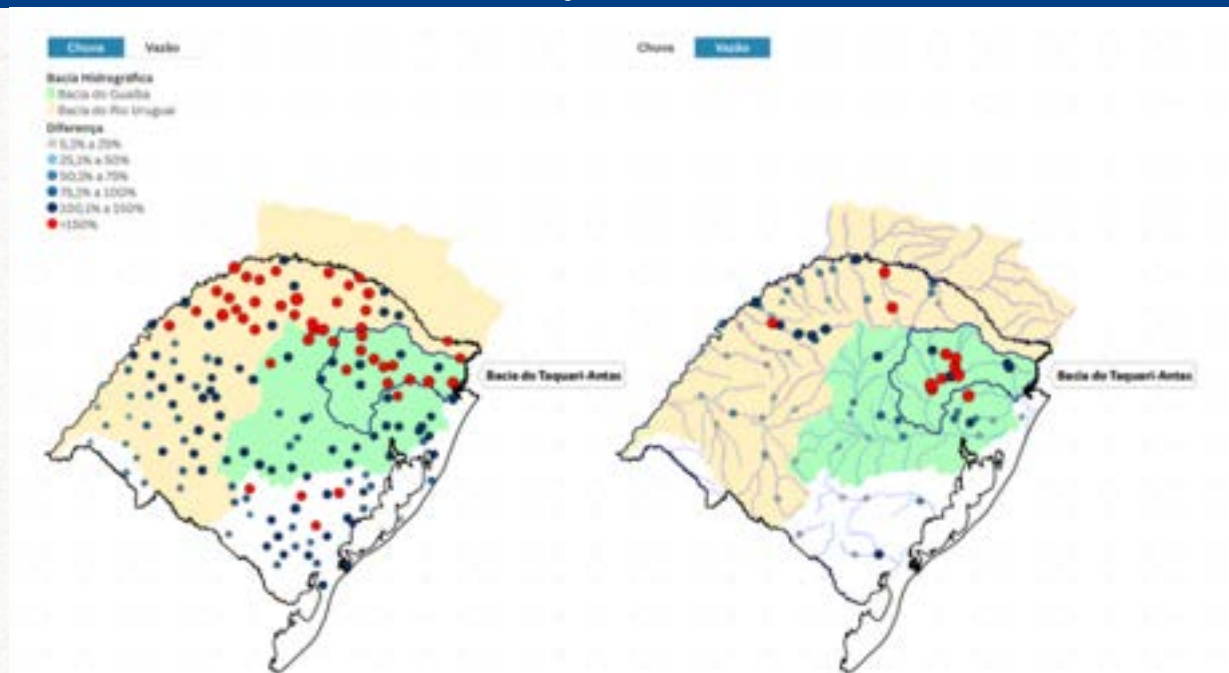
Além das estiagens, também ocorreram cheias pontuais em algumas UGRHs na última década. Nas UGRHs da bacia Amazônica foi observado aumento das vazões, contudo em algumas estações de monitoramento em Roraima (UGRH Negro) e no Acre (porção Sul das UGRHs Juruá e Purus) houve indicativo de redução. Situação semelhante foi observada na região Sul do País. Na bacia do Paraná,

parte das UGRHs apresentaram redução significativa da vazão média (UGRHs Paranaíba, Grande e PCJ), e outra parte um aumento substancial das vazões (UGRHs Paraná, Iguaçu e Paranapanema). Na UGRH Uruguai, parte das estações apresentaram aumento, e outra parte diminuição das vazões.

Variações climáticas podem acarretar sérias consequências socioeconômicas, manifestando-se em diversas dimensões. Por exemplo, a disponibilidade de recursos hídricos é fundamental para a geração de energia elétrica no país. Alterações de vazões nos rios decorrentes das variações climáticas podem levar à redução nas recargas dos reservatórios de geração de energia hidrelétrica. A depleção destes reservatórios, por sua vez, pode acarretar em aumentos no custo da geração de energia no país e até mesmo comprometer a segurança energética.

Em 2023, o estado do Rio Grande do Sul vivenciou uma das maiores tragédias de origem climática de sua história, com impactos devastadores em várias regiões do estado. Entre setembro e novembro de 2023, chuvas intensas causadas pela combinação de sistemas meteorológicos, como frentes frias, sistemas de baixa pressão e ciclones extratropicais, juntamente com os efeitos do fenômeno El Niño, resultaram em cheias históricas. As chuvas causaram destruição de plantações, perda de vidas humanas e de animais, além de danos a infraestruturas. As principais bacias hidrográficas atingidas em 2023 foram as do Rio Taquari-Antas, do Rio Uruguai e a do Rio Caí. Estima-se que foram afetadas mais de 390 mil pessoas em 106 municípios, registrando-se somente no Vale do Rio Taquari 58 óbitos.

Figura 5.3 - Diferenças entre chuvas acumuladas e vazões máximas do trimestre setembro-novembro de 2023 em relação à média histórica



Fonte: Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2023 (ANA 2024).

O ano subsequente foi novamente marcado, e de maneira ainda mais acentuada, por extremos climáticos. Em 2024, o Rio Grande do Sul enfrentou a maior catástrofe climática de sua história devido a enchentes severas, que ocorreram entre abril e maio, exacerbadas pela combinação de um bloqueio atmosférico, frentes frias, e áreas de baixa pressão. O evento está entre os

maiores desastres de origem climática da história do país, superando significativamente os impactos dos eventos de 2023. A Defesa Civil estima que tenham sido afetadas cerca de 2,4 milhões de pessoas em 476 municípios, deixando 183 óbitos, 806 pessoas feridas e 27 desaparecidos.

Disponibilidade de água subterrânea

A água subterrânea é o recurso de água doce mais abundante do planeta. Ela é responsável pelo abastecimento de quase metade de toda água potável do mundo, por prover 40% da água para a agricultura irrigada e por fornecer cerca de um terço da água necessária para uso industrial. Além de sua importância para o atendimento dos múltiplos usos da água, ela cumpre um papel fundamental na provisão de serviços ecossistêmicos. A água subterrânea mantém o fluxo de base dos rios, é um elemento de armazenamento crítico para a adaptação às mudanças climáticas, evita o afundamento da terra e a intrusão da água do mar.

É consenso a importância do conhecimento amplo dos aquíferos, seu comportamento e sua capacidade frente aos múltiplos usos para o bom gerenciamento dos recursos hídricos. No entanto, o monitoramento das águas subterrâneas no Brasil é ainda incipiente quando comparado aos das águas superficiais. A Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) operava com 435 poços de monitoramento dos níveis de água subterrânea no final de 2023, o que é um número limitado frente às dimensões continentais do país.

Estima-se que a disponibilidade de água subterrânea no Brasil seja de aproximadamente 13.205 m³/s. De modo semelhante às águas superficiais, sua distribuição pelo território nacional não é uniforme e as características hidrogeológicas são variáveis, ocorrendo regiões de escassez e outras de relativa abundância.

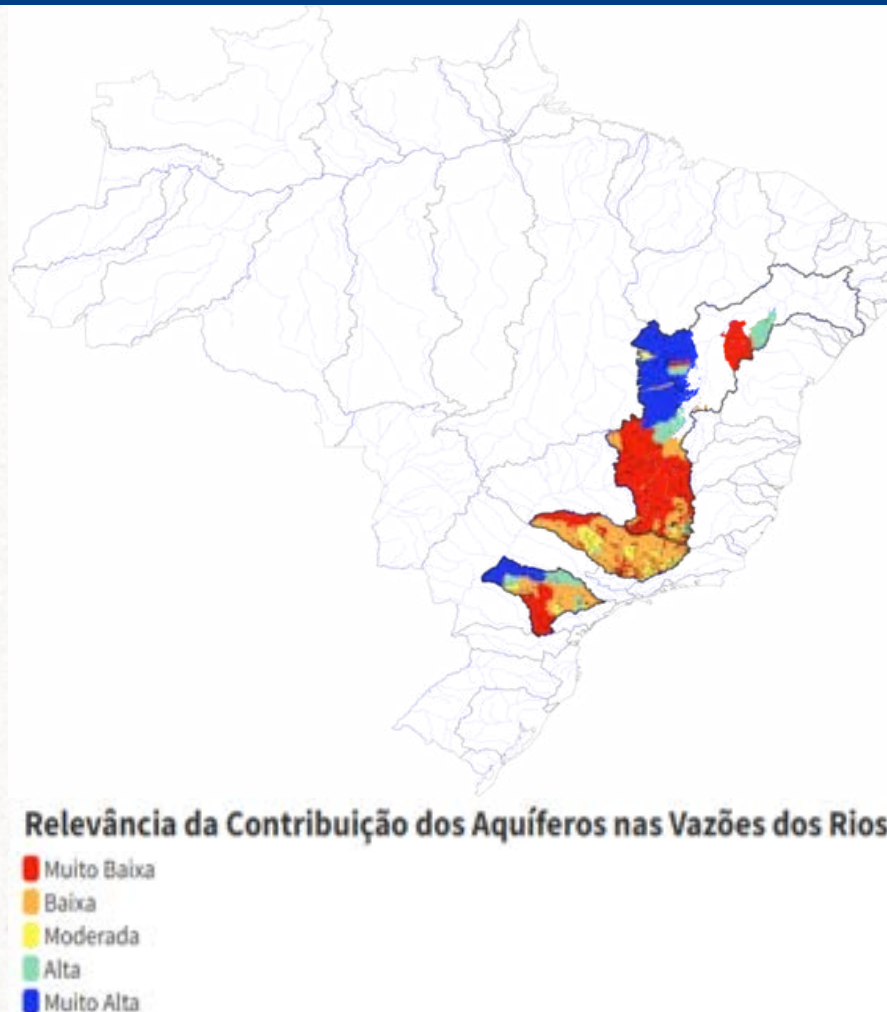
As extrações de água subterrânea podem impactar as vazões dos rios. Por isso, é importante utilizar apenas uma parcela das reservas renováveis dos aquíferos (uma parcela da recarga) de modo que o restante seja destinado à manutenção das vazões dos rios.

Uma estimativa do quanto da água subterrânea já está sendo consumida pode ser obtida a partir dos volumes extraídos pelos poços. No fim de 2020, um total de 330.226 poços estavam registrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Estima-se que o número de poços cadastrados corresponda a 12,7% do número total. Logo, o total de poços é da ordem de 2,6 milhões. A retirada total para estes poços foi estimada em 1.083,3 m³/s, o que corresponde a 8% das reservas explotáveis ou da disponibilidade hídrica subterrânea. Todavia, em que pese ser um percentual confortável, trata-se de informações médias, de maneira que localmente o cenário é bastante diferente.

Deve-se ainda ressaltar a importância do avanço no monitoramento integrado de águas superficiais e subterrâneas. Este avanço é fundamental para permitir o gerenciamento de forma coordenada e sustentável os recursos hídricos, considerando tanto as águas que correm na superfície quanto as que estão abaixo dela. Ao explorar as propriedades de ambos os mananciais de forma conjunta, é possível produzir mais benefícios do que se os mananciais fossem explorados de forma independente e isolada. Essa abordagem garante o uso eficiente da água, protege os ecossistemas aquáticos e atende as demandas presentes e futuras.

Desde 2021, a Agência Nacional de Águas vem conduzindo estudos para a avaliação de interdependência entre os fluxos superficiais e subterrâneos. O objetivo é identificar as porções das bacias onde os rios têm maior dependência dos aquíferos para a manutenção de suas vazões, tornando essas regiões prioritárias para a implementação da gestão integrada rio/aquífero. Atualmente, existem resultados disponíveis para as UGRHs Paranapanema, Grande e São Francisco (Figura 5.4). É importante prosseguir neste esforço de identificação de pontos críticos de interdependência entre fluxos subterrâneos e superficiais, de modo a orientar as prioridades em termos de gestão integrada dos mananciais ao nível nacional.

Figura 5.4 - Áreas relevantes para a implementação da gestão integrada rio/aquífero (UGRHs Paranapanema, Rio Grande e São Francisco)



Fonte: Conjuntura de recursos hídricos no Brasil 2024 (ANA, 2024).

Uso da Água

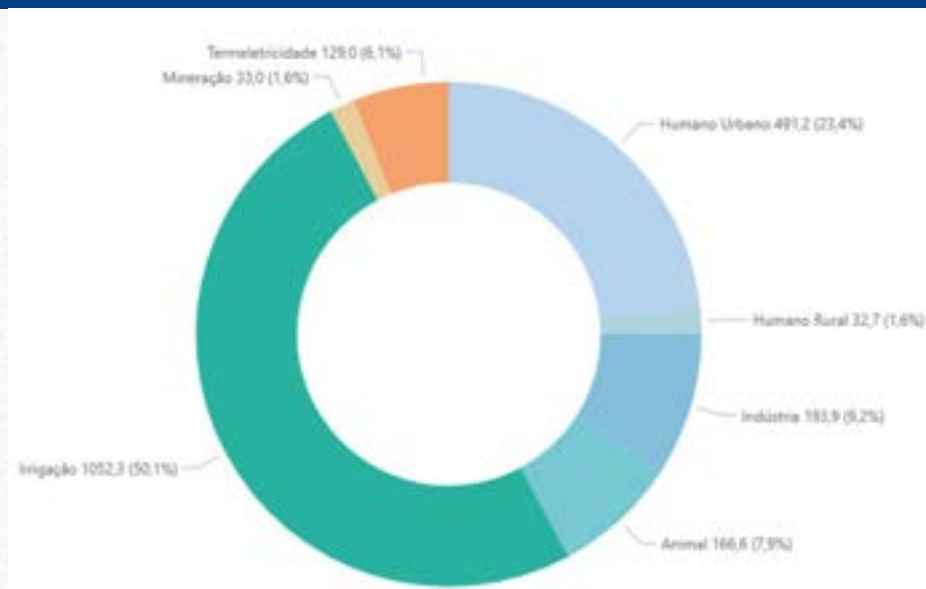
O uso consuntivo da água³ no Brasil é destinado principalmente para as atividades de irrigação, abastecimento humano (urbano e rural), abastecimento animal, indústria, geração termelétrica e mineração. A Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água (BD-Usos) consolida uma série histórica de estimativas de usos setoriais, acompanhando sua evolução desde 1931. Essa base passa por atualizações periódicas para incorporar

novos dados anuais e apresentar projeções de médio prazo.

De acordo com os registros mais recentes relativos ao ano de 2023, exibidos na Figura 5.5, a vazão de retirada total dos setores foi estimada em 2.103,6 m³/s, sendo a irrigação responsável por 50% deste total (1.052,3 m³/s). Registre-se ainda a importância do uso para abastecimento humano, com a retirada de 25% do total (491,2 m³/s para abastecimento urbano e 32,7 m³/s para abastecimento rural), e do uso industrial que responde por 9,2% da retirada total (193,9 m³/s).

³O uso é considerado consuntivo quando a água é retirada e consumida, parcial ou totalmente, no processo ao qual se destina, não retornando diretamente ao corpo d'água. O consumo pode ocorrer por evaporação, transpiração, incorporação em produtos, consumo por seres vivos, dentre outras formas.

Figura 5.5 - Distribuição setorial do uso consuntivo da água no ano de 2023 no Brasil



Fonte: Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiMWE2ZTE1NmItOGUyZS00ZTc1LTljMzUtNDgwYjVhODcyNW11IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRKLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>

A Figura 5.6 exibe a evolução do uso da água no Brasil para o período 1970 – 2040. A série é composta por dados atualizados até o ano de 2023 e projetados para o período subsequente. A demanda no Brasil vem crescendo continuamente no país, e assim permanecerá segundo as projeções. Chama a atenção o aumento da importância relativa da irrigação. O setor respondia por 35,1% de retirada de água em 1970, atende pela metade do uso no momento atual (2023) e deve responder por 56% do uso segundo as projeções para o ano de 2040. Enquanto a vazão de retirada era de 188,7 m³/s em 1970, projeta-se um aumento para 1553,5 m³/s até 2040. Uma taxa de crescimento muito superior àquela estimada para o abastecimento humano. Esta última era de 192,6 m³/s em 1970, ligeiramente

superior à retirada para irrigação naquele momento. No entanto, as projeções apontam que as retiradas para abastecimento humano serão de 569 m³/s em 2040, o que representa aproximadamente um terço da vazão de captação projetada para a irrigação. Este comportamento mostra ainda que a agricultura irrigada será um importante vetor de pressão sobre os recursos hídricos, reforçando a importância da adoção de tecnologias mais eficientes para promover a conservação de água.

Deve-se ainda observar que as tendências estimadas para o horizonte 2040 apresentadas na Figura 5.6 não levam em conta o possível impacto das mudanças climáticas, que possuem potencial para afetar a dinâmica do uso da água no Brasil.

Figura 5.6 - Evolução do uso consuntivo da água no Brasil 1970 – 2040



Fonte: Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiMWE2ZTE1NmItOGUyZS00ZTc1LTljMzUtNDgwYjVhODcyNW11IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRKLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>

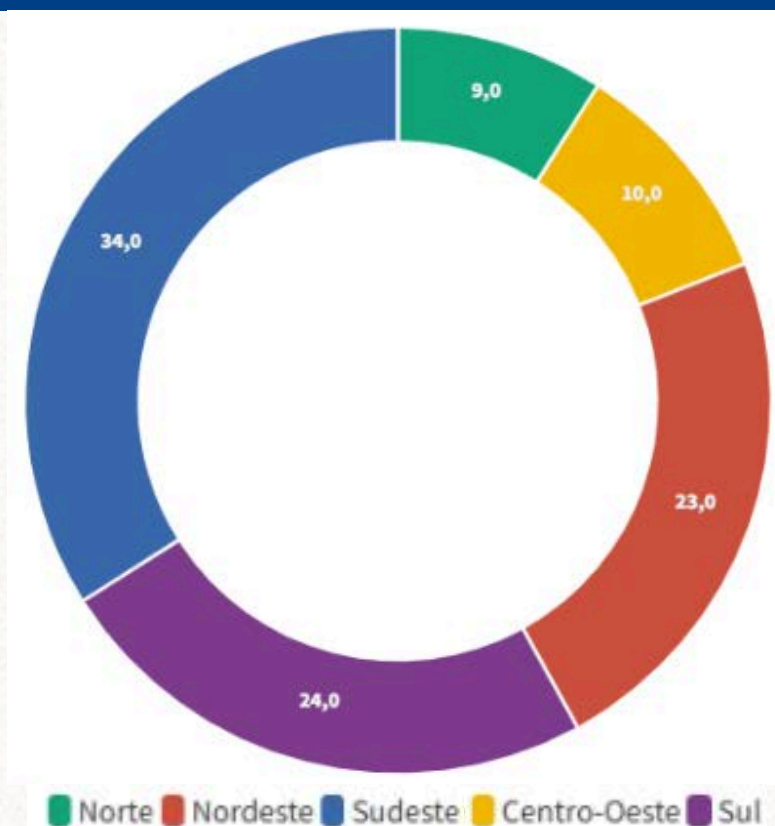
Assim como observado na questão da disponibilidade hídrica, as mudanças climáticas também podem afetar a dinâmica do uso da água. As tendências estimadas para o horizonte 2040 apresentadas na Figura 5.6 não levam em conta o possível os impactos do fenômeno. Estes impactos podem ser particularmente importantes nos setores da agropecuária e da agroindústria. A ocorrência de eventos extremos, tais como secas severas, pode levar à maior necessidade de uso da água para irrigação. Segundo dados 1º Boletim do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, a demanda por irrigação pode ter um acréscimo de 15% em 2040 em relação à demanda tendencial com base no clima médio atual registrado na Figura 5.6 (ANA, 2022). Já anomalias de temperatura e ondas de calor podem afetar o consumo direto e a produção, especialmente de alimentos.

Em relação à distribuição regional da demanda de água (Figura 5.7), observa-se

que a região Sudeste foi a principal usuária em 2023, respondendo por 34% da vazão captada. Em seguida temos a região Sul (24%), Nordeste (23%), Centro-Oeste (10%) e Norte (9%).

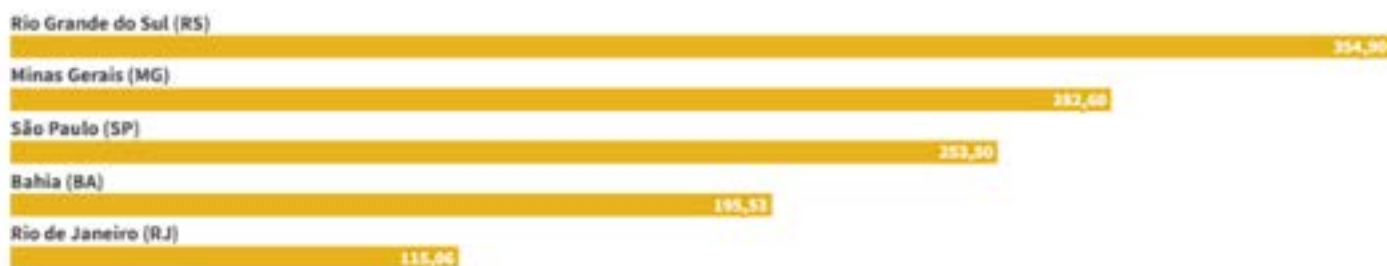
A Figura 5.7 mostra a participação das principais unidades da federação. As maiores demandas de água são registradas Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Bahia e Rio de Janeiro. A forte participação do Rio Grande do Sul é explicada pelo fato de o estado responder por aproximadamente 72% do área cultivada de arroz no país. Seu plantio é feito pelo método de irrigação por inundação, uma tecnologia muito intensiva em uso da água. A agricultura irrigada também é a responsável pela alta demanda de recursos hídricos em Minas Gerais e Bahia, onde a irrigação é feita por pivôs centrais. Já as demandas de São Paulo e Rio de Janeiro são determinadas sobretudo pelo abastecimento urbano.

Figura 5.7 - Uso da água por macrorregião brasileira, 2023



Fonte: Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2023 (ANA 2024).

Figura 5.8 - Maiores vazões de retirada de água por unidade da federação, 2023 (em m³/s)



Fonte: Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2023 (ANA 2024).

Agricultura Irrigada

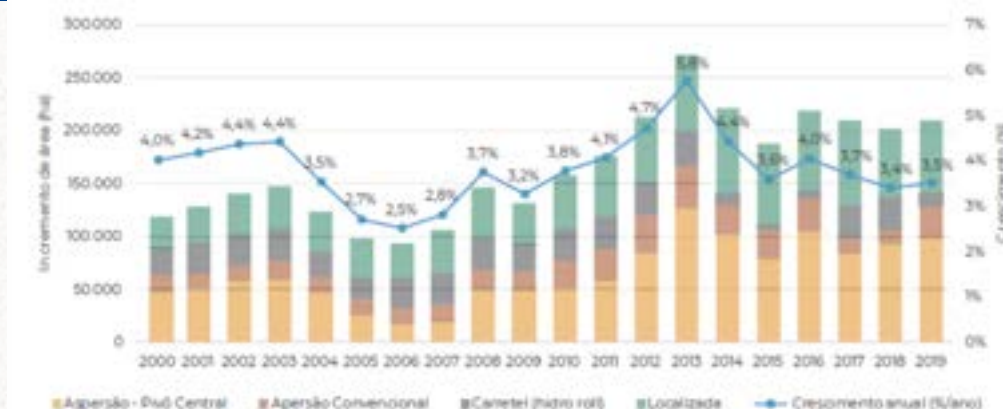
O Brasil aparece como o sexto maior país do mundo em área equipada para a irrigação, com 8,2 milhões de hectares. No entanto, a área irrigada no país pode ser considerada modesta face ao potencial estimado e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica.

As séries históricas demonstram que os incrementos anuais de área irrigada no Brasil têm sido fortes e persistentes nas últimas décadas, intensificando-se nos últimos anos. No período 2010-2019, o Brasil experimentou a maior expansão da área

irrigada da história, da ordem de 200 mil hectares por ano.

O ritmo de adoção de tecnologia também acelerou-se no período recente. Como mostra a Figura 5.9, grande parte da expansão da área irrigada no Brasil deve-se aos métodos de aspersão por pivô central e de irrigação localizada. O país superou os 30 mil pontos de pivôs centrais em 2022, ocupando uma área equipada de 1,92 milhão de hectares. Em relação a 2019, houve incremento de 370 mil hectares (+24%) que adotam a tecnologia de pivô central e, em relação a 2010, de mais de 1 milhão de hectares (+225%). Nesse período (2010-2022) o ritmo médio de crescimento foi de 80,6 mil ha ao ano, com tendência de aceleração.

Figura 5.9 - Área irrigada mecanizada no Brasil – incremento anual



Fonte: Atlas Irrigação, segunda edição (ANA 2020).

Dentre os principais benefícios da irrigação, podemos destacar os ganhos de produtividade da ordem de duas ou três vezes a agricultura de sequeiro. Indicadores de produtividade para arroz, feijão e trigo – importantes grãos presentes no hábito alimentar do brasileiro – mostram que a produção predominantemente irrigada

apresentou, respectivamente, rendimentos 3,7, 2,0 e 1,9 vezes superiores à produção de sequeiro (média 2010-2019, Tabela 5.1). A irrigação viabiliza mais safras e elas tendem a ocorrer mais no período chuvoso e de transição para o período seco, aumentando a segurança hídrica da produção.

Tabela 5.1 - Rendimento em condição predominantemente irrigada e não irrigada - Brasil

	Rendimento (kg/ha)		
	Arroz	Feijão	Trigo
Área não irrigada	1.970	1.290	2.550
Área irrigada	7.240	2.530	4.930

Fonte: Atlas Irrigação, 2ª edição (ANA, 2020).

Estima-se que o potencial físico-hídrico total, que considera as características naturais do ambiente, como disponibilidade de água, tipo de solo e clima, para expansão da atividade no Brasil, seja de 55,8 Mha. O potencial efetivo, que representa as áreas com condições mais favoráveis para o desenvolvimento a curto e médio prazo, é de 13,7 milhões de hectares, sendo a maior parte concentrado nas regiões Centro-Oeste (45%), Sul (31%) e Sudeste (19%) do país.

Abastecimento Humano

O abastecimento humano urbano representa o segundo maior uso da água no país. Com o crescimento populacional e a expansão das áreas urbanas, a demanda por recursos hídricos para essa finalidade se intensifica, frequentemente resultando em conflitos pelo uso da água e na necessidade de investimentos significativos em infraestrutura para garantir a qualidade e a disponibilidade do recurso. A estimativa de retirada para o abastecimento humano urbano, em 2023, é de aproximadamente 491 m³/s (23% do uso total).

Os mananciais superficiais são fonte de 85% do abastecimento da população urbana. Este é o caso de grandes centros urbanos, como São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Fortaleza e Porto Alegre. Os 15% restantes da população urbana atendida são abastecidos por mananciais subterrâneos.

O abastecimento humano rural, em comparação ao abastecimento humano urbano, apresenta um cenário distinto. Representando apenas 2% do total de água captado em 2023 (32,7 m³/s), a demanda de água para esse tipo de abastecimento apresenta trajetória decrescente, explicada majoritariamente pela redução da população

que vive nos campos. Contudo, é importante destacar que alguns polos de expansão do agronegócio apresentam dinâmica diferenciada, com crescimento de vilas e outros aglomerados rurais.

Em relação às fontes de abastecimento, na área rural, as fontes alternativas desempenham um papel essencial para garantir o acesso à água. Em 2022, 68% dos moradores em domicílios na área rural utilizavam fontes alternativas de abastecimento enquanto 32% eram abastecidos por rede geral de distribuição. Essas fontes alternativas caracterizam-se por soluções coletivas ou individuais e contemplam poços, cisternas, nascentes, fontes, carro-pipa, rios, açudes, córregos e igarapés.

De acordo com o Censo 2022 do IBGE, 95% da população brasileira residente em domicílios conta com água canalizada, proveniente tanto da rede geral de distribuição como do uso de fontes alternativas. Esse percentual totaliza 192,3 milhões de pessoas, onde o uso das fontes alternativas representa 17%.

O SNIS mostra que cerca de 85% da população no Brasil em 2022 tinha acesso à rede de abastecimento de água, sendo que a Região Norte contava com o menor atendimento (64,2%) e a Região Sul com o maior (91,6%).

As perdas na rede têm ganhado destaque devido, principalmente, ao aumento da frequência de eventos de escassez hídrica e pelo aumento do risco de contaminação da água tratada. Em 2022, de acordo com o SNIS, as perdas na rede de distribuição de água no Brasil foram de 37,8%. O número representa uma redução de 2,9% em relação a 2021, mas ainda está mais de 20 pontos percentuais acima da média de perdas de países desenvolvidos. O volume de perdas físicas (vazamentos) em 2021 foi

estimado em 3,8 bilhões m³, o que seria suficiente para abastecer 67 milhões de brasileiros durante um ano (Instituto Trata Brasil, 2023). Em relação ao meio ambiente, a redução dessas perdas implicaria a disponibilidade de mais recurso hídrico para a população sem a necessidade de captação em novos mananciais. Com o cenário de mudanças climáticas, os desafios para a disponibilidade hídrica nos mananciais se tornam cada vez mais evidentes.

Abastecimento Industrial

A demanda de água na indústria reflete o tipo de produto ou serviço que está sendo produzido e os processos industriais associados. A intensidade do uso da água depende de vários fatores, dentre eles, o tipo de processo e de produtos, as tecnologias empregadas, a adoção de boas práticas e a maturidade da gestão.

A configuração do setor industrial apresenta disparidade regional, uma vez que as indústrias encontram-se irregularmente distribuídas no território nacional. Desta maneira, configuram-se áreas onde a atividade industrial é extremamente concentrada e intensificada em conjunto com bolsões onde a atividade industrial é praticamente inexistente. A maior concentração de indústrias de transformação no Brasil, responsável por 9% do uso total da água no país, está na região Sudeste, principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. A região Sudeste corresponde a 44% do total de uso da água para essa finalidade, seguida pelas regiões Nordeste (21%), Sul (19%), Centro-Oeste (14%) e Norte (2%).

Geração Elétrica

A geração de energia hidrelétrica é o maior uso não consuntivo da água. As usinas hidrelétricas são a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro e representam cerca de 49% da capacidade de geração no

país. Em dezembro de 2023, a capacidade instalada do Brasil era de 225.225 MW, sendo 109.926 MW provenientes de fontes hidráulicas.

Tendo em vista garantir o uso múltiplo das águas, no processo de gestão é importante que haja o monitoramento do uso consuntivo dos recursos hídricos, de modo que as vazões de consumo e retirada não inviabilizem usos não consuntivos como a geração de energia. Neste sentido, a ANA acompanha os usos consuntivos a montante dos aproveitamentos hidroelétricos brasileiros. Essa é uma ação importante para o planejamento e a gestão da atividade de agricultura irrigada e do sistema de geração hidrelétrica, que tem papel essencial para que a matriz elétrica brasileira seja majoritariamente constituída de energia limpa e renovável.

A geração de energia termelétrica no Brasil, por sua vez, representa 22% da capacidade instalada no Brasil. As usinas operam principalmente com combustíveis fósseis (13,7% da capacidade de geração), biomassa (7,5%) e nuclear (0,9%). As termelétricas, em muitos casos, são utilizadas como fonte de energia complementar, sendo acionadas de acordo com a demanda não atendida pela geração hidrelétrica.

A demanda de água nas termelétricas depende da tecnologia de geração, do tipo de combustível e, principalmente, do sistema de resfriamento empregado. A partir de 2012, devido à redução no volume de água disponível para geração hidrelétrica, houve um aumento no uso da água para geração termelétrica. Em 2023, a estimativa de retirada para esse uso é de 133,95 m³/s, com a presença significativa de termoelétricas que dependem da água, principalmente nas regiões Sudeste, Norte e Sul do Brasil. Destacam-se nesse contexto os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina, Amazonas e Pará.

Demais usos não Consuntivos

Além da geração de energia hidroelétrica, destacam-se entre os usos não consuntivos a navegação, a pesca, a aquicultura em tanques-rede, o turismo, a recreação em o lazer.

A rede hidrográfica brasileira apresenta elevado potencial para a navegação interior. No entanto, o transporte pelas vias navegáveis ainda é reduzido, representando cerca de 5% da carga transportada no país. Conforme dados da Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), em 2023 foram transportados 142 milhões de toneladas de cargas por vias interiores do país, com destaque para as regiões hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia, que correspondem a 88% desse total.

Os reservatórios, lagos e lagoas brasileiros são amplamente utilizados para a pesca e têm um grande potencial para a aquicultura. A piscicultura é predominantemente desenvolvida em reservatórios de usinas hidrelétricas e, em menor volume, em outros corpos hídricos como açudes públicos e rios. Conforme dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), a produção de peixes em reservatórios de hidrelétricas é relevante principalmente na Região Hidrográfica do Paraná, onde está concentrada a maioria dos empreendimentos. Além disso, o turismo para a pesca é uma atividade expressiva nas bacias Amazônica e do Paraguai.

A utilização das águas, tanto na costa como no interior, para recreação e lazer é de grande potencial no Brasil e varia conforme a região e os regimes climáticos e hidrológicos. Destaca-se também a contínua expansão do ecoturismo, com foco em cachoeiras, corredeiras, poços e nascentes dos cursos d'água, sendo um uso que demanda proteção da vegetação natural e excelente qualidade da água.

Qualidade da água

A qualidade da água é um fator que determina sua adequabilidade para atender os seus múltiplos usos. Diferentes tipos de uso, tais como abastecimento humano ou irrigação, requerem diferentes padrões mínimos de qualidade. A degradação da qualidade da água pode ainda ter implicações na saúde pública, uma vez que este processo está associado ao aumento das doenças de veiculação hídrica.

Variáveis naturais tais como o regime de chuvas, o escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal da bacia, bem como a poluição decorrente das atividades humanas como o lançamento de efluentes, a gestão inadequada dos resíduos sólidos e os usos do solo, dentre outros, afetam a qualidade da água dos mananciais. A qualidade das águas subterrâneas também é influenciada pela dinâmica de interação com as rochas dos aquíferos e pelo tempo de circulação no subsolo.

A evolução da qualidade da água pode ser monitorada através de indicadores que refletem a concentração de poluentes. A partir destes indicadores pode-se avaliar a adequação da água para um determinado uso.

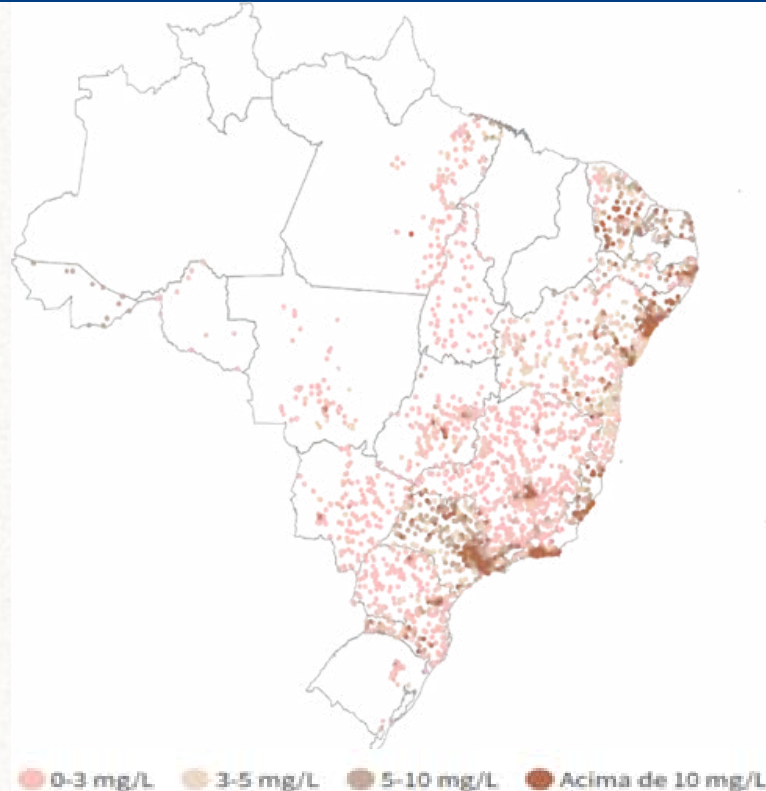
Há poucos indicadores de carga poluentes nos corpos hídricos brasileiros, o que dificulta a apresentação de um panorama abrangente. É possível, contudo, acompanhar a situação da cargas poluentes orgânicas. Os indicadores mais recentes compilados em nível nacional referem-se ao ano de 2023 e estão publicados na "Conjuntura de recursos hídricos no Brasil 2024: Informe anual" (ANA, 2024). A Figura 5.10 mostra as concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para os pontos de monitoramento do país, com exceção de São Paulo⁴, onde a concentração de matéria orgânica foi mensurada pelo carbono orgânico total (COT) para o estado de São Paulo. Ambos

⁴Desde 2022, a agência ambiental paulista CETESB não mede mais a DBO em suas estações de monitoramento, sendo este indicador substituído pelo COT.

os indicadores medem a poluição por material orgânico, sendo o COT uma medida mais abrangente ao incluir material não biodegradável: enquanto a DBO indica a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos para oxidar a matéria orgânica em uma amostra de água ou

efluente, o COT traz medidas mais precisas da quantidade de matéria orgânica, ao incorporar a porção não degradada por microrganismos. Quanto mais altas as concentrações de DBO e CTO, maior a poluição carga de poluição orgânica no corpo hídrico.

Figura 5.10 - Demanda Bioquímica de Oxigênio e Carbono Orgânico Total



Fonte: Conjuntura de recursos hídricos no Brasil 2024: Informe anual" (ANA, 2024).

Como pode ser observado na Figura 5.10, os quadros mais críticos em termos de poluição orgânica são observados nas proximidades dos maiores aglomerados urbanos do país. Esta evidência empírica coloca em destaque o papel dos efluentes urbanos na degradação da qualidade da água no país.

De fato, o Brasil possui baixos índices de cobertura nos serviços de coleta e tratamento de esgoto. Segundo informações disponibilizadas pelo SNIS relativa ao ano de 2022, o atendimento por rede pública de

esgoto restringe-se a 56% da população brasileira. O acesso à coleta de esgotos é marcado ainda por fortes desigualdades regionais: enquanto os estados da região Sudeste apresentam em média um percentual de 80,3% da população atendida por esgoto, chegando a alcançar 90,5% em São Paulo, a cobertura na região Norte abrange apenas 14,7% da população. A distribuição da cobertura da coleta por unidade da federação pode ser vista na Figura 5.11.

Figura 5.11 - População atendida por rede pública de esgoto em 2022

Fonte: Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral, ano de referência 2022.

Ao se analisar os indicadores de tratamento de esgoto, novamente se coloca a questão das baixas taxas de cobertura. Do total do esgoto gerado, apenas 52,2% é tratado. Mais uma vez podemos destacar as disparidades regionais apresentada pelo

indicador: enquanto o percentual de tratamento alcança 61,6% na região Sudeste, na região Norte ele limita-se a 19,8%. A Figura 5.12 apresenta os percentuais de tratamento de esgoto segundo as unidades de federação.

Figura 5.12 - Tratamento dos esgotos gerador por unidade da federação (em %)

Fonte: Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral, ano de referência 2022.

Estes baixos índices de coleta e tratamento de esgoto resultam no lançamento de grande quantidade de esgoto não tratado nos corpos hídricos. De acordo com o Atlas Esgoto (ANA, 2017), em 2017 mais de 110 mil km de trechos de rio estavam com a qualidade comprometida devido ao excesso de carga orgânica, sendo que para 83.450 km não é permitida a captação para abastecimento público devido à poluição hídrica. Com relação aos outros 27.040 km de rios, é permitido captar, mas o tratamento tem que ser avançado. A maior parte destes números podem ser atribuídos ao lançamento de esgotos não tratados. A Resolução Conama 430/2011 prescreve o tratamento de pelo menos 60% do DBO antes do lançamento. Do total de municípios, 70% não possuem uma estação de tratamento de esgotos. A questão da melhoria da qualidade da água passa assim necessariamente pelo aumento dos percentuais de esgoto tratado. O aumento do acesso a estes serviços traria não apenas benefícios ambientais, mas também produziria externalidades positivas em termos de redução do gasto público associado a doenças de veiculação hídrica.

Conflitos pelo uso da água

Como já discutido anteriormente, apesar da relativa abundância de água no Brasil, os recursos hídricos não são distribuídos de maneira espacialmente uniforme pelo território. A disponibilidade hídrica mostra ainda uma assimetria em relação à distribuição da população. As crescentes demandas dos usuários de água, combinadas à distribuição desigual dos recursos hídricos, criam assim condições para o potencial surgimento de conflitos pelo uso da água. Estas condições ficaram ainda acentuadas com os efeitos das reduções das chuvas abaixo da média histórica no período 2010 -2016 sobre a disponibilidade hídrica. A redução das vazões neste período deu origem a conflitos pelo uso de água, como ilustrado pelos três casos que se

seguem⁵:

* O caso da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira

A diminuição dos totais de chuva verificada no período 2012 e 2013 afetou drasticamente o nível do reservatório da usina hidrelétrica de Ilha Solteira, que passou a operar em quotas que afetavam a disponibilidade de água para a piscicultura e o transporte hidroviário. A insatisfação com a gestão dos reservatório resultou em uma Ação Civil Pública exigindo a interrupção da geração de energia. A tutela deferida em favor dos piscicultores não foi cumprida e posteriormente revertida (recurso), basicamente sob o argumento de que o impacto de interromper a energia seria nacional, sendo que, o impacto ambiental seria apenas local. O longo processo culminou em a sentença proferida em 22/07/2020, pela extinção sem julgamento do mérito, ante a falta de interesse processual decorrente da perda superveniente do objeto, visto que com o tempo a situação hídrica se regularizou. Foi deixado um rastro de prejuízos, mostrando-se improdutivo o tratamento realizado.

* O caso da Hidrovia Tietê – Paraná

A crise hídrica resultou na interrupção da navegação na Hidrovia Tietê – Paraná. Especificamente, houve a interrupção da navegação no trecho a jusante da eclusa de Nova Avanhandava de 06/2014 a 01/2016, o que causou drástica redução na movimentação de cargas, em razão da diminuição do nível do reservatório de Três Irmãos abaixo do mínimo de 325,40 m. A água do sistema foi destinada prioritariamente para a geração de energia elétrica. A suspensão resultou em enormes prejuízos financeiros aos usuários da via.

* A transposição do rio Paraíba do Sul

A escassez hídrica de 2014 e 2015 afetou severamente o Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 8,8 milhões de pessoas da Grande São Paulo. A solução encontrada pelo governo paulista diante da baixa disponibilidade foi a de captar água

⁵Os dois casos foram discutidos detalhadamente por Peron (2023).

diretamente da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul por meio da construção de um túnel de 15km, de modo a interligar a represa Atibainha, em Nazaré Paulista (que compõe o Sistema Cantareira) e a represa Jaguari, em Igaratá, afluente da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul.

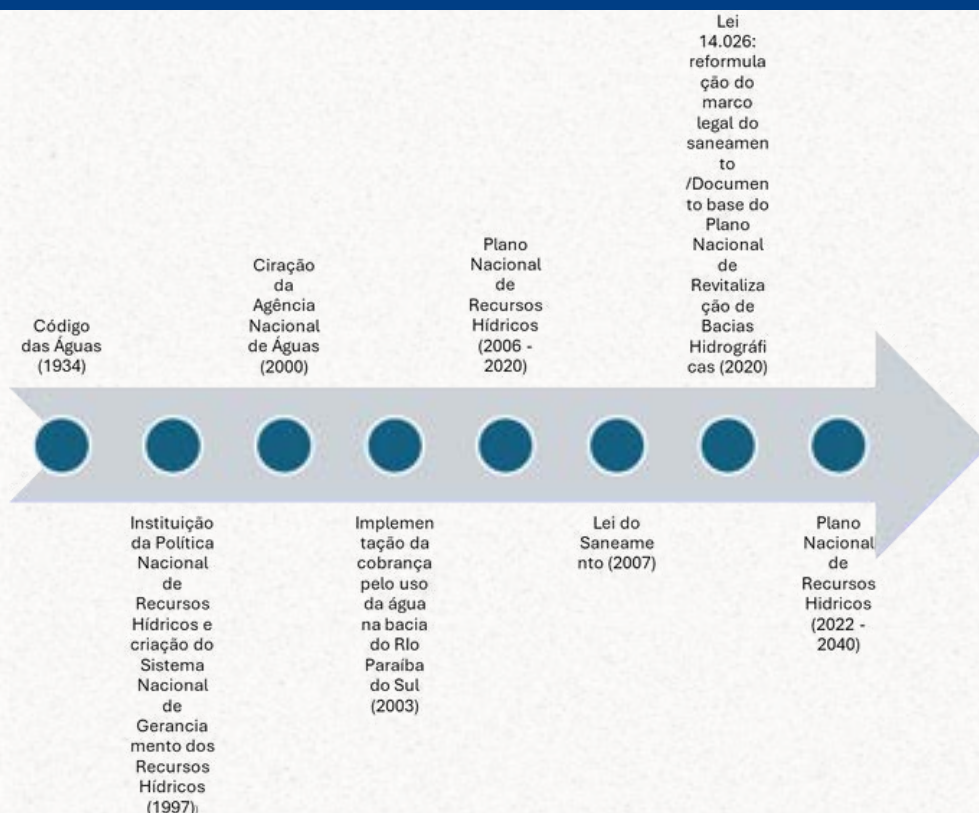
Na transposição do Rio Paraíba do Sul, houve a intervenção do Ministério Público Federal na situação, alegando, em síntese, a necessidade de elaboração de estudos adicionais. O ministro Luiz Fux ponderou que o feito demandava não apenas uma análise técnica como, também, medidas envolvendo o diálogo propositivo entre os estados da federação diretamente afetados pelo problema. Por meio de audiência de mediação no STF (BRASIL, 2014), os envolvidos se compuseram, construindo, conjuntamente, uma solução técnica para o problema. Priorizou-se o consumo humano e

a dessedentação de animais, conforme disposto na Lei n.º 9.433/1997.

Evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil

A gestão de recursos hídricos no Brasil evoluiu de uma abordagem baseada na exploração econômica e no gerenciamento não coordenado para um arcabouço que reconhece o uso múltiplo e a importância de uma visão integrada. A Figura 5.13 apresenta uma linha do tempo com os principais marcos da evolução do gerenciamento no país.

Figura 5.13 - Linha do tempo – gerenciamento de recursos hídricos no Brasil



O Código das Águas de 1934, a primeira legislação brasileira específica sobre recursos hídricos, apesar de trazer avanços como a definição da natureza pública da água, propunha um modelo de gestão centralizado e fragmentado.

Desconsiderava-se a interdependência de ecossistemas e usuários, privilegiando o uso para fins de produção de energia. A gestão das águas superficiais e subterrâneas era feita de forma não integrada, cada qual com sua regulamentação própria. Devido ao grau

incipiente do processo de industrialização brasileira e a concentração da população em áreas rurais, o foco sobre a questão da qualidade da água era limitado.

Com o crescimento da demanda pelos diferentes setores usuários decorrentes do desenvolvimento urbano, da expansão das atividades agrícolas e das atividades industriais, tornava-se claro o agravamento de problemas relativos à degradação da qualidade da água e ao aumento dos conflitos pelo uso. Estas tendências expunham a necessidade de revisar o modelo proposto pelo Código das Águas. Foi sendo assim construído um consenso sobre a necessidade de transitar para um modelo de gestão integrado e descentralizado.

O novo modelo cristalizou-se na Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. A bacia hidrográfica foi estabelecida como a unidade territorial básica de gestão, sendo os comitês de bacia

hidrográfica definidos como os fóruns para a negociação e resolução dos conflitos pelo uso da água no âmbito administrativo. O caráter participativo era garantido pela representação equitativa no comitê do setor público, dos usuários de água e da sociedade civil, com cada um dos três segmentos contando com um terço dos membros. Esta estrutura garantia uma abordagem integrada para todas as demandas e impactos locais.

Além das inovações em termos de governança, a Política Nacional de Recursos Hídricos introduziu cinco instrumentos para alcançar a gestão integrada e sustentável das bacias hidrográfica: os planos de recursos hídricos, o enquadramento de classe das bacias hidrográficas, a outorga dos direitos do uso da água, a cobrança pelo uso da água e o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos

Instrumento	Descrição
Planos de recursos hídricos	Plano diretores de longo prazo que definem a agenda e orientam as prioridades para a gestão dos recursos hídricos. Eles abrangem diferentes níveis, sendo elaborado desde a unidade de gestão mais básica representada pelas bacias hidrográficas (os chamados planos de bacia hidrográfica) até chegar ao macroplanejamento em escala regional e nacional (os planos estaduais de recursos hídricos e o plano nacional de recursos hídricos). Os planos apresentam um diagnóstico da situação atual, projetam cenários futuros e definem ações para conciliar os usos múltiplos da água de forma sustentável.
Enquadramento de classe	Define as metas de qualidade da água para trechos específicos de corpos d'água de uma bacia hidrográfica, de modo a garantir a qualidade necessária para seus usos. O corpo hídrico pode ser classificado em cinco categorias: especial, 1, 2, 3 ou 4. A classe especial refere-se aos requisitos de qualidade para usos mais exigentes, como consumo humano. Já a classe 4 define parâmetros de qualidade para atender usos menos exigentes, tal como a navegação.
Outorga dos direitos do uso da água	É a autorização concedida pelo poder público para a utilização dos recursos hídricos. Visa garantir o controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, assegura o efetivo acesso à água, minimizar conflitos entre usuários e promover o uso racional.
Cobrança pelo uso da água	Visa estimular o uso racional de recursos hídricos e financiar ações de preservação/revitalização de bacias hidrográficas. Os recursos arrecadados são aplicados na própria bacia hidrográfica onde foram gerados, custeando projetos de saneamento, educação ambiental e recuperação de áreas degradadas.
Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos	Sistema de informações sobre a disponibilidade e demanda de água no país, visando subsidiar a gestão de recursos hídricos. Tem como objetivo monitorar a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no país, bem como contribuir para a gestão participativa da água ao disponibilizar informações à toda a sociedade.

Fonte: elaborado pelo autor.

A disseminação destes instrumentos e do novo modelo de governança instituído pela Lei 9.433/97 ganhou impulso principalmente a partir da criação da Agência Nacional de Águas (ANA) no ano 2000. A ANA passou a ser responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, bem como pelo desenvolvimento de ações de fortalecimento institucional e de apoio ao gerenciamento de recursos hídricos. Em 2003, houve a implementação da cobrança pelo uso da água na bacia do Rio Paraíba do Sul. Conduzido pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), o processo de implementação da cobrança contou com forte apoio da Agência. A aplicação deste instrumento econômico logo se espalhou para outras bacias hidrográficas e encontra-se em avanço contínuo no país.

A ANA tornou-se também o órgão responsável por coordenar o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que permite o monitoramento centralizado das informações sobre disponibilidade hídrica e usos da água a partir da integração de dados gerados por diferentes entidades federais, estaduais e de bacias hidrográficas. As informações coletadas pelo SNIRH subsidiam a tomada de decisões sobre a alocação e o uso da água.

O saneamento básico guarda estreita relação de interdependência com a gestão dos recursos hídricos. Por um lado, a disponibilidade e a qualidade da água influenciam diretamente a viabilidade e a eficiência dos serviços de saneamento. Por outro lado, o setor impacta a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos.

No caso brasileiro, a baixa cobertura de serviços de coleta e tratamento de esgoto causa sérios danos à qualidade dos recursos hídricos, com altas cargas de poluição orgânica sendo registradas nos corpos d'água próximos às grandes cidades brasileiras. Neste sentido, merece registro a aprovação da Lei de Saneamento (Lei 11.445/07), de janeiro de 2007, que estabeleceu as diretrizes nacionais e a política federal do setor saneamento. A titularidade dos serviços, questão historicamente sujeita a controvérsias, foi atribuída aos municípios⁶. Dentre as diversas medidas para se avançar na qualidade e eficiência na prestação de serviços de saneamento, destacam-se os esforços na disseminação do planejamento setorial e da supervisão regulatória.

Não obstante os avanços da Lei 11.445, a titularidade municipal e a pulverização da regulação eram encaradas como um obstáculo à promoção da necessária estabilidade regulatória no setor saneamento. A arquitetura institucional fragmentada e concentrada nos entes subnacionais, os quais muitas vezes careciam de capacidade técnica e institucional, era vista como um fator de risco que inibiria a atração de investimentos para o setor e ameaçaria os objetivos de universalização dos serviços (FGV CERI, 2022).

⁶No caso de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, a Lei 11.445 estabeleceu a titularidade compartilhada entre estados e municípios, em função do interesse comum e do compartilhamento de instalações operacionais.

Na tentativa de aumentar a estabilidade e transparência do processo regulatório, a Lei 14.026, de julho de 2020, atualizou o marco legal do saneamento e reforçou os eixos estruturantes da Lei 11.445 de 2007. A nova lei ampliou a atuação da ANA, que passou a ser também responsável por instituir normas de referência e diretrizes para as agências reguladoras locais, provendo maior segurança aos investimentos. Em consonância com o Plano Nacional de Saneamento, foram incluídas na Lei 11.445 as metas de 99% da população com acesso ao abastecimento de água e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 2033. Este objetivo é respaldado por uma maior disciplinarização dos contratos de prestação de serviço de saneamento, que devem comprovar a viabilidade econômico-financeira no alcance das metas estabelecidas para serem válidos. Na busca pela ampliação do acesso aos serviços, a Lei 11.445 também promoveu o aumento da concorrência e estimulou a prestação regionalizada (i.e., a titularidade por mais de um município) visando à geração de ganhos de escala.

Ainda no esforço para se combater a degradação dos recursos hídricos de maneira integrada, destaca-se o lançamento em 2020 do texto-base do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020). Este documento busca orientar o processo de recuperação e conservação de rios e ecossistemas por meio da implementação de ações ambientais integradas e permanentes desenvolvidas no território da bacia hidrográfica. Através dos planos de revitalização, objetiva-se melhorar a qualidade e quantidade da água para usos múltiplos, contribuindo para a segurança hídrica do país. O documento base apresentou um diagnóstico e identificou pontos críticos, servindo de referência para um critério de hierarquização das subregiões hidrográficas quanto à priorização das ações de revitalização.

Uma retrospectiva detalhada das principais ações de gestão de recursos hídricos desde a publicação do GEO Brasil 2005 foge ao escopo deste capítulo. Busca-se, alternativamente, destacar a evolução das capacidades regulatórias e de planejamento nos anos recentes no setor de recursos hídricos e também no setor saneamento. Estas questões serão detalhadas nas próximas duas seções.

O papel do planejamento e da regulação no setor saneamento

O avanço dos indicadores de cobertura de saneamento, além de benefícios socioeconômicos, traz claros ganhos ambientais associados à melhoria da qualidade da água. No caso brasileiro o aumento da cobertura é particularmente importante, uma vez que a maior parte dos corpos hídricos em áreas urbanas apresenta altos índices de poluição orgânica por conta do saneamento básico precário e da falta de coleta e tratamento de esgoto.

Apesar do consenso sobre a importância dos investimentos em saneamento, o setor permaneceu por muito tempo sem uma disciplina legal que criasse incentivos potentes no sentido da expansão de sua cobertura e da melhora da qualidade de seus serviços.

A tentativa de introdução de um marco regulatório para o saneamento básico vem desde a desestruturação do regime do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) em meados dos anos oitenta. Diversas iniciativas no legislativo acabaram frustradas, até que em 2005 um projeto de lei lançado pelo Ministério das Cidades prosperou e se converteu na Lei nº 11.445 de 2007.

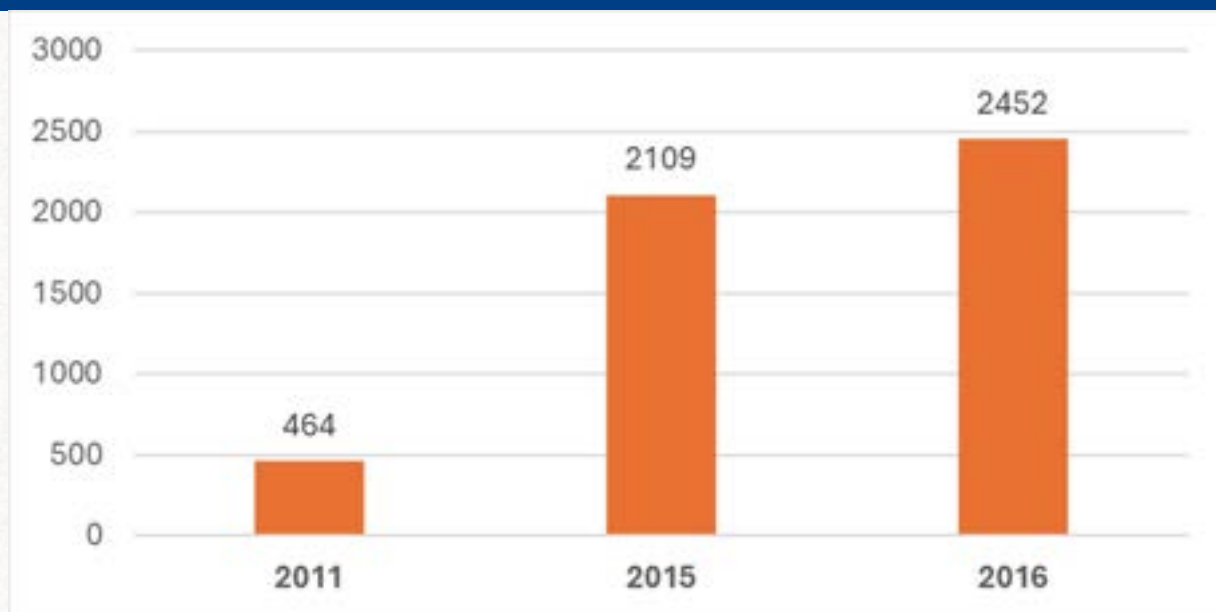
A aprovação da Lei 11.445/2007 definiu as diretrizes para a prestação de serviços de saneamento e reacendeu as expectativas da expansão do setor no país. A lei destaca a necessidade de um modelo de gestão integrado e articulado com outras políticas nas quais a questão do saneamento é um fator determinante (saúde pública, habitação, dentre outras). A lei fornece ainda diretrizes para questões como a titularidade dos serviços e condições para a validade dos contratos celebrados entre concessionárias e o poder concedente, bem como estabelece itens mínimos que devem constar nos contratos de programa ou concessão (Pontes et. al., 2020).

No seu esforço para disciplinar os contratos de prestação de serviços do setor, a Lei 11.445 requer a existência do plano de saneamento básico como condição para a validade dos contratos. A atividade de

planejamento é realizada primariamente no âmbito municipal, de forma indelegável, sendo os municípios responsáveis pela formulação dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). O PMSB é visto como um dos principais procedimentos para organizar a gestão dos serviços de saneamento e serve como marco orientador para a expansão dos serviços no médio e longo prazo.

O número de municípios com instrumento de planejamento vem aumentando gradualmente. Em 2016, 2.452 municípios possuíam PMSB, o que corresponde a 44% do total de municípios brasileiros (Figura 5.14). Ressalte-se que este percentual superou antecipadamente a meta de curto prazo definida pelo Plano Nacional de Saneamento Básico, que estipulava que 32% dos municípios brasileiros deveriam ter PSMB até o ano de 2018⁷.

Figura 5.14: número de municípios com instrumento de planejamento



Fonte: elaborado pelo autor.

Não obstante o ritmo acelerado de adoção do PMSB, municípios de pequeno e médio porte vêm encontrando dificuldades para a elaboração de seus planos de saneamento. Estes municípios possuem baixa capacidade técnica e poucos recursos para organizarem o planejamento e, na impossibilidade de delegarem esta função, acabam por produzir

planos de baixando qualidade ou mesmo deixando de produzir os planos.

Além do potencial limite à disseminação deste instrumento, o processo de planejamento introduzido pelo marco regulatório setorial vem sendo objeto de algumas críticas. Em primeiro lugar, o PMSB deve ser supostamente articulado com as

⁷O Plano Nacional de Saneamento (PLANSAB) foi estabelecido em 2013 e contém metas de curto prazo (2018), médio prazo (2023) e longo prazo (2033). As metas para o número de municípios com PMSB eram de 32% para 2018, 51% para 2023 e 90% para 2033.

demais esferas de planejamento do setor público, mas na prática esta articulação tem se mostrado complexa e intrincada. Em segundo lugar, esse processo de planejamento vem se mostrando dissociado da análise de viabilidade econômico-financeira, gerando planos que não coadunam com as realidades socioeconômicas e mesmo tarifárias subjacentes. Por fim, pouco esforço tem sido empreendido para a avaliação e monitoramento sistemáticos dos planos, o que restringe a capacidade de aprimorá-los ao longo do tempo (Pereira e Heller, 2015). Este conjunto de limitações tende a reduzir a efetividade do planejamento como instrumento organizador da gestão dos serviços de saneamento.

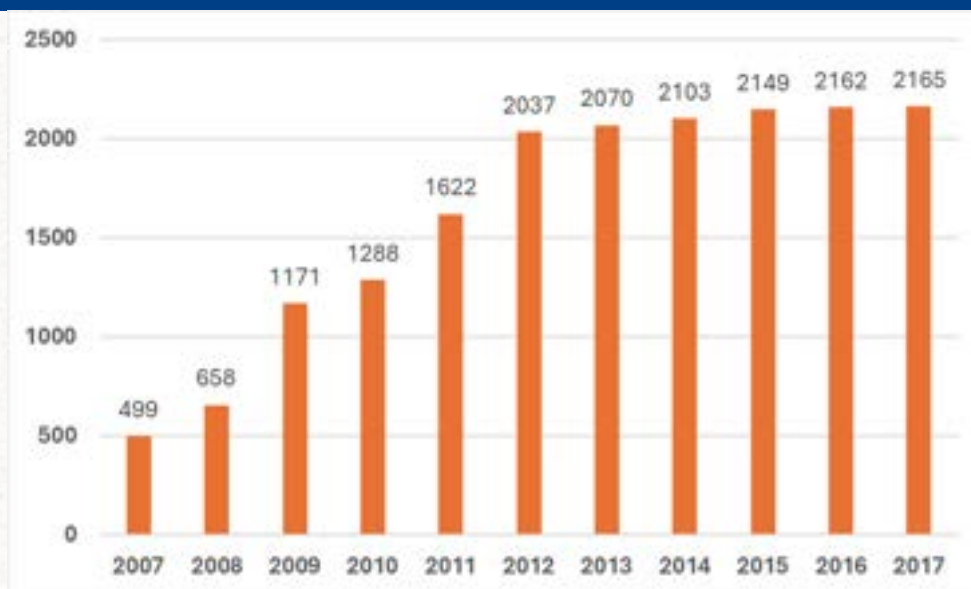
Outra exigência imposta na Lei 11.445 para a validade dos contratos de prestação de serviços diz respeito à necessidade da designação da entidade de regulação e fiscalização. Em relação à regulação, os objetivos definidos pela Lei 11.445 incluem tanto a regulação técnica quanto econômica.

O processo de avanço da regulação desencadeado pela lei 11.445 é gradual.

Assim como no caso do planejamento, o principal entrave é a capacidade técnica escassa dos entes subnacionais. Para suavizar os problemas gerados pela multiplicação de reguladores e da baixa capacidade institucional dos pequenos municípios, a lei permitiu a delegação das funções de regulação por parte dos titulares a qualquer entidade reguladora constituída dentro dos limites do respectivo estado. Esta prerrogativa tem sido utilizada pelos municípios tanto pela delegação a agências reguladoras estaduais quanto a agências constituídas sob a forma de consórcio público com a finalidade de regulação. Hoje funcionam no Brasil mais de 45 entidades reguladoras de saneamento, de três tipos: agências municipais,; agências estaduais, que são a maioria e que concentram a maior parte das delegações reguladas; e agências em consórcio intermunicipal.

A evolução do número de delegações reguladas é apresentada na Figura 5.15, sendo que novas agências vêm sendo criadas ou agências existentes vêm sendo ativadas e deverão ampliar o número de delegações reguladas nos próximos anos.

Figura 5.15 - Evolução do número de municípios regulados



Fonte: elaborado pelo autor.

Um dos entraves à efetividade da regulação diz respeito ao conteúdo dos chamados contratos de programa. Contratos de programa são contratos estabelecidos entre entes públicos para a prestação de serviços.

No contexto do saneamento, os contratos de programa estabelecem a relação entre o poder concedente municipal e os entes estaduais proprietários de Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs).

Historicamente, as CESBs operavam os serviços nesses municípios sem um quadro bem definido de direitos e obrigações nos contratos de programa, e muitas vezes sem mesmo uma relação contratual formal.

A Lei 11.107 de 2005 estabeleceu um marco legal relativo aos contratos entre entes do setor público (as chamadas “parcerias público-público”). Em particular, essa lei disciplinou a relação entre os poderes concedentes, tipicamente municipais, e os entes estaduais proprietários de CESBs. Essa legislação de parcerias público-público permitiu a contratualização de um conjunto de relações que historicamente se processavam em um ambiente pouco institucionalizado.

Os efeitos da maior disciplina dos contratos público-público como preconizado pela Lei 11.107, com definição mais transparente das obrigações das companhias públicas de saneamento, deve permitir uma fiscalização e regulação mais eficaz no médio e longo prazos. No entanto, os efeitos no curto prazo são limitados, uma vez que muitos contratos são de longa duração e foram celebrados antes de a lei entrar em vigor⁸.

Em resumo, o planejamento e a supervisão regulatória têm grande potencial para gerar incentivos para a prestação eficiente dos serviços de saneamento, bem como promover o investimento no aumento da cobertura dos serviços de água e esgoto. No entanto, ainda existem desafios significativos para que estes instrumentos de fato consigam gerar todos os potenciais benefícios. Neste sentido, a Lei 14.026 de 2020, ao conceder à ANA a atribuição de editar normas de referência para a regulação do setor e ao possibilitar o financiamento dos PMSBs através de repasses de recursos federais, pode representar um importante impulso na disseminação e na eficácia das ações de planejamento e regulação do setor.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos

Os planos de recursos hídricos, conforme disposto na Lei 9.433/97, são planos diretores de longo prazo que visam orientar a implementação da política e o gerenciamento dos recursos hídricos. Eles podem ser elaborados nos níveis de bacias hidrográficas, por estados e para o país, devendo abarcar desde as realidades locais das bacias até o macroplanejamento nacional.

Neste contexto, o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2006 – 2020 (PNRH 2006 – 2020) constituiu um primeiro documento estratégico para orientar a gestão e o uso das águas no Brasil. O PNRH 2006 -2020 estabeleceu diretrizes, programas e metas para o uso racional e sustentável da água (MMA, 2006).

Uma avaliação de sua trajetória revela que foram obtidos avanços consideráveis, sobretudo no fortalecimento do sistema de gestão e na aplicação dos instrumentos definidos na Política Nacional de Recursos Hídricos. Se por um lado o PNRH 2006 – 2020 constituiu-se em peça fundamental na consolidação do modelo de gestão integrada, por outro lado o plano obteve progressos limitados em termos de eficácia do instrumento de cobrança e na integração com outras políticas setoriais (Tabela 5.3).

⁸O texto base do projeto de lei do saneamento (PL 4162/19), aprovado na Câmara dos Deputados e ainda em tramitação no Senado, prevê que contratos de programa firmados antes da promulgação da lei permanecem em vigor até o fim do prazo contratual.

Tabela 5.3 - Avanços e desafios remanescentes do PNRH 2006 -2020

Avanços	Desafios
Fortalecimento do sistema: o PNRH 2006-2020 impulsionou a implementação do SINGREH, consolidando a estrutura de governança e o modelo de gestão participativa.	Integração com políticas e planos setoriais: é necessário avaliar as interrelações do PNRH 2006-2020 e propor estratégia de integração com demais planos setoriais (ex. Plano Hidroviário Estratégico, Plano Decenal de Energia, Plano Nacional de Saneamento Básico, Política Nacional de Irrigação, etc.)
Instrumentos de gestão: o PNRH 2006-2020 consolidou a aplicação de instrumentos como a outorga pelo direito do uso da água e a cobrança pelo uso da recursos hídricos.	Baixa eficácia da cobrança: embora a cobrança pelo uso da água tenha sido estabelecida, os valores arrecadados foram insuficientes para financiar as necessidades de gestão e investimento.
Revisões periódicas: o PNRH 2006-2020 passou por duas revisões (2010-2011 e 2016) através de um processo participativo, o que foi importante para a relevância e legitimidade da atividade de planejamento.	Fragilidade da fiscalização: a fiscalização e o controle do uso da água, essenciais para coibir o uso irregular e garantir a aplicação das outorgas, ainda enfrentam dificuldades e muitas bacias hidrográficas.
Transparência: dos documentos do PNRH 2006-2020 e suas revisões foram amplamente divulgados, garantindo acesso à informação para as partes interessadas e a sociedade como um todo.	Crises hídricas: o período de vigência do PNRH 2006-2020 foi marcado por crises hídricas em várias partes do país, expondo a vulnerabilidade do planejamento. Com o potencial da recorrência destes eventos aumentando dentro de um cenário de mudanças climáticas, é preciso incorporar as lições aprendidas para enfrentar a escassez de forma mais robusta.

Fonte: elaborado pelo autor.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022 – 2040⁹ (PNRH 2022 – 2040) tenta avançar sobre as lacunas deixadas pelo plano anterior. Em sua elaboração foi dado destaque à abordagem multissetorial, em um esforço para se formular políticas mais eficazes e integradas. Ele é composto por cinco programas (Tabela 5.4), que se

subdividem em 23 subprogramas. Todos os programas e subprogramas contam com objetivos, ações e metas. As metas são estabelecidas em ciclos um horizonte temporal de cumprimento de curto (4 anos - 2026), médio (8 anos - 2030) e longo prazo (até 2040).

⁹Devido à pandemia da Covid-19, o PNRH 2006-2020 teve sua vigência estendida até o fim de 2021.

Tabela 5.4 - Programas do PNRH 2022 – 2040

Programa	Descrição
Programa 1 – Fortalecimento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH)	Tem como objetivo “aperfeiçoar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, qualificando e aprimorando a atuação dos entes do SINGREH, bem como efetivando a articulação entre as entidades que o integram” e é composto por 5 (cinco) Subprogramas que tratam, em linhas gerais, do desenvolvimento institucional do SINGREH e do avanço científico e tecnológico na gestão de recursos hídricos.
Programa 2 – Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos	Tem como objetivo “melhorar as condições de operação do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos, a partir do aperfeiçoamento de seus instrumentos de gestão” e conta com 6 (seis) Subprogramas tratando dos instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na Política, mas também do Cadastro dos Usuários e da Fiscalização dos Usos dos Recursos Hídricos.
Programa 3 – Gestão da Qualidade e da Quantidade de Recursos Hídricos	Tem como objetivo “estudar e propor soluções adequadas para resolver problemas de balanço hídrico quali-quantitativo e garantir o atendimento das demandas, por meio de estratégias diferenciadas de aperfeiçoamento e integração das informações sobre disponibilidade hídrica quali-quantitativa superficial e subterrânea; de monitoramento; de gestão de conflitos; de adaptação às mudanças climáticas, objetivando a segurança hídrica”. Este Programa é composto por 5 (cinco) Subprogramas.
Programa 4 – Integração da Política Nacional de Recursos Hídricos com Políticas e Planos Setoriais	Tem como objetivo “integrar e articular com os diferentes setores governamentais e os usuários de recursos hídricos, buscando promover a compatibilidade com outras políticas e planejamentos para o aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos de forma sustentável”. O Programa 4 é formado por 6 (seis) Subprogramas e trata de temas transversais aos demais Programas do PNRH e que exigem a integração entre políticas para a sua implementação.
Programa 5 – Gerenciamento do PNRH 2022-2040	Tem como objetivo “apoiar executivamente, monitorar e avaliar o processo de implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, mediante os instrumentos e os indicadores adequados, para identificar as correções de rumo e os ajustes necessários, bem como divulgar as suas ações e resultados para a sociedade”. Este Programa é estratégico para dar transparência à implementação das ações e metas do PNRH 2022-2040.

Fonte: elaborado pelo autor, a partir de ANA (2021).

Entre os avanços observados neste documento, observa-se que o PNRH 2022 – 2040 reconhece a influência das alterações do clima como um fator fundamental para a gestão de recursos hídricos de longo prazo, incorporando as mudanças climáticas e seus efeitos sobre o regime hidrológico na construção de seus cenários. Ao se considerar a influência das mudanças climáticas juntamente com projeções de demanda e disponibilidade hídrica, os cenários permitem que se criem diversas opções para a gestão hídrica e para medidas de adaptação, preparando o país para diferentes futuros.

Além da integração com as questões climáticas, o PNRH 2022 – 2040 dá amplo espaço a interrelação da gestão de recursos hídricos com outras políticas setoriais, de modo a contemplar o uso múltiplo da água. Em seu plano de trabalho, o PNRH 2022 – 2040 trata da relação entre a gestão de recursos hídricos com a segurança de barragens, com a gestão de zonas costeiras e com a gestão de regiões transfronteiriças. Ganha destaque ainda a questão da revitalização de bacias hidrográficas, em consonância com as diretrizes do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas. O PNRH 2022 – 2040 também aponta para a necessidade de uma maior articulação com os planos subnacionais (Planos Estaduais de Recursos Hídricos e Planos de Bacias Hidrográficas), com o objetivo de alinhar as diretrizes nacionais às realidades locais e regionais.

Ainda no esforço de integração, os programas e ações propostos no PNRH 2022-2040 foram alinhados aos compromissos assumidos pelo governo brasileiro frente aos Objetivos do Desenvolvimento do Milênio para 2030, em especial o ODS 6 – Água e Saneamento. Metas do ODS 6 como a cooperação transfronteiriça, o compromisso com a gestão integrada e o aumento qualitativo da disponibilidade de água estão contempladas no PNRH 2022 – 2040.

Passada a etapa do desenho do PNRH 2022 – 2040, o desafio agora consiste na implementação das ações previstas nos programas e subprogramas e no monitoramento efetivo do alcance das metas.

Considerações finais

A implementação do sistema de gestão descentralizado e participativo dos recursos hídricos no Brasil mostrou avanços significativos desde a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos em 1997. Ainda que o ritmo de implementação das estruturas de governança e dos instrumentos de política ocorra de forma desigual no território, as bacias hidrográficas com maior potencial para conflitos pelo uso da água já contam com comitês ativos e com planos de bacias hidrográficas em execução. O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos consolidou-se e permite o monitoramento das informações sobre disponibilidade hídrica e usos da água a partir da integração de dados, sendo um instrumento importante de planejamento e apoio à tomada de decisão. O planejamento estratégico do setor ocorre tanto em nível local (planos de bacia hidrográfica) quanto em nível nacional, com o PNRH 2022-2040 sendo um instrumento de macroplanejamento estratégico com visão de longo prazo.

Acumulam-se ainda os casos de implementação da cobrança pelo uso da água. Apesar da ampliação gradual da aplicação deste instrumento econômico, a baixa eficácia da cobrança é um desafio a ser superado. Os baixos valores de cobrança definidos pelos CBHs comprometem a capacidade do instrumento não apenas em sinalizar a escassez da água e incentivar o uso racional, mas também mostram-se insuficientes para financiar as necessidades de gestão.

Uma possível explicação para a definição de baixos valores de cobrança pode estar relacionada à estrutura participativa da composição dos CBHs. Uma vez que os CBHs são responsáveis pela definição dos valores da cobrança e contam com uma significativa representação dos setores usuários, estes tendem a pressionar pela

redução dos valores de modo a minimizar custos. Desta forma, enquanto o caráter participativo do comitê garante a aceitabilidade e reduz a resistência dos setores usuários, este processo de legitimação da cobrança se dá em detrimento da eficácia do instrumento. É preciso pensar em ações que aumentem a eficácia da cobrança como instrumento de financiamento do sistema de gestão e como mecanismo de indução ao uso eficiente da água.

Vale ainda registrar que a complexidade dos desafios da gestão de recursos hídricos no Brasil tende a aumentar no contexto da denominada “tríplice crise”, representada pelas mudanças climáticas, pelo desmatamento e pela perda da biodiversidade. Os cenários dos diferentes modelos climatológicos apontam de forma consistente para as alterações no regime de chuvas no país, com a intensificação e maior frequência de eventos extremos como secas severas e inundações ao longo do século XXI. Além disso, o desmatamento e as alterações climáticas levam à perda de biodiversidade, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos e a sua capacidade de regular o ciclo da água. Os efeitos da

tríplice crise sobre o regime hidrológico poderão contribuir para o agravamento problemas de segurança hídrica.

Além do um cenário mais complexo e desafiador em relação à oferta, os gestores de recursos hídricos devem ainda se defrontar com uma crescente demanda dos setores usuários. A expansão da agricultura irrigada, o crescimento urbano e industrial tendem a impactar tanto a quantidade quanto a qualidade da água, bem como a intensificar os conflitos pelo seu uso.

Neste sentido, a integração da gestão dos recursos hídricos com as demais políticas setoriais mostra-se fundamental para garantir o aproveitamento múltiplo da água de forma sustentável. A articulação com as estratégias definidas para os diferentes setores (por exemplo, hidrovial, saneamento básico, geração de energia, agricultura irrigada), bem como a incorporação dos efeitos das mudanças climáticas na prospecção dos cenários hidrológicos, são condições necessárias para a garantia da segurança hídrica no longo prazo. O Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 já contempla tais questões. Resta agora o importante desafio da implementação de suas ações.

Referências

Agência Nacional de Águas (ANA). **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: 2021.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2ª edição. Brasília: 2021.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**. Brasília: 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) 2022 - 2040**. Volume II: Plano de Ação. Brasília: 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: informe anual**. Brasília: 2024.

Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura da Fundação Getúlio Vargas (FGV CERI). **Reformulação do Marco Legal do Saneamento no Brasil**. Rio de Janeiro: 2022.

Ministério das Cidades. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto: visão geral - ano de referência 2022**. Brasília: SNSA/MC, 2023.

Ministério do Desenvolvimento Regional. **Texto-base do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (PNRBH)**. Brasília SNSH/MDR, 2020.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)**. Brasília: SRH/MMA, 2006.

Pereira, T.; Heller, L. **Planos municipais de saneamento básico: avaliação de 18 casos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.20, n.3, p.395-404, 2015.

Peron, T. **Gestão de conflitos no compartilhamento do uso múltiplo das águas: estudos de caso**. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, p. 144, 2023.

Pontes, R.; Ferreira, M.; Turolla, F.; Féres, J. Regulação, planejamento e eficiência técnica no setor saneamento básico no Brasil. In: **Anais do 48º Encontro Nacional de Economia, 2020**. Disponível em https://www.anpec.org.br/encontro/2020/submissao/files_/i9-a2295ca2e7eceb28c5cb02c8707c740e.pdf

RECURSOS HÍDRICOS

Como melhorar a gestão dos recursos hídricos no Brasil?



Foto: Gilberto Soares/MMA

Breno Melo¹ Letícia Larcher¹

¹Wetlands International Brasil

As insuficientes ações de gestão hídrica no Brasil têm revelado a urgência de implementar estratégias integradas que envolvam a conservação do solo, o uso sustentável dos recursos e a adaptação às mudanças climáticas, visando garantir a segurança hídrica e a resiliência dos ecossistemas e das comunidades diante dos desafios atuais.

Melhorar a gestão dos recursos hídricos no Brasil exige uma abordagem multifacetada, que combine políticas públicas robustas, inovação tecnológica e um planejamento territorial sustentável. A urgência dessa agenda é amplificada por dados de monitoramento, como os do MAPBiomias, que revelam a crescente pressão antrópica sobre biomas fundamentais para a regulação hídrica nacional. As cabeceiras do Pantanal representam um exemplo crítico da conservação do solo como um componente fundamental da segurança hídrica, pois a conversão do uso do solo nessa região ameaça o pulso de inundação da maior planície alagável do mundo, comprometendo a dinâmica hídrica e a biodiversidade local (INPE, 2023; CEMADEM, 2023).

Nesse cenário, soluções baseadas na natureza adquirem protagonismo. Práticas agrícolas conservacionistas, como plantio direto, terraceamento e rotação de culturas, buscam aumentar a infiltração de água no solo, que, por sua vez, funciona como um grande reservatório subterrâneo. Um solo saudável e permeável recarrega aquíferos, regula o fluxo dos rios e atua na mitigação de enchentes e estiagens (Foster e Moriarty, 2017). Paralelamente, a restauração de Áreas de Preservação Permanente (APPs), especialmente matas ciliares, é uma medida não negociável. Essas áreas filtram sedimentos, protegem nascentes e estabilizam margens, garantindo a qualidade da água e a integridade dos cursos d'água (Silva et al., 2022).

Essas ações, contudo, precisam ser

complementadas por uma gestão de paisagem eficiente, que coordene ações macrorregionais, promovendo o investimento em infraestrutura, saneamento e modernização de sistemas de abastecimento, além do uso de tecnologias de monitoramento em tempo real através de sensores e satélites (Gao e Chen, 2023). Essas ferramentas fornecem os dados necessários para uma tomada de decisão rápida e eficiente, permitindo antecipar crises e otimizar recursos.

A efetividade de todas essas iniciativas está intrinsecamente ligada à implementação da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que articula os setores ambiental, agrícola, industrial e urbano, promovendo a cooperação entre usuários, governos e sociedade civil. Essa governança participativa é fundamental para uma gestão mais eficiente e democrática, assegurando o uso racional da água e a proteção dos mananciais. Embora a Lei nº 9.433/1997 e outras políticas tenham sido marcos importantes na direção de uma gestão mais integrada e descentralizada, muitas ainda enfrentam desafios práticos, como a implementação e aplicação dos instrumentos existentes, a insuficiência de fiscalização, recursos limitados e a inclusão de comunidades vulneráveis. Para superar esses obstáculos, é urgente ampliar recursos para fiscalização, capacitar gestores técnicos, fortalecer a participação social e ampliar o uso de tecnologias de monitoramento avançado. Essas ações fortaleceriam as políticas existentes, tornando-as mais eficazes e capazes de garantir a segurança hídrica, especialmente em regiões de maior vulnerabilidade, como o semiárido e áreas urbanas em rápida expansão.

Por fim, todas essas estratégias convergem para um objetivo maior: construir resiliência às mudanças climáticas. A combinação de conservação do solo, proteção de bacias e

gestão inteligente cria ecossistemas mais adaptáveis aos extremos de chuva e seca, assegurando água de qualidade e quantidade para as futuras gerações. Essa é uma tarefa complexa, que exige a integração do conhecimento técnico, a vontade política e uma visão sustentável do desenvolvimento. Só assim será possível garantir uma gestão hídrica eficiente, capaz de responder aos desafios atuais e promover a segurança hídrica no Brasil de forma duradoura.

Referências

- Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. (2023). Sistema de Monitoramento de Desastres Naturais. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
- Foster, S. S. D., & Moriarty, M. (2017). Soil health and groundwater recharge: An integrated perspective. **Journal of Hydrology**, 548, 210-222. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.012>
- Gao, H., Li, F., & Chen, Y. (2023). Real-time hydrological monitoring using satellite remote sensing and sensor networks: innovations and applications. **Water Resources Research**, 59(4), e2022WR033456. <https://doi.org/10.1029/2022WR033456>
- INPE. (2023). **Dados abertos de monitoramento ambiental**. Disponível em <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>
- MAPBiomass. (2023). **Plataforma de Dados e Monitoramento de Biomass Brasileiros**. Disponível em <https://mapbiomas.org>
- Silva, A. P., Oliveira, R. S., & Costa, E. P. (2022). Restoration of Riparian Forests and Their Role in Water Quality and Streambank Stabilization. **Environmental Management**, 69(3), 405-418. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01649-5>

Marco J. M. Neves¹

¹Superintendente de Regulação de Usos de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é um desafio complexo, considerando que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, cuja disponibilidade e demanda estão intrinsecamente ligadas ao uso e ocupação do solo, aos padrões de consumo da população e aos impactos das mudanças climáticas. O Brasil, detentor de 12% da água doce superficial global, enfrenta uma distribuição desigual desse recurso, o que agrava os desafios de gestão. A Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelecidos por meio da “Lei das Águas” (Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997) têm sido fundamentais para a governança da água no país. No entanto, apesar dos avanços na “reforma da água” nas últimas três décadas, ainda existem lacunas significativas, especialmente em relação à resposta às mudanças climáticas, à efetiva e qualificada participação dos usuários e à integração da regulação dos usos de recursos hídricos. A gestão adaptativa dos recursos hídricos surge como uma abordagem necessária para enfrentar esses desafios, integrando instrumentos da política, integrando a regulação dos usos de recursos hídricos e promovendo uma regulação responsiva.

Desafios e Avanços na Gestão Hídrica

Desde a implementação do “Código de Águas” em 1934 até a “Lei das Águas” de 1997, o Brasil avançou substancialmente na governança da água. No entanto, a gestão ainda enfrenta desafios, como a falta de diálogo entre os instrumentos da política e a necessidade de uma maior integração entre planos, outorgas, enquadramento e cobrança. A gestão deve evoluir para alcançar níveis ampliados de segurança hídrica, considerando as múltiplas interações entre variáveis ambientais, institucionais, econômicas, sociais e políticas.

Iniciativas para Melhorar a Gestão

Três iniciativas são destacadas para

melhorar a gestão dos recursos hídricos no Brasil: (i) integração entre os instrumentos da política de recursos hídricos, (ii) integração nacional da regulação dos usos dos recursos hídricos e (iii) regulação responsiva do acesso aos recursos hídricos.

Em primeiro lugar, a integração entre os instrumentos da política visa tornar os planos de recursos hídricos mais efetivos, adotando processos deliberativos bem-informados nos Comitês de Bacias Hidrográficas e metodologias modernas baseadas em dados e evidências técnicas. A internalização das incertezas climáticas nos cenários prospectivos objetivando o estabelecimento de uma estratégia robusta e a adoção de um balanço hídrico único em bacias interestaduais como suporte à análise de requerimentos de outorga por todos os órgãos gestores estaduais e pela ANA, são melhorias essenciais para uma gestão adaptativa.

Em segundo, a integração nacional da regulação dos usos de recursos hídricos é necessária para consolidar uma abordagem moderna, disponibilizando um ambiente onde Estados e União integrem processos e sistemas de regulação, em uma única plataforma digital. O Pacto pela Governança da Água e o Programa PROGESTÃO são exemplos de iniciativas que promovem essa integração, incentivando a cooperação técnica e a transformação digital.

A **Plataforma Águas Brasil**, em desenvolvimento pela ANA a partir das demandas advindas dos Seminários Nacionais de Fomento à Integração da Regulação dos Usos de Recursos Hídricos (2023, 2024 e 2025), é uma iniciativa de transformação digital que visa modernizar a regulação e gestão dos usos de recursos hídricos, proporcionando uma jornada intuitiva e simplificada para cidadãos e empresas. A primeira versão dessa plataforma será lançada em dezembro de 2025, no contexto da celebração dos 25 anos da Agência Nacional de Águas e

Saneamento Básico.

Por fim, a regulação responsiva dos usos de recursos hídricos busca alinhar a disponibilidade hídrica "de papel" (baseada em estatísticas de definem garantias fixas de atendimento) com a "real" (baseada na disponibilidade monitorada do rio), promovendo a participação ampla dos usuários, especialmente em territórios com restrição de disponibilidade hídrica outorgável. Regulamentos de alocação de água que definem garantias variáveis de atendimento da vazão requerida, priorização do atendimento de usuários de recursos hídricos de forma pactuada localmente no caso da impossibilidade de atendimento do conjunto de usuários, otimização do uso da água já alocada por meio da possibilidade de compartilhamento entre usuários, foram definidos com ampla participação de especialistas, acadêmicos e usuários de recursos hídricos, e estão em implementação em ambiente experimental regulatório nas bacias hidrográficas dos rios Bezerra (GO/MG), Javaés (TO/GO), Quaraí (RS) e Médio Rio Pardo (BA/MG). Essas abordagens enfatizam a subsidiariedade e descentralização das decisões, empoderando os usuários e fomentando a organização local. A experimentação regulatória dos normativos, com prazos definidos e indicadores de monitoramento, é uma característica comum dessas iniciativas. Além disso, novas tecnologias, como o automonitoramento do uso, têm sido adotadas para acompanhar esses processos.

Conclusão

A gestão dos recursos hídricos no Brasil evoluiu substancialmente nas últimas três décadas, no entanto deve dar um próximo passo para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e falta de integração entre instrumentos e sistemas de regulação dos usos de recursos hídricos. A integração efetiva entre os instrumentos da política, a regulação responsiva e a transformação digital são fundamentais para alcançar uma gestão adaptativa e sustentável e refletir a realidade da bacia hidrográfica. A participação efetiva dos

usuários e a cooperação técnica entre os órgãos gestores são essenciais para promover a segurança hídrica e o uso sustentável dos recursos hídricos nesse novo contexto da governança da água no País.

Referências

- Sampaio, F., & Neves, M. J. M. (2023). Regulação responsiva em bacias hidrográficas críticas: A busca de alternativas regulatórias pela segurança hídrica. In *Pensando o futuro da regulação: Desafios, perspectivas e novas tecnologias*. Brasília: Arraes Editores Ltda.
- Collischonn, B., & Neves, M. J. M. (2024). Outorga com gestão de garantia e prioridade: Uma estratégia para maximização do uso da água em bacias hidrográficas. *Revista da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID)*, (126).
- Neves, M. J. M., & Rubert, O. A. V. (2024). Plataforma Águas Brasil: Integração nacional da regulação dos usos de recursos hídricos. *Revista Águas do Brasil*, (33). Rede Brasil de Organismos de Bacia.
- Collischonn, B., Thomas, P. T., & Neves, M. J. M. (2025). Towards the adoption of a priority-based water rights system in Brazil. In *World Environmental and Water Resources Congress 2025*. <https://doi.org/10.1061/9780784486184.060>

6 AGRICULTURA



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:
<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou
<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE NO BRASIL: IMPACTOS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Autores: Dênis Antônio da Cunha¹, Elizângela Aparecida dos Santos² e Marcelo José Braga¹

¹Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa (UFV)

²Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

Sumário Executivo

O papel do Brasil no cenário agropecuário global tem crescido nas últimas décadas, sendo o maior produtor e exportador de diversas *commodities*. O Brasil tem liderança global na produção e exportação de soja, milho, café, açúcar e carnes. Nas duas últimas décadas, a produção agropecuária brasileira cresceu, em média, 8% ao ano, e o valor das exportações, incluindo produtos processados, aumentou cerca de 9,4%.

Porém, o modelo agrícola dominante baseia-se em uso intensivo de insumos químicos e expansão sobre ecossistemas nativos. A área agropecuária cresceu de 187,3 para 282,5 milhões de hectares entre 1985 e 2022. Pastagens representam 58% do total e aumentaram aproximadamente 60% no período. Na Amazônia, as pastagens aumentaram de 13,7 para 57,7 milhões de hectares. O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de agrotóxicos. Entre 2010 e 2022, a comercialização de agrotóxicos aumentou 108%. Soja, milho, algodão e cana-de-açúcar respondem por 83% do consumo nacional de agrotóxicos.

A expansão agropecuária sem planejamento ambiental gera perda de biodiversidade, contaminação do solo, da água e do ar, pressão sobre povos tradicionais e concentração fundiária. Isto acontece sobretudo no Cerrado e na Amazônia. No Cerrado, a pressão se dá pela conversão direta de áreas (50% já transformadas), enquanto na Amazônia o ciclo de desmatamento é alimentado pelo deslocamento da pecuária extensiva pela

agricultura. Os demais biomas também sofrem pressões: substituição de pastagens no Pampa, pecuária de baixa produtividade no Pantanal, ocupação de áreas frágeis na Caatinga e monoculturas em paisagens fragmentadas da Mata Atlântica.

No campo há muitas desigualdades e vulnerabilidades que comprometem a sustentabilidade do setor no longo prazo. Agricultores familiares são 77% dos estabelecimentos, mas ocupam apenas 23% da área agrícola. Menos de 20% dos agricultores familiares recebem assistência técnica regularmente. A maior parte do crédito rural ainda é destinada à agricultura patronal. A concentração fundiária é elevada, com índice de Gini entre 0,73 e 0,86. Eventos climáticos extremos têm causado perdas na produção e produtividade agropecuária. A agricultura familiar é mais vulnerável, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. Povos indígenas e comunidades tradicionais sofrem com a degradação ambiental e têm pouco acesso a políticas públicas.

A dinâmica da agricultura e as transformações em curso estão conectadas aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. A agropecuária exerce papel estratégico no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao mesmo tempo em que representa um ponto de tensão para sua efetivação. O agronegócio representa, em média, 25% a 30% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, gerando milhões de postos de trabalho, renda e divisas ao país.

Entretando, apenas 8% das metas da Agenda 2030 foram plenamente cumpridas até agora. Barreiras à sustentabilidade são: baixa adoção de práticas sustentáveis, dependência de insumos químicos, desigualdade no acesso ao crédito e assistência, fragilidade da governança e retrocessos legais. Existem várias práticas sustentáveis adotadas: plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, rotação de culturas, manejo integrado de pragas, agricultura de precisão e Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Porém, iniciativas para melhoria, como o Plano ABC, Moratória da Soja e novas regras do Plano Safra, enfrentam limitações na implementação.

Avançar na sustentabilidade é essencial para garantir competitividade, crescimento econômico, segurança alimentar e justiça social. Várias estratégias e recomendações para transformação necessitam ser adotadas e aceleradas, com recuperação de pastagens degradadas, expansão de sistemas agroecológicos, e adoção do pagamento por Serviços Ambientais (PSA), bioinsumos, energia verde e valorização de saberes tradicionais. Para isto deve-se fortalecer a governança, ampliar assistência técnica, rever incentivos fiscais, expandir o crédito “verde”, garantir direitos territoriais e basear políticas em evidências científicas.

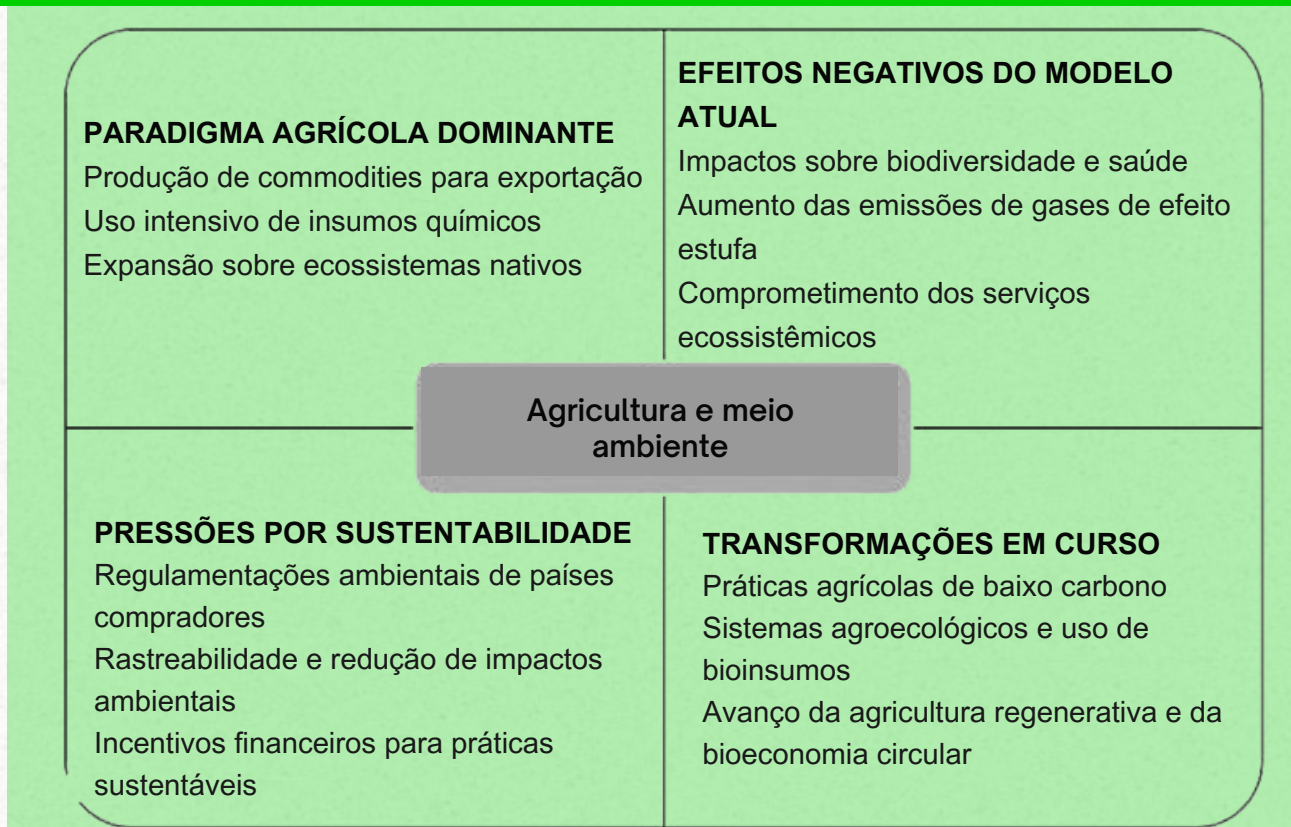
Introdução

O Brasil ocupa papel importante no cenário agropecuário global, sendo o maior produtor e exportador de diversas commodities, como soja, milho, açúcar e carnes (Maranhão et al., 2025; United States Department of Agriculture – USDA, 2023). Nas duas últimas décadas, a produção agropecuária brasileira cresceu, em média, 8% ao ano, e o valor das exportações, incluindo produtos processados, aumentou cerca de 9,4% (Valdes, 2022). Esses avanços resultam da combinação de disponibilidade de terra, água e condições edafoclimáticas favoráveis, política agrícola e investimento em pesquisa e inovação tecnológica. Projeções indicam que até meados do século XXI a produção brasileira,

principalmente de soja e carne bovina, crescerá a taxas superiores às de seus concorrentes, tornando o país ainda mais relevante no comércio internacional (USDA, 2022).

A construção desse protagonismo “foi acompanhada por mudanças substanciais no uso da terra, incluindo a expansão das atividades agrícolas em vastas áreas de florestas do país” (Carreira et al., 2024, p. 3). O documento “Geo Brasil 2002: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil” foi taxativo ao afirmar que, desde o período colonial, uma das principais causas da perda da biodiversidade é a conversão de terras para a expansão agrícola (Santos; Câmara, 2002). Em 2025, esse continua sendo o grande desafio do Brasil para manter a liderança em bases sustentáveis.

Quadro 6.1: Dinâmica da agricultura brasileira: do modelo dominante à transição para a sustentabilidade



Fonte: elaboração dos autores com base em conclusões da literatura consultada para a elaboração do capítulo.

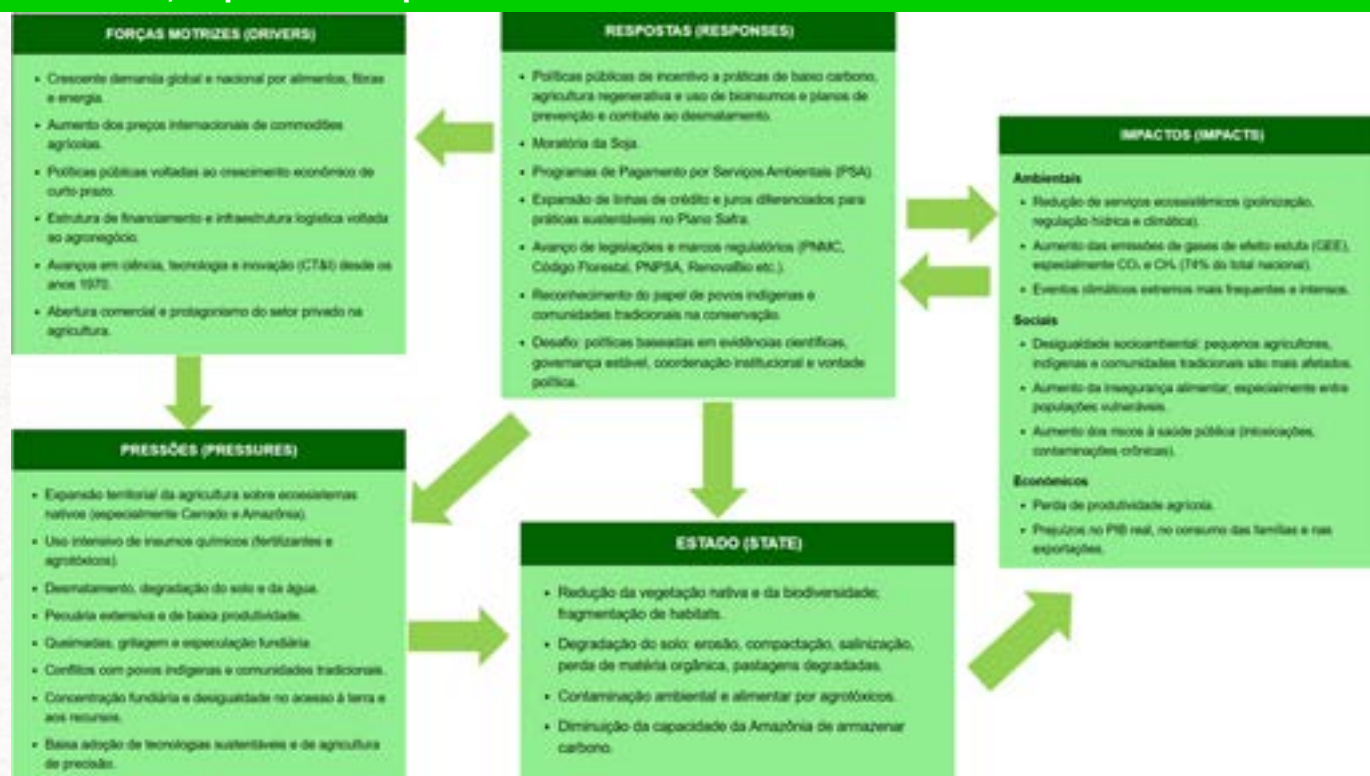
A dinâmica da agricultura e as transformações em curso estão conectadas aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. A agropecuária exerce papel estratégico no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

(ODS), ao mesmo tempo em que representa um ponto de tensão para sua efetivação. Entre os ODS diretamente relacionados à temática deste capítulo destaca-se: ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e

ODS 15 (Vida terrestre). Os temas abordados também dialogam com o ODS 1 (erradicação da pobreza), ODS 6 (água potável e saneamento) e ODS 3 (saúde e bem-estar), evidenciando o caráter transversal da sustentabilidade. Neste capítulo, a agropecuária é analisada como fonte de pressão ambiental e, simultaneamente, vetor para conciliar a produção de alimentos, fibras e energia com conservação ambiental, justiça social e resiliência climática. Para isso, buscamos descrever dinâmicas estruturais que conectam o desempenho agropecuário às transformações ambientais. Utilizamos a metodologia “Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Respostas” (Driver-

Pressure-State-Impact-Response – DPSIR) desenvolvida pela European Environment Agency (EAA, 1999). O modelo DPSIR procura organizar a relação entre sociedade e meio ambiente, identificando causas e efeitos dos problemas ambientais e direcionando ações para sua solução. É útil para orientar políticas, fornecendo informações para monitoramento e tomada de decisão. Os principais resultados da análise estão resumidos na Figura 6.1. Esse diagnóstico é relevante diante do contexto ambiental global – mudança climática, perda de biodiversidade e poluição – que desafia a sustentabilidade dos sistemas agroalimentares e exige transformações estruturais.

Figura 6.1 - Relação entre agricultura e meio ambiente: Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Respostas



Fonte: elaboração dos autores com base em conclusões da literatura consultada para a elaboração do capítulo.

Agricultura e meio ambiente: contexto da transformação estrutural da qualidade ambiental

A expansão e transformação da agropecuária tornaram o Brasil protagonista no mercado agrícola global, reconfiguraram paisagens e geraram externalidades socioambientais. O setor representa vetor de crescimento econômico e, ao mesmo tempo, desempenha papel central na crise ambiental ao contribuir significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), perda de cobertura vegetal e biodiversidade e contaminação de solos, águas e alimentos.

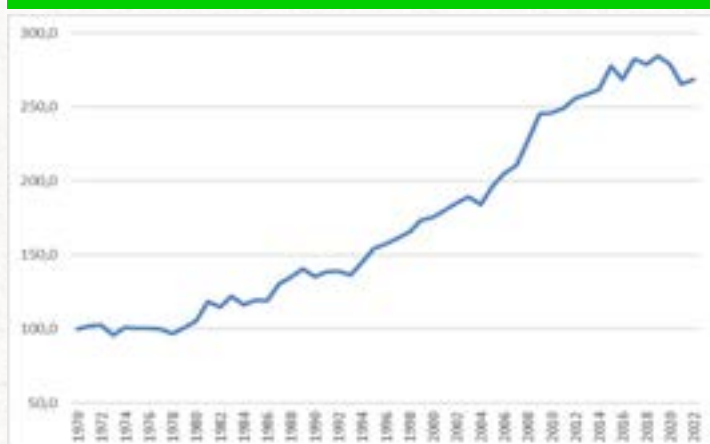
Potência agroexportadora: origens e dinâmicas da expansão

A expansão do setor tem sido impulsionada por múltiplas forças motrizes que refletem tanto dinâmicas globais quanto escolhas políticas e desenvolvimento tecnológico local. A crescente demanda mundial, o aumento nos preços internacionais e a pressão por competitividade levaram à intensificação da produção com foco na redução de custos (Maranhão et al., 2025; Costa et al., 2024; Lucas et al., 2023; Safanelli et al., 2023). Essa tendência foi reforçada por políticas públicas e estrutura de financiamento voltadas ao crescimento do agronegócio convencional (Costa et al., 2024; Leite; Wesz Junior, 2014).

Pode-se afirmar que a expansão do agronegócio não foi espontânea nem exclusivamente orientada pelo mercado, mas estrategicamente planejada e fortemente financiada pelo Estado brasileiro. Conforme destaca Leite e Wesz Junior (2015, 105), “é evidente (...) a presença do Estado no apoio e fomento das atividades produtivas agrícolas capitaneadas por commodities (...). Isso pode ser mais bem observado por meio da política de financiamento rural e agroindustrial, pela qual esse segmento vem obtendo um crescente aporte de recursos públicos”.

Conforme o relatório “Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira” (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2018), a combinação de investimentos em ciência, tecnologia e inovação (CT&I), abundância de recursos naturais, políticas públicas estratégicas, habilidade dos produtores e estruturação das cadeias de suprimentos, foi decisiva para posicionar o Brasil como potência agroexportadora. Desde a década de 1970, o país tem melhorado a eficiência de sua produção, como mostra o crescimento expressivo da Produtividade Total dos Fatores – PTF (Figura 6.2).

Figura 6.2 - Evolução da PTF do Brasil no período de 1970 a 2022



Fonte: elaboração dos autores com base em dados do United States Department of Agriculture – USDA (2024).

Esses ganhos de eficiência se refletem no “efeito poupa-terra”, resultante da adoção de tecnologias e práticas mais produtivas (Campos; Ribeiro; Da Cruz, 2024). Esse “novo padrão introduz o capital ‘em todas as suas modalidades’ no centro do desenvolvimento agrícola e agrário (...), pois a produção e as rendas agropecuárias passam a depender, crescentemente, dos investimentos em infraestrutura, máquinas, tecnologia” (Buainain et al., 2013, p. 110). Os efeitos dessas mudanças ficaram mais evidentes a partir da década de 1990, “quando o saldo comercial decorrente da produção agropecuária começou a aumentar velozmente” (Buainain et al., 2013, p. 111).

Juntamente com esse “novo padrão de produção capitalista”, a demanda nacional e internacional constitui uma das principais forças motrizes da expansão agropecuária no Brasil (Buainain et al., 2013; Maranhão et al., 2025). A demanda é impulsionada pelo crescimento populacional, pelo aumento da renda per capita em países importadores e pelas mudanças nas dietas globais que favorecem o consumo de proteína animal. Devido às suas vantagens comparativas, o Brasil tornou-se ator central no abastecimento dos mercados globais (Ribeiro et al. 2025; Bueno et al., 2025; Reis et al., 2023; Safanelli et al., 2023; Embrapa, 2018). Apesar do desempenho econômico, a expansão agropecuária também aprofundou desigualdades sociais e impactos ambientais.

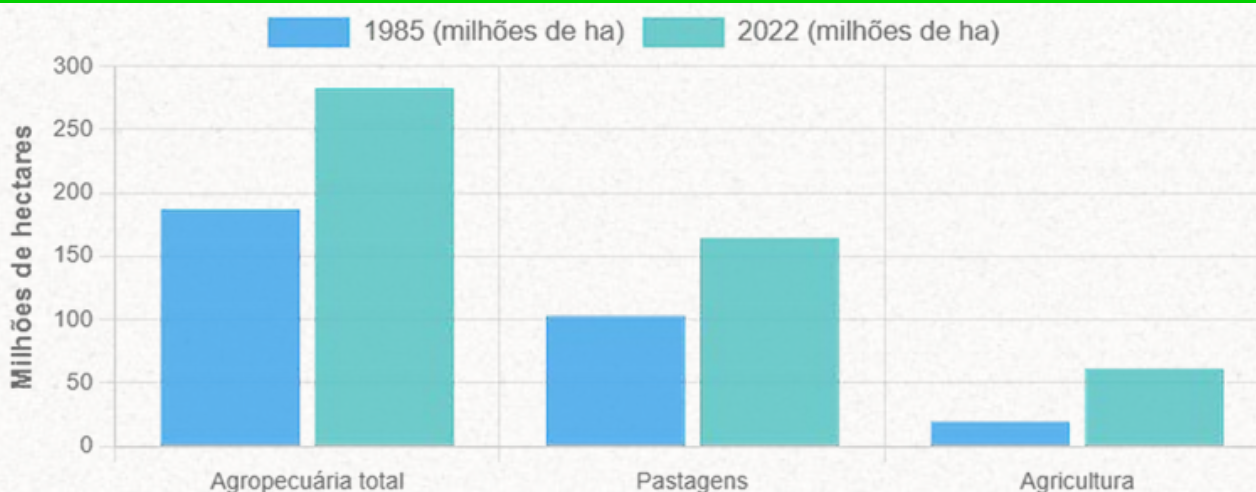
Pode-se afirmar que as forças motrizes aqui destacadas operam de forma articulada e, muitas vezes, contraditórias: enquanto algumas promovem a intensificação e a degradação ambiental, outras estimulam a inovação sustentável e a recuperação de ecossistemas, como será demonstrado ao longo do capítulo.

Pressões territoriais e ambientais: efeitos da expansão agropecuária

Mesmo com a intensificação da produtividade, também houve grande expansão da área plantada ao longo das décadas. Dados do Projeto MapBiomias (2023) indicam que, entre 1985 e 2022, a

área ocupada pela agropecuária no Brasil expandiu de 187,3 para 282,5 milhões de hectares, sendo 58% constituídos por pastagens, que tiveram crescimento superior a 60% no período (Figura 6.3). Essa expansão ocorreu principalmente na Amazônia, onde as pastagens passaram de 13,7 milhões para 57,7 milhões de hectares (Mha). Para conversão direta à agricultura, os principais estados (Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Bahia, Maranhão e Goiás) somaram 8,74 Mha de desmatamento. No caso de desmatamento para pastagens, Pará, Mato Grosso, Rondônia, Maranhão e Tocantins totalizaram 51,3 milhões de Mha.

Figura 6.3 - Expansão da área agrícola no Brasil entre 1985 e 2022

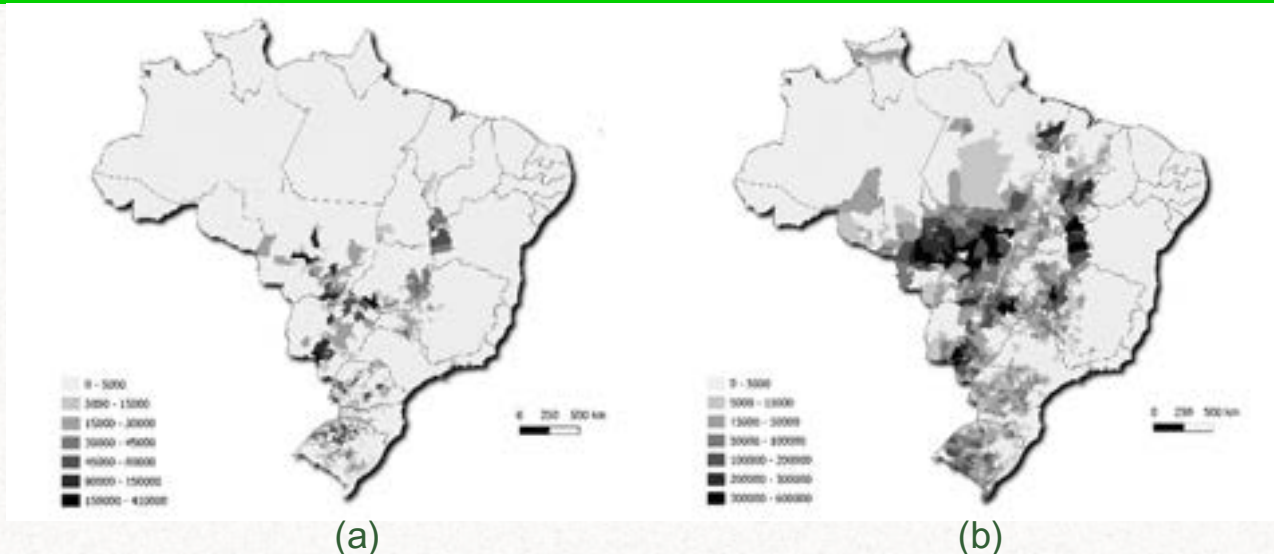


Fonte: Projeto MapBiomias (2023).

O caso da soja é emblemático. Com o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras, a cultura passou a ser plantada em todas as regiões (Abrahão; Costa, 2018). A Figura 6.4 ilustra o aumento da área de cultivo de soja no Brasil. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2025) indicam que a área plantada aumentou de 9,7 para 47,6

milhões de hectares entre as safras de 1990-91 e 2024-25. Embora a produção tenha aumentado aproximadamente 10 vezes no período, esse avanço foi impulsionado sobretudo pela expansão da área plantada (que quadruplicou), enquanto os ganhos de produtividade (que pouco mais que dobraram) desempenharam papel secundário.

Figura 6.4 - Expansão da área plantada de soja no Brasil entre 1988 (a) e 2024 (b)



Pressões semelhantes acontecem nos biomas Pampa, Pantanal, Caatinga e Mata Atlântica. No Pampa, a degradação decorre da substituição das pastagens nativas por lavouras comerciais, especialmente soja, e da adoção de pastoreio contínuo e seletivo, reduzindo a cobertura do solo e intensificando os processos erosivos. No Pantanal, as pressões são relativamente menores, devido a restrições ambientais e de infraestrutura que limitam a viabilidade da agricultura intensiva, favorecendo a conservação de recursos naturais, apesar da baixa produtividade dos sistemas pecuários extensivos predominantes (Dick et al., 2022; Dick et al., 2021). As pressões na Caatinga derivam da ocupação de áreas com baixa resiliência ecológica e pouca capacidade de regeneração natural. O aumento da área agrícola em ambientes já sujeitos a estresse hídrico e baixa fertilidade natural comprometem a diversidade biológica (Refati et al., 2023; Santos et al., 2023). Na Mata Atlântica há o uso intensivo de áreas já desmatadas, com manutenção de monoculturas em paisagens fragmentadas (Lucas; Caldarelli; Ventura, 2023).

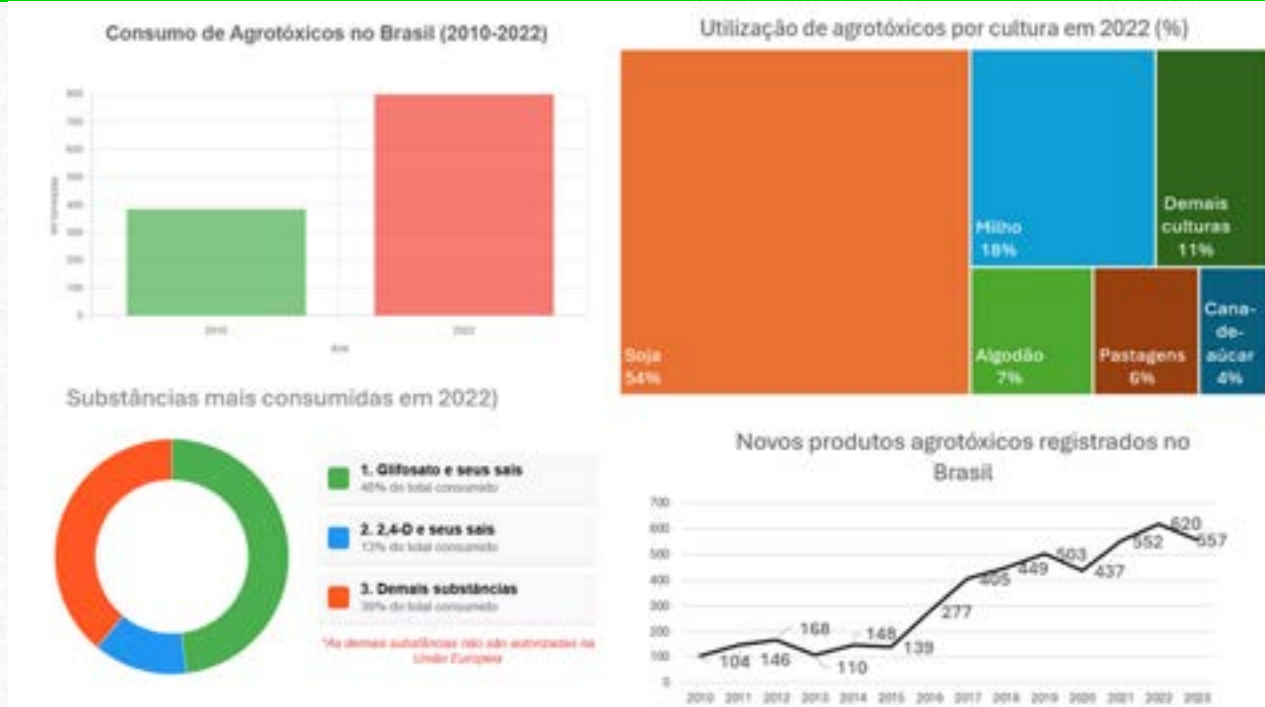
As pressões sobre os biomas dificultam o cumprimento do ODS 15 (vida terrestre), comprometendo a conservação da biodiversidade e a integridade dos ecossistemas. Portanto, o setor agropecuário desempenha papel central na tríplice crise ambiental: contribui significativamente para as emissões de GEE, perda de cobertura vegetal e biodiversidade e contaminação de solos, águas e alimentos.

Uso intensivo de insumos e os impactos ambientais da agricultura

A intensificação da conversão de

ecossistemas naturais para produção resulta em impactos ambientais, como perda de biodiversidade, fragmentação de habitats, contaminação de solos e águas pelo uso de insumos químicos e aumento das emissões de GEE (Sá; Gomes, 2025; Azevedo Júnior; Rodrigues; Silva, 2022; Câmara; Mendes, 2023). Esse processo é acompanhado por pressões sobre povos indígenas e comunidades tradicionais, concentração fundiária, desigualdades no acesso a políticas públicas e dificuldades de inclusão produtiva de pequenos agricultores (Costa et al., 2024). Os impactos negativos são especialmente intensos nos biomas Cerrado e Amazônia, que concentram grande parte da expansão agropecuária. Isso implica que “a intensificação da produção (...) não foi neutra, do ponto de vista social, e nem inócua, do ponto de vista ambiental” (Buainain et al., 2013, p. 112).

O modelo predominante na agricultura comercial exige o uso intensivo de herbicidas, inseticidas e fungicidas (Câmara; Mendes, 2023), como mostra a Figura 6.5. Como resultado, o Brasil é um dos maiores consumidores globais de agrotóxicos. O uso inadequado de agrotóxicos contamina solos, águas e unidades de conservação. Ademais, alimentos apresentam níveis desses resíduos que frequentemente excedem os limites das normas internacionais. Há implicações diretas para a saúde pública, com registros de intoxicações, que afetam de forma particularmente grave trabalhadores rurais, mulheres e crianças. A biodiversidade também é impactada, com declínio de polinizadores e outros organismos fundamentais para o equilíbrio dos ecossistemas (Fundação Heinrich Böll, 2024).

Figura 6.5 - Panorama do uso de agrotóxicos no Brasil


Fonte: elaborado pelos autores a partir da dados de Fundação Heinrich Böll (2024) e Hess et al. (2024).

As pressões identificadas neste estudo provocam alterações significativas nos recursos ambientais. A expansão agropecuária foi responsável por mais de 97% de toda a perda de vegetação nativa no Brasil nos últimos seis anos (MapBiomas, 2025). No Cerrado, devido à atuação do agronegócio, restam apenas 19,8% da vegetação nativa sem alterações (Mello et al., 2025). Aproximadamente 38% da floresta amazônica remanescente apresenta degradação causada por desmatamento, fragmentação de habitats, incêndios e secas extremas (Lapola et al. 2023). Estudos recentes confirmam que a degradação da Amazônia está reduzindo sua capacidade de armazenar carbono, sinalizando um “ponto de virada” crítico (Pires, 2023).

As práticas agrícolas intensivas promovem a degradação da qualidade do solo, da água e do ar (Ribeiro et al., 2025; Lucas et al., 2023; Safanelli et al., 2023).

O desmatamento, revolvimento constante do solo e irrigação mal gerida contribuem para a perda de matéria orgânica, compactação, erosão e salinização do solo, enquanto o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados contamina as águas e aumenta as emissões de óxido nitroso devido à lixiviação e volatilização (Yang et al., 2024).

Os dados desta seção reforçam que desmatamento e fragmentação de habitats impulsionam a perda de biodiversidade (impactando diretamente o ODS 15) e o uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes gera poluição difusa (afetando o ODS 6 e o ODS 12). Esses processos estão intrinsecamente ligados ao aumento das emissões de GEE e à aceleração das mudanças climáticas (comprometendo o ODS 13). Essa sinergia de crises indica abordagens integradas que reconhecem a interdependência entre a proteção dos ecossistemas (ODS 14 e 15) e a produção e o consumo de alimentos (ODS 2).

2.4. Mudanças climáticas, impactos na agricultura e estratégias de mitigação

As mudanças ambientais afetam ecossistemas, economia e sociedade de formas distintas. Entre eles, destaca-se a redução de serviços ecossistêmicos, como a polinização, a regulação hídrica e climática e o controle biológico (Rabeschini et al., 2025; Costa et al., 2024; Lapola et al., 2023), bem como a intensificação das emissões de GEE associadas ao desmatamento, degradação florestal e atividades agropecuárias (Costa et al., 2024; Ribeiro et al., 2025).

A mudança no uso da terra e a agropecuária responderam,

respectivamente, por 46% e 28% das emissões de GEE em 2023 – 74% do total nacional – segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (2024). A contribuição da pecuária bovina é relevante, dado seu vínculo com o desmatamento e com emissões de metano (Da Costa;

Debone; Miraglia, 2025; Baca et al., 2024). A pecuária foi responsável por 80% das emissões do setor agropecuário e aproximadamente 21% do total nacional em 2023 (SEEG, 2024). A Figura 6.6 mostra que o aumento das emissões brasileiras de CO₂eq acompanha o crescimento do rebanho bovino.

Figura 6.6 - Evolução do rebanho bovino e das emissões de CO₂eq no Brasil no período de 2000 a 2023



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados do SEEG (2024) e do IBGE (2024b).

Um dos fatores que explicam as emissões de GEE é o fato de a pecuária brasileira ser baseada, majoritariamente, em sistemas extensivos de pastagem. Quando mal manejadas, as pastagens perdem qualidade nutricional e os animais demoram mais para ganhar peso, produzem menos e emitem mais metano. A baixa eficiência produtiva, aliada à degradação de pastagens, amplia as emissões do setor e pressiona por abertura de novas áreas (Vasconcelos; Zapparoli, 2022; Ruggieri et al., 2020).

O aumento das emissões de GEE acelera as mudanças climáticas. Eventos climáticos extremos têm se tornado mais frequentes e intensos, com destaque para secas no Norte e Nordeste, ondas de calor no Semiárido e na Amazônia, tempestades no Sul e Sudeste, e ondas de frio severas na região Sul (Piedra-Bonilla et al., 2025). As mudanças no clima regional já afetam negativamente a produção e a produtividade agrícola, com tendência de intensificação nas próximas décadas

(Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2023; Leite-Filho et al., 2025; Leite-Filho; Soares-Filho; Oliveira, 2024).

Projeções para o período de 2081–2100 indicam quedas de produtividade da soja e do milho, de 5,6% e 13,1%, respectivamente (Li et al., 2025); há ampla variação regional, mas as áreas do Matopiba podem ser as mais afetadas (Zilli et al., 2020). Estima-se que a produtividade da soja pode cair até 20% em verões secos e acima de 10% em períodos com temperaturas mínimas elevadas e o milho safrinha pode registrar perdas de até 30% sob seca severa em abril e maio; os efeitos são mais intensos quando eventos climáticos extremos ocorrem simultaneamente (Benso et al., 2025). Os impactos são heterogêneos, sendo a agricultura familiar particularmente vulnerável nas regiões Norte e Nordeste (Tanure; Domingues; Magalhães, 2024).

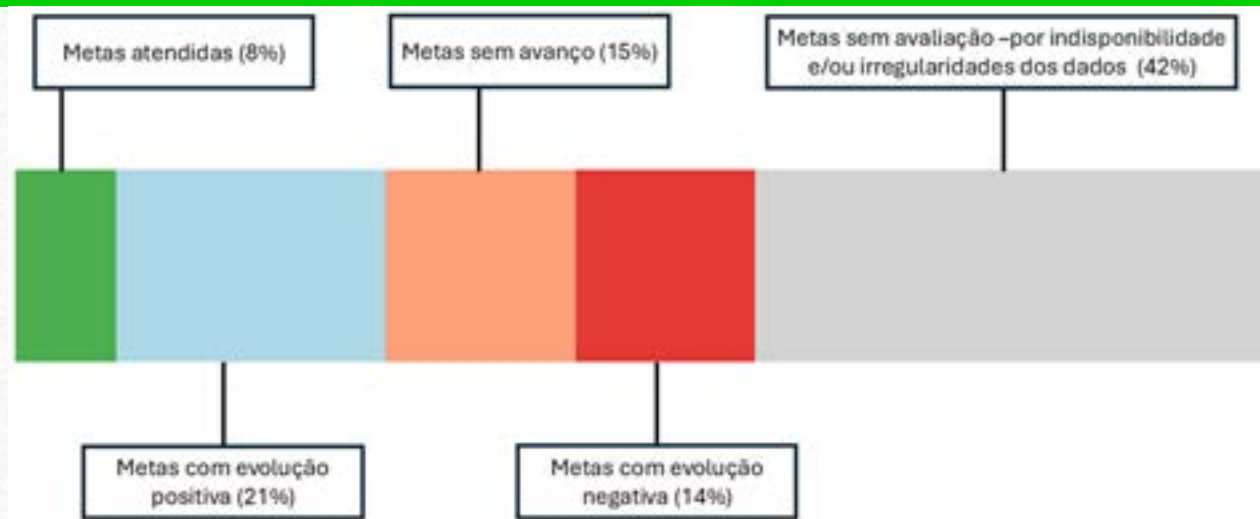
Quadro 6.2 - Agricultura em risco: efeitos climáticos, econômicos e sociais

Fonte: baseado em Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022); e Nazareth, Gurgel e Cunha (2022).

As mudanças climáticas agravam os impactos ambientais da agricultura, ampliando os riscos para a sustentabilidade setorial. Temperaturas maiores, alteração dos padrões de precipitação e eventos extremos intensificam outros problemas, como erosão, proliferação de pragas e redução da eficácia de insumos agroquímicos (Yang et al., 2024). Consequentemente, há aumento no uso de fertilizantes e agrotóxicos. A expansão das áreas cultivadas via desmatamento intensifica as emissões de GEE, criando um ciclo vicioso, comprometendo as metas climáticas nacionais.

Os desafios para o cumprimento das metas ambientais na agricultura brasileira

Nessa seção, o foco recai sobre o componente “Estado” do modelo DPSIR, para descrever a condição atual, em termos produtivos e ambientais, da agricultura brasileira. O protagonismo agropecuário brasileiro contrasta com desafios estruturais, ambientais e sociais que dificultam o cumprimento das metas de melhoria da qualidade ambiental no setor, especialmente no contexto dos ODS (Figura 6.7). Durante a Conferência do Clima de Glasgow (COP26), o Brasil assumiu metas ambiciosas, como eliminar o desmatamento ilegal até 2028, reduzir pela metade as emissões de GEE até 2030 (em relação aos níveis de 2005) e alcançar a neutralidade de carbono até 2050 (UNFCCC, 2022a, 2022b; Bieluczyk et al., 2024).

Figura 6.7 - Desempenho do Brasil no cumprimento das metas da Agenda 2030

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2024).

Expansão da fronteira agrícola sobre áreas sensíveis

Um dos entraves que dificultam o cumprimento das metas é a expansão da fronteira agrícola sobre áreas sensíveis, como a Amazônia e o Cerrado. Embora o desmatamento na Amazônia tenha diminuído 31% entre 2023 e 2024 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2024), o número ainda está longe de ser considerado sustentável. Estima-se que, para que o Brasil cumpra suas metas climáticas, é essencial eliminar completamente o desmatamento – tanto legal quanto ilegal – e restaurar aproximadamente 35 milhões de hectares de vegetação nativa. Essa abordagem, baseada em soluções naturais, é considerada a mais eficaz e econômica para o país atingir a neutralidade de emissões de GEE até 2050 (Soterroni et al., 2023; Bieluczyk et al., 2024). A expansão da produção agrícola é reconhecida como um dos vetores do desmatamento em regiões tropicais, respondendo por 45% a 65% dessa conversão de uso da terra (Pendrell et al., 2019; Levy et al., 2023). Desde 2001, essa dinâmica contribuiu para mais de 20% das emissões globais de GEE de origem antrópica (Levy et al., 2023) e ocasionou perdas de biodiversidade em diversos ecossistemas tropicais (Giam, 2017; Levy et al., 2023). O desmatamento é apontado como fator de risco para a ocorrência de colapsos ecológicos abruptos, como o declínio massivo da cobertura florestal na Amazônia (Lapola et al.,

2018; Levy et al., 2023). Esses eventos podem desencadear impactos severos sobre a produtividade agrícola e o desempenho econômico regional, comprometendo a segurança alimentar (Nepstad et al., 2008; Levy et al., 2023; Boakes et al., 2024). O avanço da agropecuária sobre ecossistemas nativos compromete diretamente o cumprimento do ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e do ODS 15 (Vida terrestre), dificultando a conservação da biodiversidade e a redução das emissões de GEE.

Baixa adesão a práticas que conciliam produtividade e conservação ambiental

Agricultura de precisão, plantio direto, fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas ainda não atingiram escala suficiente para gerar impactos positivos consistentes. Pesquisas revelam que, embora 84% dos agricultores brasileiros utilizem pelo menos uma tecnologia digital em seus sistemas de produção, a adoção de tecnologias de agricultura de precisão ainda é restrita. Fatores como altos custos de aquisição, falta de conectividade e necessidade de treinamento especializado são apontados como barreiras para a expansão dessas tecnologias (Bolfe et al., 2020).

Em muitas regiões predomina o modelo de monocultivo com baixa diversificação produtiva, reduzindo a resiliência agrícola às mudanças climáticas (De Groot et al., 2021;

Suarez; Gwozdz, 2023; Kaur et al., 2024). Destaca-se a alta dependência de insumos químicos como um dos principais obstáculos ao avanço socioambiental do setor (Santos et al., 2023; Yang et al., 2024). O uso excessivo e muitas vezes inadequado desses produtos compromete a qualidade do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade local, além de representar riscos diretos à saúde humana e agravar desigualdades sociais, sobretudo em áreas rurais vulneráveis (Yang et al., 2024; Yilmaz e Yilmaz, 2025).

Essa dependência está diretamente relacionada ao ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), em especial à meta 12.4, que prevê a gestão ambientalmente adequada de produtos químicos e resíduos. O modelo agrícola vigente contraria essa meta por não assegurar o uso seguro e sustentável dos insumos. Soma-se a isso o fato de que cerca de 85% dos fertilizantes utilizados no Brasil são importados, expondo a agricultura nacional a riscos geopolíticos e econômicos, como evidenciado durante a guerra entre Rússia e Ucrânia, que elevou os custos de produção e ameaçou a segurança alimentar (Brasil, 2022).

Desigualdade no acesso à terra, recursos e assistência técnica

Dados do Censo Agropecuário 2017 indicam que a concentração fundiária no meio rural brasileiro se mantém elevada, com o índice de Gini alcançando 0,867 – o maior valor registrado desde 1985. Esse patamar supera os observados nos censos anteriores: 0,854 em 2006, 0,856 em 1995-1996 e 0,857 em 1985, evidenciando a persistência da desigualdade na distribuição de terras ao longo do tempo (IBGE, 2019b).

Essa desigualdade dificulta o acesso de pequenos produtores a recursos para implementar práticas sustentáveis e tecnologias mais limpas. O acesso ao crédito rural e à assistência técnica é limitado, principalmente, para agricultores familiares (IBGE, 2019a). Apenas 20% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil recebem algum tipo de orientação técnica. Essa deficiência é mais pronunciada nas regiões Norte e Nordeste, onde menos de 10% dos estabelecimentos são atendidos (IBGE, 2019a). Ademais, parte da assistência

disponível é fornecida por empresas de agroquímicos, limitando a difusão de alternativas sustentáveis e reforçando o modelo baseado no uso intensivo de insumos químicos. A ausência de apoio técnico e financeiro reduz as possibilidades de adoção de sistemas agroecológicos ou agricultura regenerativa, que requerem conhecimentos específicos e suporte contínuo (Côte et al., 2022).

Esses entraves comprometem o cumprimento dos ODS e os compromissos assumidos pelo Brasil na COP 26. Superá-los requer políticas públicas integradas, fortalecimento da governança ambiental, apoio ampliado a pequenos produtores e investimentos em tecnologias sustentáveis. Apenas com ação coordenada entre governo, setor produtivo e sociedade civil será possível alinhar a agricultura à conservação ambiental, à justiça social e ao cumprimento da Agenda 2030.

4. Justiça Ambiental

A sustentabilidade constitui fundamento conceitual e prático da agricultura, uma vez que esta representa uma das formas permanentes de interação entre os seres humanos e a natureza (Congreves, 2025). Assim, a qualidade ambiental – expressa na preservação do solo fértil, da água limpa, do ar puro, da biodiversidade e do equilíbrio climático – constitui-se pilar fundamental para garantir a continuidade da produção agrícola, segurança alimentar e bem-estar das populações rurais e urbanas (FAO, 2021).

Entretanto, o crescimento contínuo e as demandas insustentáveis da população têm ultrapassado a capacidade de regeneração dos recursos naturais (Gamage et al., 2023). Segundo projeções das Nações Unidas, a população mundial pode alcançar 10,4 bilhões até a década de 2080 (UN, 2022), agravando a pressão sobre os ecossistemas. Sem intervenções apropriadas, torna-se cada vez mais difícil manter a qualidade ambiental, pois os danos aos ecossistemas estão se intensificando e se tornando mais difíceis de reverter (Gamage et al., 2023; Congreves, 2025).

No Brasil, marcado por profunda concentração de terras, poder econômico e político das elites agrárias e desigualdade de acesso aos recursos naturais e instrumentos de proteção ambiental, a presença/ausência de qualidade ambiental afeta diferentemente agricultores familiares, comunidades indígenas e tradicionais e grandes produtores (IBGE, 2019b; Maluf et al., 2022; Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, 2022). Os benefícios e prejuízos associados à qualidade ambiental na agricultura não são distribuídos de forma equitativa entre os diferentes grupos sociais (Epps et al., 2025).

Essa desigualdade é o objeto de estudo da justiça ambiental, abordagem que busca compreender e corrigir as assimetrias no acesso aos bens naturais e na exposição aos riscos socioambientais (Embrapa, 2018;

PNUD, 2022). A compreensão do conceito de justiça ambiental vem se transformando ao longo do tempo (Schlosberg; Collins, 2014), especialmente quando se considera sua intersecção com a agricultura. Originalmente concebido como reação às injustiças raciais e sociais na distribuição de riscos ambientais, o conceito passou progressivamente a incorporar elementos ligados à produção de alimentos, ao acesso à terra e à água, à valorização dos saberes tradicionais e à adaptação às mudanças climáticas (Figura 8). Essa evolução tem sido marcada pelo reconhecimento das desigualdades no uso dos recursos naturais, valorização de sistemas de produção sustentáveis e luta por direitos territoriais e alimentares, sobretudo de pequenos agricultores, povos indígenas e comunidades tradicionais (Schlosberg; Collins, 2014; Knoble; Yu, 2023).

Quadro 6.3 - Evolução do conceito de justiça ambiental com ênfase na agricultura

Figura Q6.3 - Síntese da evolução do conceito de justiça ambiental com ênfase na agricultura



Fonte: Elaborado pelos autores.

Anos 1980: o conceito de justiça ambiental surgiu nos Estados Unidos como resposta à distribuição injusta da poluição e à instalação de indústrias poluentes em áreas habitadas por populações negras e pobres. Essa abordagem tinha como foco a justiça distributiva e a exposição desigual a riscos ambientais (Bullard, 1990; Knoble; Yu, 2023).

Anos 1990: com o avanço da agricultura intensiva e uso crescente de agrotóxicos, os impactos da poluição agrícola passaram a ser incorporados às discussões sobre justiça ambiental. Trabalhadores rurais e comunidades próximas às lavouras passaram a figurar como grupos vulneráveis à contaminação e aos efeitos da degradação ambiental (Shekhar et al., 2024).

Anos 2000: o conceito se amplia para incluir os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura. Ganha força o debate sobre a vulnerabilidade de pequenos produtores e a responsabilidade das corporações do agronegócio na emissão de GEE e na apropriação de terras e recursos (Schlosberg; Collins, 2014; Dos Santos et al., 2024; Maluf et al., 2022).

Atualmente: é incorporada a ideia de justiça climática, defendendo políticas de adaptação, soberania alimentar, direitos territoriais e valorização dos modos de vida tradicionais. Privilegia-se a construção de sistemas alimentares sustentáveis e inclusivos, de base agroecológica, com equidade de gênero e participação social (PNUD, 2022; Berg et al., 2025; Araujo Fonseca; Bustamante, 2025).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Enquanto algumas populações conseguem usufruir dos benefícios de uma agricultura ambientalmente equilibrada (alimentos saudáveis, solos produtivos e estabilidade hídrica), outras enfrentam efeitos da degradação ambiental com pouca capacidade de reação, como a exposição a pesticidas, conflitos territoriais, insegurança alimentar, baixa qualidade do ar e intensificação de eventos climáticos extremos (PNUD, 2022; Dos Santos et al., 2024; Yu et al., 2024; Leite et al., 2025). A justiça ambiental, portanto, exige reconhecimento à diversidade de impactos e à necessidade de políticas para equidade no acesso à qualidade ambiental no campo (PNUD, 2022).

A degradação ambiental, causada por desmatamento, uso irracional de pesticidas, erosão, contaminação hídrica e mudanças climáticas, tem impactos mais intensos sobre grupos com menor poder econômico, político e institucional (Arcuray et al., 2021; Donley et al., 2022; PNUD, 2022). Povos indígenas e comunidades tradicionais têm sua existência comprometida, pois a poluição de rios, desmatamento e degradação do solo afetam seus modos de vida, ameaçam seus conhecimentos e ampliam a insegurança alimentar (Fernández-Llamazares et al., 2023; Scheidel et al., 2023).

Ademais, muitas dessas comunidades enfrentam restrições no acesso a políticas ambientais, como regularização fundiária, assistência técnica e incentivos à agroecologia, agravando sua vulnerabilidade (Goris et al., 2024; Berg et al., 2025). A concentração fundiária intensifica esse quadro: o coeficiente de Gini da propriedade no Brasil chegou a 0,73, colocando o país entre os mais desiguais do mundo. Cerca de 25% da área agrícola está em apenas 15.686 imóveis, equivalentes a 0,3% das propriedades registradas (Pinto et al., 2020). Essa desigualdade no acesso e legalização da terra contribui para a pobreza rural e limita práticas agrícolas sustentáveis.

Povos indígenas e comunidades tradicionais exercem papel essencial na conservação ambiental e na preservação da biodiversidade, graças a seus modos de vida sustentáveis e aos conhecimentos

ancestrais sobre o manejo racional dos recursos naturais (IPCC, 2022; Reyes-García et al., 2022; Sinthumule, 2023; Araujo Fonseca; Bustamante, 2025). Estudos mostram que territórios sob sua gestão apresentam menor desmatamento e maior integridade ambiental, reflexo de práticas como agroflorestas, extrativismo sustentável e agroecologia (Fa et al., 2020; O'Bryan et al., 2020; Reyes-García et al., 2022).

Agricultores familiares, quilombolas, ribeirinhos, indígenas e outros povos tradicionais, comumente utilizam práticas agrícolas de base ecológica, com pouca ou nenhuma dependência de insumos químicos, contribuindo para a conservação da biodiversidade brasileira (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2025; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA, 2024). Para essas populações, a boa qualidade do solo, da água e da biodiversidade não é apenas benefício ambiental, mas condição de sobrevivência e de reprodução sociocultural (Oviedo; Doblas, 2022; Santos et al., 2022).

Em territórios onde o ambiente está conservado, esses grupos conseguem manter sistemas agrícolas sustentáveis, que geram alimentos, renda e proteção dos ecossistemas (Oviedo; Doblas, 2022; MMA, 2024). Exemplos incluem experiências agroecológicas no semiárido nordestino apoiadas por redes como a Articulação Semiárido Brasileiro – ASA Brasil, ou práticas agroflorestais desenvolvidas por indígenas no Acre, que aliam conservação ambiental e soberania alimentar (Bianchini; Bianchini, 2007; ASA Brasil, 2015).

Reconhecer e fortalecer a atuação dos povos tradicionais é fundamental para a justiça ambiental, pois envolve garantir direitos territoriais, valorizar a diversidade cultural e apoiar sistemas produtivos sustentáveis (Adams; Sarvestani, 2024; Osborne et al., 2024). Incorporar seus saberes e demandas nas políticas públicas, além de imperativo ético, constitui-se solução para promover desenvolvimento rural inclusivo e conservação dos biomas brasileiros (Araujo Fonseca; Bustamante, 2025).

Reconhecê-los como atores centrais na adaptação e mitigação das mudanças climáticas é essencial. Guardiões de práticas

sustentáveis e detentores de profundo conhecimento sobre seus territórios, desempenham papel fundamental no fortalecimento da resiliência dos ecossistemas dos quais fazem parte. Enfrentam os desafios climáticos de forma inovadora, combinando saberes tradicionais com tecnologias modernas, criando soluções adaptativas que beneficiam tanto suas comunidades quanto a sociedade como um todo. Esse papel dos povos tradicionais deve ser incorporado às discussões globais como exemplo de liderança diante das mudanças ambientais (Salick; Ross, 2018). Felizmente, observa-se reconhecimento crescente do valor do conhecimento local de comunidades tradicionais para a pesquisa climática (Cuni-Sanchez et al., 2025).

Enfrentar os desafios da justiça ambiental e climática exige ações baseadas na equidade e no respeito aos direitos humanos, sobretudo nas estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, conservação dos ecossistemas e combate à poluição. É essencial garantir direitos territoriais dos povos tradicionais na expansão de áreas protegidas, assegurar participação social e acesso à informação nas decisões ambientais, criar mecanismos de responsabilização por violações ligadas à degradação ambiental e considerar os direitos das futuras gerações (PNUD, 2022).

A transição para uma economia sustentável e de baixo carbono deve ser justa, com distribuição equilibrada de esforços e benefícios, apoiada por marcos legais sólidos e governança democrática. Na agricultura brasileira, isso implica reconhecer desigualdades no acesso à terra e recursos, promover políticas que assegurem qualidade ambiental como direito coletivo, garantir direitos territoriais e ambientais de povos indígenas e comunidades tradicionais, apoiar práticas sustentáveis e ampliar a assistência técnica voltada à conservação.

5. Políticas agrícolas e ambientais no Brasil

O desenvolvimento da agricultura brasileira é marcado por uma dualidade: de um lado, sua notável capacidade produtiva, que posicionou o país como um dos maiores produtores e exportadores globais de commodities; de outro, os impactos ambientais decorrentes desse modelo, com destaque para o desmatamento, dependência de insumos químicos e emissões de GEE. Com base no componente “Respostas” da metodologia DPSIR, nessa seção são analisadas as principais políticas públicas e iniciativas voltadas à mitigação dos impactos e à promoção da sustentabilidade no setor. Mostramos que há uma trajetória de políticas que oscilam entre a promoção da “modernização agrícola” e tentativas de incorporar critérios de sustentabilidade. No entanto, sua efetividade é frequentemente comprometida pelo arcabouço institucional fragmentado, conflitos de interesse e falta de coordenação entre os órgãos governamentais.

Desde a segunda metade do século XX, o país desenvolveu um conjunto de instituições voltado à promoção da agricultura, cuja origem remonta ao chamado “tripé da modernização”: crédito rural, pesquisa agrícola e extensão rural (Castro, 1984). A partir dos anos 1960, consolida-se a intervenção estatal planejada, com a criação de sistemas estruturantes, como o Sistema Nacional de Planejamento Agropecuário, o Sistema Nacional de Crédito Rural, o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, liderado pela Embrapa e o Sistema Nacional de Extensão Rural, com a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (Embrater) (Santana et al., 2014; Buainain et al., 2014; Almeida; Zylbersztajn, 2008). Esses instrumentos foram fundamentais para impulsionar a modernização tecnológica e o crescimento setorial, mas priorizaram a expansão da fronteira agrícola sem preocupação com os limites ecológicos.

De acordo com Santana et al. (2014), o crescimento da agropecuária nos anos 1970 não se manteve na década seguinte, resultando em crises de abastecimento, alta nos preços agrícolas (que pressionaram a inflação) e aumento das importações

agropecuárias. Essa conjuntura desfavorável só foi definitivamente superada a partir do final da década de 1990. Buainain et al. (2013) explicam que o Brasil entrou outra fase do desenvolvimento agrícola, marcada por padrão produtivo intensivo em capital e inovação tecnológica. Esses autores também argumentam que essa fase rompeu com o modelo desenvolvimentista estatizante e inaugurou um modelo de orientação liberal, com forte presença do setor privado nas decisões e investimentos. A abertura comercial e a desregulamentação contribuíram nesse processo, ampliando o acesso aos mercados externos.

A partir da década de 1990, a questão ambiental passou a ser incorporada ao debate sobre o meio rural, sendo especialmente associada à agricultura familiar, vista como mais alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável (Candiotto; Corrêa, 2004). Alguns marcos institucionais dessa época devem ser destacados: país desenvolveu um conjunto de instituições voltado à promoção da agricultura, cuja origem remonta ao chamado “tripé da modernização”: crédito rural, pesquisa agrícola e extensão rural (Castro, 1984). A partir dos anos 1960, consolida-se a intervenção estatal planejada, com a criação de sistemas estruturantes, como o Sistema Nacional de Planejamento Agropecuário, o Sistema Nacional de Crédito Rural, o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, liderado pela Embrapa e o Sistema Nacional de Extensão Rural, com a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (Embrater) (Santana et al., 2014; Buainain et al., 2014; Almeida; Zylbersztajn, 2008). Esses instrumentos foram fundamentais para impulsionar a modernização tecnológica e o crescimento setorial, mas priorizaram a expansão da fronteira agrícola sem preocupação com os limites ecológicos.

De acordo com Santana et al. (2014), o crescimento da agropecuária nos anos 1970 não se manteve na década seguinte, resultando em crises de abastecimento, alta nos preços agrícolas (que pressionaram a inflação) e aumento das importações agropecuárias. Essa conjuntura desfavorável só foi definitivamente superada a partir do final da década de

1990. Buainain et al. (2013) explicam que o Brasil entrou outra fase do desenvolvimento agrícola, marcada por padrão produtivo intensivo em capital e inovação tecnológica. Esses autores também argumentam que essa fase rompeu com o modelo desenvolvimentista estatizante e inaugurou um modelo de orientação liberal, com forte presença do setor privado nas decisões e investimentos. A abertura comercial e a desregulamentação contribuíram nesse processo, ampliando o acesso aos mercados externos.

A partir da década de 1990, a questão ambiental passou a ser incorporada ao debate sobre o meio rural, sendo especialmente associada à agricultura familiar, vista como mais alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável (Candiotto; Corrêa, 2004). Alguns marcos institucionais dessa época devem ser destacados:

Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF (1996); criação do Ministério do Desenvolvimento Agrário (2000); Conselho Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável – CNDRS (2000); e Plano Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável – PNDRS (2002). Destaca-se ainda a Agenda 21 brasileira, que continha, entre seus objetivos, o “Desenvolvimento sustentável do Brasil rural” e a “Promoção da agricultura sustentável”¹ (Candiotto; Corrêa, 2004).

Na década seguinte, a questão ambiental passou a ocupar mais espaço no debate agrícola, conforme destacado na Figura 9. Ao longo da primeira década do século XXI, o Plano Agrícola e Pecuário (PAP), que agrega as principais ações e políticas públicas voltadas ao setor, incluindo o Plano Safra e o Plano Safra da Agricultura Familiar, passou a incorporar de forma crescente o discurso da conservação ambiental como diretriz, incluindo elementos como produção orgânica, agroecologia e agricultura de baixo carbono (Grisa; Chechi, 2016). Desde 2023, por exemplo, o Plano Safra passou a oferecer reduções nas taxas de juros de financiamento para custeio aos produtores que adotam práticas como recuperação de pastagens degradadas, produção orgânica ou agroecológica, utilização de bioinsumos, tratamento de dejetos, rebanho bovino rastreado e certificação de sustentabilidade. Os

produtores com direito a descontos são aqueles cujo Cadastro Ambiental Rural (CAR) foi validado pelos órgãos ambientais e classificados em uma das seguintes situações: (i) sem passivos ambientais (não teve áreas desmatadas ilegalmente, por exemplo); (ii) com excedente de vegetação nativa em Reserva Legal acima do exigido por lei; e (iii) com passivo ambiental, mas que já iniciou o processo de regularização, apresentando um Plano de Regularização Ambiental (PRA) ou compromisso de recuperação (Araújo, 2023).

É preciso enfatizar que, pelo menos duas das legislações mencionadas acima têm sido alvo de críticas por favorecerem retrocessos na agenda ambiental brasileira:

- O novo Código Florestal reduziu obrigações legais de conservação em propriedades privadas. Apesar da ampla adesão ao CAR, poucos proprietários tomaram medidas para recuperar áreas ilegalmente desmatadas, e o cumprimento integral da legislação oferece baixos incentivos econômicos. Além disso, por ter anistiado desmatamentos anteriores, gerou estímulo para mais desmatamentos na expectativa de futuras anistias (Rajão et al., 2022; Azevedo et al., 2017; Soares Filho et al., 2014).
- A nova “Lei dos Agrotóxicos” reduziu o controle sanitário e ambiental ao concentrar as decisões sobre registro e liberação de agrotóxicos no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). A norma flexibilizou critérios toxicológicos, permitiu o registro de substâncias com efeitos comprovadamente

nocivos à saúde humana e autorizou a produção para exportação de agrotóxicos proibidos no país. Esses dispositivos podem ampliar a exposição da população e do ambiente a riscos associados ao uso de agrotóxicos (Hess et al., 2024).

Apesar do enfraquecimento recente das políticas ambientais, o Brasil busca promover a transição sustentável da agricultura (Rajão et al., 2022). A “modernização ecológica” tem como pontos fortes a capacidade de promover inovações tecnológicas e institucionais voltadas à substituição de combustíveis fósseis, o aproveitamento da biodiversidade como ativo econômico e a inserção de discursos ambientais nas políticas públicas, mesmo que de forma seletiva (Bastos Lima, 2021). Reis et al. (2023) associam a intensificação sustentável à integração de atividades produtivas, governança efetiva, políticas adequadas e avaliação sistêmica dos sistemas agrícolas.

A Moratória da Soja, por exemplo, representa a tentativa de reduzir o desmatamento causado pela expansão agropecuária. Trata-se de um acordo voluntário, firmado em 2006, em que grandes corporações se comprometeram a não adquirir soja produzida em áreas da Amazônia desmatadas após julho de 2006 (Gibbs et al., 2015). Estima-se que a moratória evitou de 2.304 a 18.000 km² de desmatamento na Amazônia entre 2006 e 2016. Esse resultado também se deve ao fortalecimento das políticas públicas ambientais, como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm), que reforçou a fiscalização e puniu infratores, criando ambiente institucional mais rígido (Brandão; Cardoso; Garrett, 2025).

¹ A Agenda 21 foi um plano global de desenvolvimento sustentável apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92). Estabelecia diretrizes para equilibrar progresso socioeconômico e preservação ambiental, com mecanismos de monitoramento e revisão periódica. Mais detalhes podem ser obtidos em: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/Agenda21.pdf>.

Figura 6.8 - Marcos Regulatórios em meio ambiente, clima e agricultura sustentável no Brasil



Fonte: elaborado pelos autores com base em Brasil, 2000; Pizella; De Souza, 2012; Brasil, 2005; Brasil 2009; Brasil, 2009; Brasil, 2023a, b; Brasil, 2012; Brasil, 2015; Brasil, 2017; Brasil, 2021; Brasil, 2023c; Brasil, 2024^a; Brasil, 2024b; Brasil, 2024c; Brasil, 2024d.

Nunes et al. (2024, p. 1) estudaram políticas, práticas e mudanças institucionais na aplicação de leis ambientais na porção brasileira do bioma amazônico e afirmaram que “o Brasil tem leis ambientais sólidas no papel, mas sua aplicação é frequentemente insuficiente”. Segundo os autores, a aplicação das leis é essencial, mas só funciona com continuidade, coerência e respaldo político. É preciso coordenação governamental centralizada, apoio político, recursos técnicos e punições efetivas. A fiscalização é fundamental e pode ter sua precisão e eficácia melhoradas com investimentos em monitoramento por satélite e georreferenciamento. Uma de suas principais conclusões é que o Brasil precisa de vontade política, governança estável e compromisso duradouro com a conservação ambiental.

Em conjunto, as legislações e políticas públicas brasileiras têm potencial para que a

agropecuária avance em qualidade ambiental enquanto amplia sua competitividade internacional. Porém, sua efetividade enfrenta desafios importantes, como a desigualdade na capacidade de adoção entre pequenos e grandes produtores, as dificuldades de acesso ao crédito rural, a carência de capacitação técnica para o uso de tecnologias sustentáveis e a limitada oferta de assistência técnica e extensão rural contínuas e qualificadas. A complexidade é ampliada pela natureza multinível da governança agrícola e ambiental no Brasil, na qual estados e municípios desempenham papéis relevantes tanto na formulação de políticas próprias quanto na implementação e adaptação das diretrizes nacionais às realidades locais. Essa proximidade com os territórios pode gerar avanços, mas também impõe desafios adicionais de coordenação e coerência entre as diferentes esferas de governo.

Considerações finais: oportunidades para a transformação sustentável da agricultura brasileira

Este capítulo demonstrou que o Brasil enfrenta dilemas profundos entre a expansão produtiva e a conservação ambiental. Portanto, é essencial implementar oportunidades que promovam a transformação estrutural no setor por meio de práticas sustentáveis, integradas e resilientes. Destacamos:

- Sistemas agrícolas de baixo carbono representam oportunidade-chave, considerando que aproximadamente 60% das pastagens apresentam algum grau de degradação (Bolfé et al., 2024). A recuperação de pastagens contribui para mitigar emissões de GEE, conservar o solo e intensificar a produção (Bieluczyk et al., 2024; Bolfé et al., 2024; Gianetti; Filho, 2024). Aproximadamente 28 milhões de hectares de pastagens que estão em estado intermediário ou avançado de degradação possuem elevado potencial para conversão em áreas agrícolas. A recuperação e utilização dessas terras poderia expandir em

35% a área destinada ao cultivo de grãos no país (Bolfé et al. 2024) e aumentar 0,56% no PIB e 0,73% no consumo real das famílias; ademais, para cada real investido na recuperação de pastagens, estima-se retorno social de R\$ 8,27 (Gianetti; Filho, 2024).

- Em culturas nas quais o país possui alta produtividade, como soja e milho, a adoção de rotação de culturas, práticas de diversificação agrícola e manejo orgânico de solos – práticas de intensificação ecológica – podem aumentar a eficiência no uso de nutrientes, reduzindo a necessidade de insumos sintéticos, além de contribuir com o controle biológico de pragas e ciclagem de nutrientes, aumentando a resiliência dos sistemas produtivos (van Ittersum et al., 2025).
- Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) permitem conciliar produção agrícola e conservação, ao remunerar práticas que preservam a biodiversidade e aumentam o sequestro de carbono

(Mamedes et al., 2023; Mota et al., 2023). São considerados eficazes por oferecer incentivos e reconhecimento a quem contribui com a proteção ambiental (Farley et al., 2010; Muradian et al., 2010; Mota et al., 2023). Apesar das críticas à mercantilização da natureza e à fraca integração socioecológica, há evidências de que os PSA contribuem para a conservação e a governança sustentável (Adhikari; Baral, 2018; Mamedes et al., 2023).

- A agroecologia – abordagem sistêmica que integra saberes tradicionais e ciência ecológica – constitui-se oportunidade promissora, já que o país conta com diversidade de agricultores familiares e povos tradicionais (IBGE, 2019). A experiência latino-americana mostra seu potencial transformador ao promover práticas agrícolas diversas, resilientes e menos dependentes de insumos químicos e gerar benefícios socioeconômicos, como aumento de renda, produtividade e eficiência na gestão rural (Levidow; Sansolo; Schiavinatto, 2022; Mouratiadou et al., 2024). Durante a pandemia de COVID-19, a agroecologia camponesa mostrou maior resiliência frente às dificuldades dos modelos intensivos (Van der Ploeg, 2020; Levidow; Sansolo; Schiavinatto, 2022).
- A adoção de energia verde e bioinsumos é apoiada por vantagens estruturais e ecológicas. A matriz energética nacional é composta por 49,1% de fontes renováveis, como hidrelétricas, biomassa, solar e eólica (Balanço Energético Nacional – BEN, 2024). Essa base limpa favorece a descarbonização na irrigação, beneficiamento e armazenagem. Ademais, os resíduos agropecuários oferecem alto potencial para geração de biogás e biomassa, promovendo ganhos ambientais e econômicos (Portugal-Pereira et al., 2015; Mendes et al., 2023).
- A biodiversidade brasileira oferece base científica para o desenvolvimento de bioinsumos adaptados às diferentes regiões agroecológicas (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2022). Biofertilizantes e biopesticidas permitem reduzir o uso de insumos químicos, diminuir a contaminação de solos e águas, melhorar a saúde do solo e aumentar a resiliência

agroecológica (Ferreyra-Suarez; García-Depraet; Castro-Muñoz, 2024). No Brasil, o mercado de bioinsumos cresceu cerca de 23% entre 2022 e 2023, consolidando-se como vetor de inovação agrícola (Embrapa, 2023).

As oportunidades para a agricultura brasileira envolvem a união de inovações tecnológicas e saberes tradicionais. Para liderar essa transição é fundamental implementar ações concretas: fortalecer a governança multinível, ampliar a assistência técnica – especialmente para a agricultura familiar e povos tradicionais –, revisar incentivos fiscais, expandir programas de crédito “verde”, garantir direitos territoriais e basear as políticas em evidências científicas. Dada a importância histórica do crédito rural para o desenvolvimento da agropecuária nacional (Lopes; Lowery; Peroba, 2016; Leite; Wesz Junior, 2015), é necessário um reposicionamento estratégico do Estado brasileiro, priorizando cadeias de valor sustentáveis, a agricultura familiar e produtos da sociobiodiversidade, restringindo o crédito a atividades que avancem sobre territórios protegidos. Essas iniciativas, que dialogam com diversos ODS (em especial 12, 13 e 15), podem contribuir para articular sustentabilidade ambiental, justiça social e desenvolvimento econômico, especialmente em territórios historicamente pela pressão sobre os recursos naturais.

Referências

- Abrahão, G. M., & Costa, M. H. (2018). Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, 256–257, 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.031>
- Adams, M. M., & Sarvestani, D. B. (2024). Indigenous Peoples' Rights Discourse: Toward Hemispheric Indigenous Climate and Environmental Justice. **Environmental Justice**. <https://doi.org/10.1089/env.2023.0076>
- Adhikari, S., & Baral, H. (2018). Governing forest ecosystem services for sustainable environmental governance: A review. **Environments**, 5(5), 53. <https://doi.org/10.3390/environments5050053>
- Almeida, L. F. de, & Zylbersztajn, D. (2008). Crédito agrícola no Brasil: uma perspectiva institucional sobre a evolução dos contratos. *Internext – Revista Eletrônica de Negócios Internacionais*, 3(2), 267–287.
- Araújo, W. V. (2023). Plano Safra: Uma política de desenvolvimento agropecuário sustentável. **Revista de Política Agrícola**, 32(3), 3–5.
- Araujo Fonseca, F. N., & Bustamante, M. M. C. (2025). The importance of indigenous territories for the provision of ecosystem services: A case study in the Brazilian Cerrado-Amazon Transition. **Ecosystem Services**, 72, 101706. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101706>
- Arcury, T. A., Chen, H., Quandt, S. A., Talton, J. W., Anderson, K. A., Scott, R. P., Jensen, A., & Laurienti, P. J. (2021). Pesticide exposure among Latinx children: Comparison of children in rural, farmworker and urban, non-farmworker communities. **Science of the total environment**, 763, 144233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144233>
- Articulação Semiárido Brasileiro - ASA Brasil. (2015). **Agroecologia**. <https://asabrasil.org.br/2015/03/21/agroecologia/>
- Azevedo, A. A., Rajão, R., Costa, M. A., Stabile, M. C. C., Macedo, M. N., dos Reis, T. N. P., Alencar, A., Soares-Filho, B. S., & Pacheco, R. (2017). Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 114(29), 7653–7658. <https://doi.org/10.1073/pnas.1604768114>
- Azevedo Junior, W. C., Rodrigues, M., & Silva, D. C. C. (2022). Does agricultural efficiency contribute to slowdown of deforestation in the Brazilian Legal Amazon? **Journal for Nature Conservation**, 65, 126092. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126092>
- Baca, M. F. D., Moreno Lerma, L., Triana Ángel, N., & Burkart, S. (2024). The relationships between land tenure, cattle production, and climate change: A systematic literature review. **Land Use Policy**, 141, 107169. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107169>
- Balanço Energético Nacional – BEN. (2024). **Relatório síntese do Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023**. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>
- Bastos Lima, M. G. (2021). Corporate Power in the Bioeconomy Transition: The Policies and Politics of Conservative Ecological Modernization in Brazil. **Sustainability**, 13(12), 6952. <https://doi.org/10.3390/su13126952>
- Benso, M. R., Silva, R. F., Gesualdo, G. C., Saraiva, A. M., Delbem, A. C. B., Marques, P. A. A., Marengo, J. A., & Mendiando, E. M. (2025). A data-driven framework for assessing climatic impact drivers in the context of food security. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 25, 1387–1404. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-1387-2025>

Benso, M. R., Silva, R. F., Gesualdo, G. C., Saraiva, A. M., Delbem, A. C. B., Marques, P. A. A., Marengo, J. A., & Menciondo, E. M. (2025). A data-driven framework for assessing climatic impact drivers in the context of food security. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 25, 1387–1404. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-1387-2025>

Berg, T., Nieto, E. A., Moura, S., Souza, M., Lucio, Z. M., & Meisner, J. (2025). Socio-ecological conflict in Quilombola territory: land titling and ecosystem health. **Sustainability Science**, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11625-025-01632-8>

Bianchini, F., & Bianchini, P. C. (2007). Os agentes agrofloreais indígenas do Acre. **Agriculturas: experiências em agroecologia**, 4(2), 18–19. https://aspta.org.br/files/2019/10/Agriculturas_Julho-2007-Artigo-4.pdf

Bieluczyk, W., Cherubin, M. R., Cerri, C. E. P., Siqueira-Neto, M., Abdalla Filho, A. L., Castro, J. I. A., Locatelli, J. L., Tsai, S. M., & de Camargo, P. B. (2024). Greenhouse gas fluxes in Brazilian climate-smart agricultural and livestock systems: a systematic and critical overview. **Journal of Cleaner Production**, 142782. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142782>

Boakes, E. H., Dalin, C., Etard, A., & Newbold, T. (2024). Impacts of the global food system on terrestrial biodiversity from land use and climate change. **Nature Communications**, 15(1), 5750. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49999-z>

Bolfe, É. L., Victoria, D. D. C., Sano, E. E., Bayma, G., Massruhá, S. M. F. S., & de Oliveira, A. F. (2024). Potential for agricultural expansion in degraded pasture lands in Brazil based on geospatial databases. **Land**, 13(2), 200. <https://doi.org/10.3390/land13020200>

Bolfe, É. L., Jorge, L. A. D. C., Sanches, I. D. A., Luchiari Júnior, A., da Costa, C. C., Victoria, D. D. C., Inamasu, R. Y., Grego, C., Ferreira, V. R., & Ramirez, A. R. (2020). Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**, 10(12), 653. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>

Brandão, J., Cardoso, F. C., & Garrett, R. (2025). Why has the Brazilian Cerrado been left behind by voluntary environmental policies? **Global Environmental Change**, 92, 103005. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2025.103005>

Brasil. (2000). **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm

Brasil. (2005). **Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, dispõe sobre a segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGMs e seus derivados, e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm

Brasil. (2009). **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Atualizada pela Lei nº 14.539, de 2023. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm

Brasil. (2012). **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

Brasil. (2015). **Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015**. Dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13123.htm

Brasil. (2017). **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm

Brasil. (2021). **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais – PNPSA. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm

Brasil. (2022). **Brazilian government launches National Fertilizer Plan to reduce input imports**. Governo do Brasil. <https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/brazilian-government-launches-national-fertilizer-plan>

Brasil (2023a). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) – 5ª Fase (2023 a 2027)**. https://www.gov.br/mma/pt-br/ppcdam_2023_sumario-rev.pdf

Brasil (2023b). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado (PPCerrado) – 4ª Fase (2023 a 2027)**. <https://www.gov.br/participamaisbrasil/consultapublica-ppcerrado>

Brasil. (2023c). **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023**. Dispõe sobre a regulamentação de agrotóxicos e afins, substituindo a Lei nº 7.802, de 1989. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14785.htm

Brasil. (2024a). **Decreto nº 12.044, de 5 de junho de 2024**. Institui a Estratégia Nacional de Bioeconomia. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2024/decreto-12044-5-junho-2024-795723-publicacaooriginal-171976-pe.html>

Brasil. (2024b). **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024**. Institui o Marco Regulatório dos Bioinsumos. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l15070.htm

Brasil. (2024c). **Decreto nº 12.063, de 22 de abril de 2024**. Institui o Programa Selo Verde. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D12063.htm

Brasil. (2024d). **Lei nº 15.042, de 9 de julho de 2024**. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SBCE. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l15042.htm

Buainain, A. M., Alves, E., da Silveira, J. M., & Navarro, Z. (2013). Sete teses sobre o mundo rural brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, 22(2), 106–121.

Buainain, A. M., Santana, C. A. M., Silva, F. P., Garcia, J. R., & Loyola, P. (2014). O tripé da política agrícola brasileira: crédito rural, seguro e Pronaf. In A. M. Buainain, E. Alves, J. M. da Silveira, & Z. Navarro (Eds.), **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola** (pp. 827–864). Embrapa. Brasília, DF.

Bueno, C., Ávila, A. S. P., Durán, J. M., Perez, L., Rodríguez-Pérez, C., De León, G., Medina-Elizalde, M., del Puerto, L., Inda, H., Figueira, R. C. L., Ferreira, P. A. L., Etchevers, I., Cuña-Rodríguez, C., Velázquez, P., González, L., Fernandes, E. H. L., Pinho, G. L. L., & García-Rodríguez, F. (2025). Links between international market trends, agricultural intensification and extreme sedimentation rates in a transboundary South American coastal lagoon. **Science of The Total Environment**, 975, 179281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179281>

Bullard, R. D. (1990). **Dumping in Dixie: Race, class, and environmental quality**. Westview Press.

Câmara, A. A. F., & Mendes, J. F. (2023). A política permissiva brasileira aos agrotóxicos e suas repercussões para a sadia qualidade de vida: uma análise sobre o uso de agrovenenos. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, 13(2), 299–317. <https://doi.org/10.5102/rbpp.v13i2.8487>

Campos, M. A., Ribeiro, P. H. C., & da Cruz, G. M. (2024, julho 23). **Efeito Poupa-Terra: produtividade é a chave para a sustentabilidade ambiental do agro brasileiro?** <https://agro.insper.edu.br/agro-in-data/artigos/efeito-poupa-terra-productividade-e-a-chave-para-a-sustentabilidade-ambiental-do-agro-brasileiro>

Candiotto, L. Z. P., & Corrêa, W. K. (2004). Desenvolvimento rural sustentável: algumas considerações sobre o discurso oficial do governo federal. **Geografia**, 29(2), 265–280.

Carreira, I., Costa, F., & Pessoa, J. P. (2024). The deforestation effects of trade and agricultural productivity in Brazil. **Journal of Development Economics**, 167, 103217. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2023.103217>

Castro, A. C. (1984). Ciência e tecnologia para a agricultura: Uma análise dos planos de desenvolvimento. **Caderno Difusão de Tecnologia**, 1(3), 309–344.

Ceddia, M. G. (2019). The impact of income, land, and wealth inequality on agricultural expansion in Latin America. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 116(7), 2527–2532. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814894116>

Christo, B. F., Okawati, G. A. A., de Vasconcellos, D. M., Rosas, J. T. F., de Araujo, M. A., Dourado-Neto, D., & Nôia-Júnior, R. de S. (2025). Agricultural sustainability index in Brazil. **Environmental Challenges**, 19, 101133. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101133>

Commar, L. F. S., Abrahão, G. M., & Costa, M. H. (2023). A possible deforestation-induced synoptic-scale circulation that delays the rainy season onset in Amazonia. **Environmental Research Letters**, 18(4), 044041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc95f>

Companhia Nacional de Abastecimento – Conab. (2025). **Séries históricas: Safra de grãos**. Portal de Informações Agropecuárias. <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>

Congreves, K. A. (2025). Agricultural environmental ethics: an emerging way to understand and solve sustainability challenges. **npj Sustainable Agriculture**, 3(1), 1–3. <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00071-3>

Costa, F. de A., Assad, E. D., Bebbington, D. H., Brondizio, E. S., Fearnside, P. M., Garrett, R., Hecht, S., Heilpern, S., McGrath, D., Oliveira, G., Pereira, H. dos S., & Schmink, M. (2024). Complex, diverse and changing agribusiness and livelihood systems in the Amazon. **Acta Amazonica**, 54(spe1), e20220096. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202200960>

Côte, F. X., Rapidel, B., Sourisseau, J. M., Affholder, F., Andrieu, N., Bessou, C., Caron, P., Deguine, J.P., Faure, G., Hainzelin, E., Malezieux, E., Poirier-Magona, E., Roudier, P., Scopel, E., Tixier, P., Toillier, A., & Perret, S. (2022). Levers for the agroecological transition of tropical agriculture. **Agronomy for Sustainable Development**, 42(4), 67. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00799-z>

Cuni-Sanchez, A., Aneseyee, A. B., Baderha, G. K. R., Batumike, R., Bitariho, R., Imani, G., Kalema, V. N., Kiruki, H. M., Kouame, D., Moustapha, M. K., Muhati, G. L., Munishi, P. K. T., Ngugi, M. R., Rija, A. A., Tejeda, A. C., Toirambe, B., Tuyisingize, D., & Zafra-Calvo, N. (2025). Perceived climate change impacts and adaptation responses in ten African mountain regions. **Nature Climate Change**, 15(2), 153–161. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02221-w>

- Da Costa, M. V., Debone, D., & Miraglia, S. G. E. K. (2025). Brazilian beef production and GHG emission – Social cost of carbon and perspectives for climate change mitigation. **Environmental Science and Pollution Research**, 32, 5245–5258. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36022-1>
- De Groot, G. S., Aizen, M. A., Sáez, A., & Morales, C. L. (2021). Large-scale monoculture reduces honey yield: The case of soybean expansion in Argentina. **Agriculture, ecosystems & environment**, 306, 107203. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107203>
- Dick, M., da Silva, M. A., da Silva, R. R. F., Ferreira, O. G. L., Maia, M. S., de Lima, S. F., Paiva Neto, V. B., & Dewes, H. (2022). Climate change and land use from Brazilian cow-calf production amidst diverse levels of biodiversity conservation. **Journal of Cleaner Production**, 342(15), 130941.
- Dick, M., Silva, M. A., Silva, R. R. F., Ferreira, O. G. L., Maia, M. S., Lima, S. F., Paiva Neto, V. B., & Dewes, H. (2021). Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. **Journal of Cleaner Production**, 311, 127750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130941>
- Donley, N., Bullard, R. D., Economos, J., Figueroa, I., Lee, J., Liebman, A. K., Navarro Martinez, D., & Shafiei, F. (2022). Pesticides and environmental injustice in the USA: Root causes, current regulatory reinforcement and a path forward. **BMC Public Health**, 22, 708. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13057-4>
- dos Santos, E. A., Piedra-Bonilla, E. B., Barroso, G. M., Silva, J. V., Hejazirad, S. P., & dos Santos, J. B. (2024). Agricultural resilience: Impact of extreme weather events on the adoption of rural insurance in Brazil. **Global Environmental Change**, 89, 102938. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102938>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2018). **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2023). **Bioinsumos: tendência de crescimento no Brasil**. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil>
- Epps, A., Dressel, I. M., Guo, X., Odanibe, M., Fields, K. P., Carlton, A. M. G., Sun, K., & Pusede, S. E. (2025). Satellite Observations of Atmospheric Ammonia Inequalities Associated with Industrialized Swine Facilities in Eastern North Carolina. **Environmental Science & Technology**. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c11922>
- European Environment Agency. (1999). **Environmental indicators: Typology and overview** (Technical report No. 25). EEA. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/tec25>
- Fa, J. E., Watson, J. E. M., Leiper, I., Potapov, P., Evans, T. D., Burgess, N. D., Molnár, Z., Fernández-Llamazares, Á., Duncan, T., Wang, S., Austin, B. J., Jonas, H., Robinson, C. J., Malmer, P., Zander, K. K., Jackson, M. V., Ellis, E., Brondizio, E. S., & Garnett, S. T. (2020). Importance of Indigenous Peoples' lands for the conservation of Intact Forest Landscapes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 18(3), 135–140. <https://doi.org/10.1002/fee.2148>
- Farley, J., Aquino, A., Daniels, A., Moulaert, A., Lee, D., & Krause, A. (2010). Global mechanisms for sustaining and enhancing PES schemes. **Ecological economics**, 69(11), 2075–2084. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.016>

Fernández-Llamazares, Á., Lepofsky, D., Lertzman, K., Armstrong, C. G., Brondizio, E. S., Gavin, M. C., Lyver, P. O. B., Nicholas, G. P., Pascua, P., Reo, N. J., Reyes-García, V., Turner, N. J., Yletyinen, J., Anderson, E. N., Balée, W., Cariño, J., David-Chavez, D. M., Dunn, C. P., Garnett, S. C., Greening La'goot, S., Jackson, S. N., Kuhnlein, H., Molnár, Z., Odonne, G., Retter, G. B., Ripple, W. J., Sáfián, L., Sharifian Bahraman, A., Torrents-Ticó, M., & Vaughan, M. B. (2023). Scientists' warning to humanity on threats to Indigenous and local knowledge systems. *Journal of Ethnobiology*, 41(2), 144–169. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-41.2.144>

Ferreira-Suarez, D., García-Depraect, O., & Castro-Muñoz, R. (2024). A review on fungal-based biopesticides and biofertilizers production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 283, 116945. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116945>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). **The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)**. FAO.

Franco-Solís, A., & Montaña, C. V. (2021). Dynamics of deforestation worldwide: A structural decomposition analysis of agricultural land use in South America. *Land Use Policy*, 109, 105619. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105619>

Fundação Heinrich Böll. (2024). **Atlas dos agrotóxicos: Fatos e dados do uso dessas substâncias na agricultura 2024** (2ª ed.). <https://br.boell.org/sites/default/files/2024-05/240416-atlas-do-agrotoxico-2024-segunda-edicao.pdf>. Acesso em 21 de maio de 2025.

Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100005>

Giam, X. (2017). Global biodiversity loss from tropical deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23), 5775–5777. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706264114>

Gibbs, H. K., Rausch, L., Munger, J., Schelly, I., Morton, D. C., Noojipady, P., Soares-Filho, B., Barreto, P., Micol, L., & Walker, N. F. (2015). Brazil's Soy Moratorium. *Science*, 347(6220), 377–378. <https://doi.org/10.1126/science.aaa0181>

Goris, M., Bakker, E., van den Berg, L., Siegmund-Schultze, M., O'Keeffe, S., Ravesloot, M., Bufe, C., & Hassink, J. (2024). Collective land arrangements that decommoify land for agroecological transformations. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 12(1). <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00061>

Gianetti, G. W., & de Souza Ferreira Filho, J. B. (2024). Pasture recovery, emissions, and the Brazilian Paris agreement commitments. *Land Use Policy*, 141, 107118. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107118>

Grisa, C., & Chechi, L. (2016). Narrativas sobre sustentabilidade, produção orgânica e agroecologia nas políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil. *Retratos de Assentamentos*, 19(2), 125–166.

Haddad, E. A., Araújo, I. F., Feltran-Barbieri, R., Perobelli, F. S., Rocha, A., Sass, K. S., & Nobre, C. A. (2024). Economic drivers of deforestation in the Brazilian Legal Amazon. *Nature Sustainability*, 9, 1141–1148. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01387-7>

Hess, S. C., Bombardi, L. M., Nodari, R. O., Soares, M. R., Meirelles, L. C., Mua, C. T. B., & Augusto, L. G. da S. (2024). Agrotóxicos no Brasil: cenários de políticas sinistras. *Revista Da ANPEGE*, 20(42). <https://doi.org/10.5418/ra2024.v20i42.18069>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019a). **Censo agropecuário 2017: Resultados definitivos**. IBGE. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017/resultados-definitivos>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019b). Estrutura fundiária. In IBGE, **Atlas do espaço rural brasileiro** (2ª ed.). IBGE. https://www.ibge.gov.br/apps/atlasrural/pdfs/02_00_Texto.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGEa). (2024). **PAM – Pesquisa Agrícola Municipal**. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGEb). (2024). **PPM – Pesquisa da Pecuária Municipal**. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). (2025). **Populações tradicionais**. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/populacoes-tradicionais>

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2024). **Ipea avalia desempenho do Brasil no cumprimento de metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. <https://www.ipea.gov.br/porta/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/15217-ipea-avalia-desempenho-do-brasil-no-cumprimento-de-metas-dos-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2024). **PRODES – Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite**. INPE. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). **Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2023). Summary for policymakers. In **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 (Core Writing Team, H. Lee & J. Romero, Eds.)**, 1–34. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Kaur, S., Bedi, M., Singh, S., Kour, N., Bhatti, S. S., Bhatia, A., Kumar, M., & Kumar, R. (2024). Monoculture of crops: A challenge in attaining food security. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2024.07.008>

Kennedy, C. M., Miteva, D. A., Baumgarten, L., Hawthorne, P. L., Sochi, K., Polasky, S., Oakleaf, J.R., Uhlhorn, E.M., & Kiesecker, J. (2016). Bigger is better: Improved nature conservation and economic returns from landscape-level mitigation. **Science Advances**, 2(7), e1501021. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501021>

Knoble, C., & Yu, D. (2023). Environmental justice: An evolving concept in a dynamic era. **Sustainable Development**, 31(4), 2036–2045. <https://doi.org/10.1002/sd.2519>

Lapola, D. M., Pinho, P., Quesada, C. A., Strassburg, B. B. N., Rammig, A., Kruijt, B., Brown, F., Ometto, J. P. H. B., Premebida, A., Marengo, J. A., Vergara, W., & Nobre, C. A. (2018). Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 115(46), 11671–11679. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721770115>

Lapola, D. M., Brando, P. M., Davidson, E. A., Malhi, Y., da Costa, M. H., Gatti, L. V., ... & Nobre, C. A. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, 379, eabp8622. <https://doi.org/10.1126/science.abp8622>

Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Davis, J. L., et al. (2021). Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, 12, 2591. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>

- Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., & de Oliveira, U. (2024). Climate risks to soy-maize double-cropping due to Amazon deforestation. **International Journal of Climatology**, 44, 1245–1261. <https://doi.org/10.1002/joc.8381>
- Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Oliveira, U., et al. (2025). Intensification of climate change impacts on agriculture in the Cerrado due to deforestation. **Nature Sustainability**, 8, 34–43. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01475-8>
- Leite, S. P., & Wesz Junior, V. (2015). Estado, políticas públicas e agronegócio no Brasil: revisitando o papel do crédito rural. **Revista Pós Ciências Sociais**, 11(22), 83-108.
- Leite, Y. L., Duque, T. S., Santos, J. B. D., & Santos, E. A. D. (2025). Potential Residual Pesticide Consumption: A Stratified Analysis of Brazilian Families. **Journal of Xenobiotics**, 15(2), 37. <https://doi.org/10.3390/jox15020037>
- Levidow, L., Sansolo, D., & Schiavinatto, M. (2022). EcoSol-agroecology networks respond to the Covid-19 crisis: building an economy of proximity in Brazil's Baixada Santista region. *The Journal of Peasant Studies*, 49(7), 1409-1445. <https://doi.org/10.1080/03066150.2022.2096447>
- Levy, S. A., Cammelli, F., Munger, J., Gibbs, H. K., & Garrett, R. D. (2023). Deforestation in the Brazilian Amazon could be halved by scaling up the implementation of zero-deforestation cattle commitments. *Global Environmental Change*, 80, 102671. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102671>
- Li, C., Camac, J., Robinson, A., & Kompas, T. (2025). Predicting changes in agricultural yields under climate change scenarios and their implications for global food security. *Scientific Reports*, 15, 2858. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87047-y>
- Lopes, D., Lowery, S., & Peroba, T. L. C. (2016). Crédito rural no Brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável. *Revista do BNDES*, 45, 155-196.
- Lucas, K. R. G., Caldarelli, C. E., & Ventura, M. U. (2023). Agriculture and biodiversity damage: A prospective evaluation of the impact of Brazilian agriculture on its ecoregions through life cycle assessment methodology. *Science of The Total Environment*, 899, 165762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165762>
- Maluf, R. S., Burlandy, L., Cintrão, R. P., Jomalinis, E., Carvalho, T. C., & Tribaldos, T. (2022). Sustainability, justice and equity in food systems: Ideas and proposals in dispute in Brazil. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 45, 183-199. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.10.005>
- Mamedes, I., Guerra, A., Rodrigues, D. B., Garcia, L. C., de Faria Godoi, R., & Oliveira, P. T. S. (2023). Brazilian payment for environmental services programs emphasizes water-related services. **International Soil and Water Conservation Research**, 11(2), 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.01.001>
- MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. (2022). **Programa Nacional de Bioinsumos**. MAPA. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/national-bioinputs-program>
- MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. (2023). **Projeções do agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33 – Projeções de longo prazo**. Secretaria de Política Agrícola. MAPA. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos/ProjeesdoAgronegocio20232033.pdf>. Acesso em 21 de maio de 2025.
- Maranhão, R. L. A., Guimarães, R. F., Hermuche, P. M., Gomes, R. A. T., Peripolli, V., Tanure, C. B., Carvalho, O. L. F. de, Carvalho Jr., O. A. de, & McManus, C. (2025). Growth and acceleration analysis of the soybean, sugar cane, maize and cattle production in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, 27(11697–11742). <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04377-5>

- Mello, N. G. R., Gulinck, H., Van den Broeck, P., et al. (2025). Social innovation and social-ecological development in the Cerrado: The case of agroforestry systems in the Federal District, Brazil. **Agroforestry Systems**, 99, 69. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01152-5>
- Mendes, F. B., Volpi, M. P. C., da Silva Clementino, W., Albarracin, L. T., & de Souza Moraes, B. (2023). An overview of the integrated biogas production through agro-industrial and livestock residues in the Brazilian São Paulo state. **Wiley interdisciplinary reviews: energy and environment**, 12(6), e494. <https://doi.org/10.1002/wene.494>
- Miranda, J., Britz, W., & Börner, J. (2024). Impacts of commodity prices and governance on the expansion of tropical agricultural frontiers. **Scientific Reports**, 14, 9209. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59446-0>
- MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024). **Povos e comunidades tradicionais**. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/povos-e-comunidades-tradicionais>
- Mota, P. K., da Costa, A. M., Prado, R. B., Fernandes, L. F. S., Pissarra, T. C. T., & Pacheco, F. A. L. (2023). Payment for Environmental Services: A critical review of schemes, concepts, and practice in Brazil. **Science of the Total Environment**, 899, 165639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165639>
- Mouratiadou, I., Wezel, A., Kamilia, K., Marchetti, A., Paracchini, M. L., & Bàrberi, P. (2024). The socio-economic performance of agroecology. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 44(2), 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00945-9>
- Muradian, R., Corbera, E., Pascual, U., Kosoy, N., & May, P. H. (2010). Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological economics**, 69(6), 1202-1208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006>
- Nazareth, M. S., Gurgel, A. C., & Da Cunha, D. A. (2022). Economic effects of projected decrease in Brazilian agricultural productivity under climate change. **GeoJournal**, 87, 957–970. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10286-1>
- Nepstad, D. C., Stickler, C. M., Filho, B. S., & Merry, F. (2008). Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, 363(1498), 1737-1746. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0036>
- Nunes, F. S. M., Soares-Filho, B. S., Oliveira, A. R., Veloso, L. V. S., Schmitt, J., Van der Hoff, R., Assis, D. C., Costa, R. P., Börner, J., Ribeiro, S. M. C., Rajão, R. G. L., de Oliveira, U., & Costa, M. A. (2024). Lessons from the historical dynamics of environmental law enforcement in the Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, 14(1), 1828. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52180-7>
- O'Bryan, C. J., Garnett, S. T., Fa, J. E., Leiper, I., Rehbein, J. A., Fernández-Llamazares, Á., Jackson, M.V., Jonas, H.D., Brondizio, E.S., Burgess, N.D., Robinson, C.J., Zander, K.K., Molnár, Z., Venter, O., & Watson, J. E. (2020). The importance of Indigenous Peoples' lands for the conservation of terrestrial mammals. **Conservation Biology**, 35(3), 1002-1008. <https://doi.org/10.1111/cobi.13620>
- Osborne, T., Cifuentes, S., Dev, L., Howard, S., Marchi, E., Withey, L., & Santos Rocha da Silva, M. (2024). Climate justice, forests, and Indigenous Peoples: toward an alternative to REDD+ for the Amazon. **Climatic Change**, 177(8), 128. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03774-7>
- Oteros-Rozas, E., Ruiz-Almeida, A., Aguado, M., González, J. A., & Rivera-Ferre, M. G. (2019). A social–ecological analysis of the global agrifood system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 116(52), 26465-26473. <https://doi.org/10.1073/pnas.1912710116>
- Oviedo, A. F. P., & Doblas, J. (2022). **As florestas precisam das pessoas**. Instituto Socioambiental. <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/m9d00064.pdf>

Piedra-Bonilla, E. B., Da Cunha, D. A., Braga, M. J., et al. (2025). Extreme weather events and crop diversification: Climate change adaptation in Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 30, 28. <https://doi.org/10.1007/s11027-025-10211-2>

Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., & Kastner, T. (2019). Deforestation displaced: trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. **Environmental Research Letters**, 14(5), 055003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0d41>

Pinto, L. F. G., et al. (2020). Quem são os poucos donos das terras agrícolas no Brasil – O mapa da desigualdade. **Sustentabilidade em Debate**, (10), 1–20. https://admin.imaflora.org/public/media/biblioteca/1588006460-sustentabilidade_terras_agricolas.pdf

Pires, G. F. (2023). The forest is not yet lost. **Nature Climate Change**, 13, 606–607. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01707-3>

Pizella, D. G., & de Souza, M. P. (2012). Brazilian GMO regulation: Does it have an environmental approach? **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, 14(2), 1250013. <https://doi.org/10.1142/S1464333212500135>

Portugal-Pereira, J., Soria, R., Rathmann, R., Schaeffer, R., & Szklo, A. (2015). Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil. **Biomass and bioenergy**, 81, 521-533. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.010>

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). (2022). **Environmental justice: Securing our right to a clean, healthy and sustainable environment**. UNDP. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-06/Environmental-Justice-Technical-Report.pdf>

Projeto MapBiomass. (2023). **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022 – Coleção 8** [Relatório técnico]. MapBiomass. https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/FACT_MapBiomass_Mapeamento-Anual-Cobertura_Colecao8_31.pdf

Rabeschini, G., Persson, U. M., West, C., & Kastner, T. (2025). Choosing fit-for-purpose biodiversity impact indicators for agriculture in the Brazilian Cerrado ecoregion. **Nature Communications**, 16, 1799. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57037-9>

Rajão, R., Nobre, A. D., Cunha, E. L. T. P., Duarte, T. R., Marcolino, C., Soares-Filho, B., Sparovek, G., Rodrigues, R. R., Valera, C., Bustamante, M., Nobre, C., & Lima, L. S. de. (2022). The risk of fake controversies for Brazilian environmental policies. **Biological Conservation**, 266, 109447. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109447>

Refati, D. C., Bezerra da Silva, J. L., Santana Macedo, R., Correia Lima, R. da C., da Silva, M. V., Pandorfi, H., Costa Silva, P., & de Oliveira-Júnior, J. F. (2023). Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the Brazilian semiarid region. **Journal of South American Earth Sciences**, 126, 104362. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104362>

Raimi, A., Roopnarain, A., & Adeleke, R. (2021). Biofertilizer production in Africa: Current status, factors impeding adoption and strategies for success. **Scientific African**, 11, e00694. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00694>

Reis, J. C., Rodrigues, G. S., de Barros, I., et al. (2023). Fuzzy logic indicators for the assessment of farming sustainability strategies in a tropical agricultural frontier. **Agronomy for Sustainable Development**, 43, 8. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00858-5>

Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., Aumeeruddy-Thomas, Y., Benyei, P., Bussmann, R. W., Diamond, S. K., García-del-Amo, D., Guadilla-Sáez, S., Hanazaki, N., Kosoy, N., Lavides, M., Luz, A. C., McElwee, P., Meretsky, V. J., Newberry, T., Molnár, Z., Ruiz-Mallén, I., Salpeteur, M., Wyndham, F. S., Zorondo-Rodríguez, F., & Brondizio, E. S. (2022). Recognizing Indigenous peoples' and local communities' rights and agency in the post-2020 Biodiversity Agenda. *Ambio*, 51(1), 84-92. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01561-7>

Ribeiro, J. M. P., Maculan, G., de Ávila, B. O., et al. (2025). Deforestation by production displacement: Expansion of cropland and cattle ranching on Amazon Forest. *Environmental Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05917-3>

Ruggieri, A. C., Cardoso, A. d. S., Ongaratto, F., Casagrande, D. R., Barbero, R. P., Brito, L. d. F., Azenha, M. V., Oliveira, A. A., Koscheck, J. F. W., & Reis, R. A. (2020). Grazing intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: Analysis of Brachiaria pastureland. *Agronomy*, 10(11), 1750. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>

Sá, Á. R. D. S., & Gomes, L. D. S. (2025). Convergence and Determinants of Carbon Emissions in Brazilian Agriculture. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, (70), 73–92. <https://doi.org/10.59072/rper.vi70.682>

Safanelli, J. L., Nóia Júnior, R. de S., Coutinho, P. A. Q., de Araujo, M. A., Fendrich, A. N., Rizzo, R., Chamma, A. L. S., Tavares, P. A., Barretto, A. G. O. P., Maule, R. F., Reichardt, K., Sparovek, G., & Dourado Neto, D. (2023). Grain-cropping suitability for evaluating the agricultural land use change in Brazil. *Applied Geography*, 154, 102937. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102937>

Salick, J., & Ross, N. (2018). Traditional peoples and climate change. In *Planning for Climate Change* (pp. 160-166). Routledge.

Santana, C. A. M., Buainain, A. M., Silva, F. P., Garcia, J. R., & Loyola, P. (2014). Política agrícola: avanços e retrocessos ao longo de uma trajetória positiva. In A. M. Buainain, E. Alves, J. M. da Silveira, & Z. Navarro (Eds.), *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola* (pp. 795–826). Embrapa. Brasília, DF.

Santos, C. V., Oliveira, A. F., & Ferreira Filho, J. B. S. (2022). Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(1), e220611. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>

Santos, E. A. D., Fortini, R. M., Sette, A. B. P., & Braga, M. J. (2022). Povos tradicionais brasileiros: um olhar para as comunidades quilombolas do estado do Piauí.

Santos, E. A. D., Cunha, D. A. D., & Travassos, G. F. (2023). Nitrogen demand and agro-environmental efficiency in Brazilian cereal production. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e268927. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.268927>

Santos, J. P. de O., Abreu, K. G., Araújo, J. R. E. S., Sousa, V. F. de O., Macêdo, M. L. A. de, & Torres, E. da N. (2023). Pressões antrópicas em Floresta Tropical Sazonalmente Seca em área suscetível a desertificação no Nordeste do Brasil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 16(3), 1–14. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n3e10535>

Santos, T. C. C., & Câmara, J. B. D. (Orgs.). (2002). *GEO Brasil 2002: Perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Edições IBAMA.

Scheidel, A., Fernández-Llamazares, Á., Bara, A. H., Del Bene, D., David-Chavez, D. M., Fanari, E., Garba, I., Hanaček, K., Liu, J., Martínez-Alier, J., Navas, G., Reyes-García, V., Roy, B., Temper, L., Thiri, M. A., Tran, D., Walter, M., & Whyte, K. P. (2023). Global impacts of extractive and industrial development projects on Indigenous Peoples' lifeways, lands, and rights. **Science Advances**, 9(23), eade9557. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ade9557>

Schlosberg, D., & Collins, L. B. (2014). From environmental to climate justice: Climate change and the discourse of environmental justice. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, 5(3), 359–374. <https://doi.org/10.1002/wcc.275>

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. (2024). **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>

Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2024). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. **Toxicology Reports**, 101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>

Sinthumule, N. I. (2023). Traditional ecological knowledge and its role in biodiversity conservation: a systematic review. **Frontiers in Environmental Science**, 11, 1164900. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1164900>

Sims, K. R. (2023). Towards equity in land protection. **Agricultural and Resource Economics Review**, 52(2), 201–230. <https://doi.org/10.1017/age.2023.18>

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, 344(6182), 363–364. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>

Soterroni, A. C., Ramos, F. M., Mosnier, A., Fargione, J., Andrade, P. R., Baumgarten, L., Pirker, J., Obersteiner, M., Kraxner, F., Câmara, G., Carvalho, A. X. Y., & Polasky, S. (2019). Expanding the Soy Moratorium to Brazil's Cerrado. **Science Advances**, 5(7), eaav7336. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav7336>

Soterroni, A. C., Império, M., Scarabello, M. C., Seddon, N., Obersteiner, M., Rochedo, P. R., Schaeffer, R., Andrade, P.R., Ramos, F.M., Azevedo, T.R., Ometto, J.P.H.B., Havlik, P., & Alencar, A. A. C. (2023). Nature-based solutions are critical for putting Brazil on track towards net-zero emissions by 2050. **Global Change Biology**, 29(24), 7085–7101. <https://doi.org/10.1111/gcb.16984>

Suarez, A., & Gwozdz, W. (2023). On the relation between monocultures and ecosystem services in the Global South: A review. **Biological Conservation**, 278, 109870. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109870>

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. (2022a). **Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its third session, held in Glasgow from 31 October to 13 November 2021. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement at its third session**. Bonn: UNFCCC, 2022. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_10_add1_adv.pdf. Acesso em: 30 maio 2025.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. (2022b). **Updated first nationally determined contribution – Brazil**. Bonn: UNFCCC. Retrieved from <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>

- United Nations – UN. (2022). **World population prospects 2022: Summary of results**. New York: United Nations. Retrieved from https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
- United States Department of Agriculture – USDA. (2023). **Grain and feed update**. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain%20and%20Feed%20Update_Brasilia_Brazil_BR2023-0028
- United States Department of Agriculture – USDA. (2025). **International agricultural productivity**. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity>
- United States Department of Agriculture– USDA. (2022). **USDA agricultural projections to 2031**. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/USDA-Agricultural-Projections-to-2031.pdf>
- Valdes, C. (2022). Brazil's momentum as a global agricultural supplier faces headwinds. **Amber Waves**. United States Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2022/september/brazil-s-momentum-as-a-global-agricultural-supplier-faces-headwinds/>
- van der Ploeg, J. D. (2020). From biomedical to politico-economic crisis: the food system in times of Covid-19. **The Journal of Peasant Studies**, 47(5), 944-972. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1794843>
- van Ittersum, M. K., Silva, J. V., Bommarco, R., Hijbeek, R., Lundin, O., Nandillon, R., Bergkvist, G., Menegat, A., Öborn, I., Söderholm-Emas, A., Stoddard, F. L., Vico, G., Vonk, W. J., Watson, C. A., & MacLaren, C. (2025). Narrowing the ecological yield gap to sustain crop yields with less inputs. *Global Food Security*, 45, 100857. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100857>
- Vasconcelos, Y., & Zapparoli, D. (2022). Manejo do pasto e mudanças na alimentação podem tornar pecuária mais sustentável. **Revista Pesquisa FAPESP**, (314). <https://revistapesquisa.fapesp.br/manejo-do-pasto-e-mudancas-na-alimentacao-podem-tornar-pecuaria-mais-sustentavel/>
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. (2012). Climate change and food systems. **Annual review of environment and resources**, 37(1), 195-222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- Yang, Y., Tilman, D., Jin, Z., Smith, P., Barrett, C. B., Zhu, Y.-G., Burney, J., D'Odorico, P., Fantke, P., Fargione, J., Finlay, J. C., Rulli, M. C., Sloat, L., van Groenigen, K. J., West, P. C., Ziska, L., Michalak, A. M., the Clim-Ag Team, & Lobell, D. B. (2024). Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science*, 385(6713), eadn3747. <https://doi.org/10.1126/science.adn3747>
- Yilmaz, H., & Yilmaz, A. (2025). Hidden Hunger in the Age of Abundance: The Nutritional Pitfalls of Modern Staple Crops. **Food Science & Nutrition**. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4610>
- Yu, M., Zhang, S., Ning, H., Li, Z., & Zhang, K. (2024). Assessing the 2023 Canadian wildfire smoke impact in Northeastern US: Air quality, exposure and environmental justice. **Science of The Total Environment**, 926, 171853. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171853>
- Zheng, H., Ma, W., & He, Q. (2024). Climate-smart agricultural practices for enhanced farm productivity, income, resilience, and greenhouse gas mitigation: a comprehensive review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 29(4), 28. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10124-6>
- Zilli, M., Scarabello, M., Soterroni, A. C., Valin, H., Mosnier, A., Leclère, D., Havlík, P., Kraxner, F., Lopes, M. A., & Ramos, F. M. (2020). The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of The Total Environment**, 740, 139384. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139384>

AGRICULTURA

Quais são os principais desafios da sustentabilidade ambiental da agricultura brasileira? Podemos expandir nossa produção agrícola para alimentar o mundo?



Maria Julia Ferreira^{1,2} Michel Xocaira Paes³

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Brasil

²Instituto Juruá, Manaus, Brasil

³Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, Brasil

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo, com o agronegócio ocupando vastas áreas do território e contribuindo fortemente para a economia nacional. Contudo, esse sucesso tem custado caro ao meio ambiente. O modelo dominante, baseado em monoculturas de commodities em larga escala, como gado, soja, cana-de-açúcar e milho, muitas vezes ocupando milhões de hectares, tem provocado desmatamento, perda de biodiversidade, degradação do solo e desigualdade social. Esses sistemas dependem de fertilizantes e pesticidas químicos que contaminam o solo, os rios e os lençóis freáticos, além de eliminar polinizadores e organismos benéficos. A simplificação das paisagens em plantações uniformes reduz a biodiversidade, fragmenta habitats e aumenta a vulnerabilidade a pragas e doenças. Essa dependência de insumos externos e dos mercados globais torna a agricultura brasileira ambientalmente insustentável e economicamente frágil, além de contribuir para emissões de gases de efeito estufa e reduzir a resiliência das paisagens rurais às mudanças climáticas. No Cerrado e na Amazônia, a expansão desse modelo destruiu ecossistemas inteiros, substituindo a vegetação nativa por campos biologicamente empobrecidos. Construir um futuro agrícola sustentável no Brasil exige uma profunda transformação ecológica, social, econômica e política.

Em contraste, a agricultura familiar e de pequena escala oferece bases sólidas para um modelo mais sustentável. Enraizada no conhecimento local e em sistemas de produção diversificados, tende a ser mais resiliente e equilibrada ambientalmente, sendo responsável por mais de 70% dos alimentos consumidos no país. Agricultores familiares praticam rotação e consorciação de culturas, além da policultura, que ajudam a manter a fertilidade do solo, reduzir pragas

e aumentar a produtividade sem depender de insumos químicos. Esses sistemas se alinham aos princípios da agroecologia, que integra a ciência ecológica aos saberes tradicionais. As práticas agroecológicas valorizam a diversidade, a reciclagem de nutrientes e as interações entre plantas, animais e seres humanos, promovendo solos mais vivos, águas mais limpas e alimentos mais saudáveis.

A rotação de culturas desempenha papel essencial na restauração do solo e no controle de pragas. Alternar diferentes cultivos ao longo do tempo permite a recuperação de nutrientes e da estrutura do solo, além de interromper ciclos de pragas. Quando combinada com adubação verde e sistemas agroflorestais, essa prática transforma áreas degradadas em paisagens produtivas e biodiversas. Diante da vasta extensão de terras degradadas no país, tais práticas representam grande potencial de restauração ecológica e produção sustentável de alimentos. Outro pilar é a substituição de insumos químicos por bioinsumos naturais, como compostos orgânicos, microrganismos, repelentes vegetais e biofertilizantes. Esses produtos restauram a vida e a produtividade do solo sem contaminar os ecossistemas. O Brasil já conta com uma rede crescente de laboratórios comunitários e programas públicos de pesquisa voltados aos bioinsumos, que poderiam ser ampliados para beneficiar pequenos produtores. A combinação entre bioinsumos e conhecimento tradicional estimula a inovação adaptada às realidades locais, fortalecendo soluções economicamente viáveis, ambientalmente regenerativas e socialmente inclusivas.

Tornar a agricultura sustentável é um desafio ambiental, social e político. Agricultores familiares e comunidades tradicionais, indígenas, quilombolas e

e ribeirinhas, são fundamentais para a soberania alimentar e a conservação da biodiversidade, mas enfrentam barreiras como acesso limitado a crédito, infraestrutura e assistência técnica. Ampliar programas como o PRONAF e garantir segurança fundiária são passos essenciais. A insegurança da posse da terra e a falta de apoio institucional limitam a inovação e desestimulam práticas ecológicas de longo prazo. Reconhecer os direitos sociais das famílias rurais ao território, a mercados justos e à educação é fundamental para fortalecê-las como agentes de mudança. Políticas públicas também devem incentivar a permanência das novas gerações no campo, expandindo a educação rural, o cooperativismo e o acesso a mercados para produtos agroecológicos. O valor econômico da produção amiga da biodiversidade deve ser reconhecido e recompensado por meio de pagamentos por serviços ambientais e programas de certificação verde. Programas de compras públicas, como o PAA e o PNAE, podem assegurar demanda estável e promover alimentação saudável nas escolas e comunidades.

A transição para uma agricultura sustentável exige políticas públicas coerentes orientadas pelos princípios da agroecologia: diversidade, reciclagem, sinergia, resiliência e co-criação de conhecimento. Esses princípios deslocam o foco da maximização da produtividade para o fortalecimento dos ecossistemas e das comunidades. O apoio governamental deve priorizar a intensificação ecológica em vez da expansão de fronteiras, restaurando áreas degradadas em lugar de abrir novas.

O futuro da agricultura brasileira depende de substituir monoculturas que exaurem o solo por sistemas diversificados que o regeneram. Sustentabilidade agrícola significa integrar restauração ecológica, justiça social e inovação tecnológica. Apoiar pequenos produtores, ampliar o acesso à terra e ao crédito, investir em bioinsumos e aplicar princípios agroecológicos pode transformar as paisagens rurais em sistemas resilientes, produtivos e justos. Assim, o Brasil pode liderar uma transição global rumo a uma agricultura que não apenas alimente as pessoas, mas também regene

o planeta, onde biodiversidade, cultura e sustentabilidade cresçam juntas no mesmo solo.

Referências

- Costa M.B.B. 2017. Agroecologia no Brasil: história, princípios e práticas. 141p. ISBN: 978-85-7743-311-7.
- Farrell J.G. & Altieri M. 2014. Estratégias técnicas para o manejo agroecológico: Sistemas agroflorestais. 281–304. ISBN: 978-85-7743-191-5
- Costa, F. de A., Assad, E. D., Bebbington, D. H., Brondizio, E. S., Fearnside, P. M., Garrett, R., Hecht, S., Heilpern, S., McGrath, D., Oliveira, G., Pereira, H. dos S., & Schmink, M. (2024). Complex, diverse and changing agribusiness and livelihood systems in the Amazon. **Acta Amazonica**, 54(spe1), e20220096. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202200960>
- Levis, C., Flores, B. M., Campos-Silva, J. V., Peroni, N., Staal, A., Padgurschi, M. C., Dorshow, W., Moraes, B., Schmidt, M., Kuikuro, T.W., Wauja, K., Kuikuro, K., Kuikuro, A., Fausto, C., Franchetto, B., Watling, J., Lima, H., Heckenberger, M., & Clement, C. R. (2024). Contributions of human cultures to biodiversity and ecosystem conservation. **Nature Ecology & Evolution**, 8(5), 866–879. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02356-1>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2018). **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa.

Raquel Rizzi¹

Allan Razera²

Patrícia Ravallet³

¹Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar

²Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

³Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar

O alimento que chega à mesa dos brasileiros e de milhões de consumidores em diferentes partes do mundo vem da terra cultivada em nossos territórios. Do arroz e feijão que sustentam a dieta cotidiana brasileira ao café das manhãs de diversos países, passando pela soja e o milho, que abastecem cadeias globais de carne, a agricultura brasileira é essencial para a segurança alimentar nacional e mundial. De acordo com relatório da FAO e a OCDE, o Brasil está entre os três maiores exportadores mundiais de produtos agroalimentares, o que evidencia sua centralidade na produção agrícola internacional.

Um desafio importante é diversificar a produção brasileira, concentrada em poucas culturas. Pastagens, soja e cana concentram 77% de toda a área utilizada pela agropecuária brasileira. Essa dependência compromete a diversidade alimentar e a biodiversidade, aumenta a vulnerabilidade a pragas, o uso de agrotóxicos, degrada o solo e fragiliza a soberania alimentar e econômica diante de eventos climáticos extremos.

O clima, a água, o solo e a biodiversidade são fundamentais para cada prato de comida. O aumento das temperaturas, a irregularidade das chuvas e a frequência de secas e enchentes impactam diretamente lavouras sensíveis, como café e feijão. Quase 70% da água consumida no Brasil é destinada à irrigação, enquanto práticas inadequadas degradam solos.

O desmatamento também é um desafio. Sem florestas, o regime de chuvas se altera e a agricultura é impactada. É crucial diferenciar o desmatamento legal, previsto em lei, do ilegal, que ainda predomina na Amazônia e em parte significativa do Cerrado.

Entre os desafios ambientais, é preciso considerar as pessoas. Sistemas alimentares sustentáveis também devem se ancorar na justiça social. A agricultura familiar desempenha papel fundamental no desenvolvimento sustentável, na segurança alimentar e na geração de renda. Porém, enfrenta desafios como o envelhecimento rural e a invisibilidade do trabalho das mulheres, que limita seu acesso à terra, crédito e tecnologias. Povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais, que preservam saberes essenciais para a produção sustentável, permanecem vulneráveis e pressionados.

Apesar das dificuldades, o Brasil apresenta condições para uma transição de modelo dos sistemas alimentares, garantindo produção sustentável e capaz de contribuir na alimentação do mundo. Para isso, é necessário incentivar a diversificação da produção, apoiar cultivos regionais e criar mercados que escoem essa variedade produtiva.

A biodiversidade brasileira é uma aliada invisível: insetos polinizadores, microrganismos do solo e espécies nativas sustentam a produtividade e a saúde dos ecossistemas agrícolas. Outra frente é avançar para que o país cumpra seu compromisso de zerar o desmatamento até 2030. Investir em bioinsumos, controle biológico e práticas agroecológicas permite conciliar produtividade e sustentabilidade. Fortalecer ações do Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos, recentemente aprovado no Brasil, é essencial, enfrentando interesses econômicos e lobbys políticos do setor.

A transição não se limita à produção; ela envolve o fortalecimento de mercados locais, feiras regionais e programas de compras institucionais, como o da alimentação

escolar, que aproximam agricultores e consumidores. Além disso, é preciso reduzir perdas e desperdícios e investir em pesquisa e inovação tecnológica, com parcerias estratégicas para a mecanização da agricultura familiar. Com tecnologia, a agricultura brasileira, especialmente a familiar, pode oferecer caminhos para produção sustentável e resiliente às mudanças climáticas.

A transição de modelo começa reconhecendo quem garante o abastecimento. A agricultura familiar fornece boa parte da comida do mercado interno — feijão, mandioca, leite, hortaliças e ovos. A agricultura empresarial é responsável por grandes commodities, como soja, milho e carnes, que abastecem cadeias globais. Ambas são essenciais, mas cumprem papéis diferentes: alimentar os brasileiros não é o mesmo que abastecer mercados internacionais. Sistemas alimentares equilibrados precisam valorizar essas duas dimensões, fortalecendo a agricultura familiar, a produção de alimentos saudáveis e a produção de commodities.

Políticas voltadas à juventude rural e às mulheres são essenciais para promover igualdade e garantir a sucessão rural. Para povos e comunidades tradicionais, o acesso à terra e o reconhecimento de seus saberes são condições indispensáveis para um desenvolvimento sustentável e solidário.

O Brasil tem condições de liderar essa transição: dispõe de terra e recursos naturais suficientes para ampliar a produção sem novos desmatamentos, de instituições científicas de ponta como a Embrapa, e de uma agricultura familiar capaz de oferecer diversidade e alimentos saudáveis.

É fundamental superar entraves estruturais para implementar e ampliar políticas públicas de forma consistente. Sem investimento que garanta sua chegada aos diferentes territórios e sem articulação coordenada com Universidades, Institutos Federais, movimentos sociais e entes federativos, as políticas voltadas à agricultura familiar — integrando produção, clima, biodiversidade e justiça social — terão eficácia limitada, comprometendo os esforços rumo a uma transição de modelo dos sistemas alimentares.

O futuro do campo e o que teremos no prato dependem das escolhas que o Brasil fizer agora.

Referências

OECD/FAO (2024), OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033, **OECD Publishing**, Paris/FAO, Rome <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>.

MAPBIOMAS BRASIL. **Pastagem, soja e cana ocupam 77% da área de agropecuária no Brasil**. 6 dez. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/12/06/pastagem-soja-e-cana-ocupam-77-da-area-de-agropecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 5ª fase (2023 a 2027)**. Brasília, DF: MMA, 2023.

BRASIL. **Decreto nº 12.538, de 18 de novembro de 2021**. Institui o Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos – Pronara. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 18 nov. 2021. Seção 1, p. 2. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/D12538.htm

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Agricultura Familiar no Brasil: produção de alimentos e abastecimento do mercado interno**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/42a86ef6d8cbdb0a25e13cdc830799e6.pdf

Jaine Ariely Cubas¹ Amanda Roza¹

¹Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)

No ano de 2024, 235 países e territórios receberam alimentos brasileiros (Comexstat, 2025). Esse dado é representativo do papel do Brasil na garantia de segurança alimentar em escala global. O país conta com 179 milhões de hectares de pastagens, 63 milhões de hectares de lavouras e extensa cobertura vegetal (IBGE, 2017). Ao longo dos anos, a ciência e a tecnologia transformaram o país em uma potência exportadora, e a construção de uma legislação ambiental robusta associou a produção agropecuária à responsabilidade de preservar os recursos naturais.

As emissões de gases de efeito estufa também são levadas em consideração para avaliar a sustentabilidade da produção brasileira. Em 2022, o setor agropecuário brasileiro foi responsável pela emissão de 622 milhões de toneladas de CO₂eq, o que representou 30% das emissões do Brasil (MCTI, 2024). Entre as categorias que representam o setor produtivo no Inventário Nacional, a agropecuária foi o setor que registrou o menor aumento de emissões entre 2005 e 2022. No mesmo período, o PIB da Agropecuária registrou um aumento de 380%, segundo dados do CEPEA/USP.

Dada a projeção de aumento da população mundial, estima-se que, até 2034, o consumo global de produtos agrícolas e pesqueiros crescerá 13% em relação aos níveis de 2024, em valores constantes e com o crescimento concentrado em países de renda média e baixa. Ao mesmo tempo, o valor bruto da produção agrícola global deve aumentar 14% até 2034, em valores constantes (OCDE/FAO, 2025). Nesse cenário, o Brasil tem um claro desafio: garantir a sustentabilidade ambiental e contribuir substancialmente para a garantia de segurança alimentar global.

O Código Florestal representa a robustez da legislação ambiental brasileira, e uma meta climática ambiciosa, que propõe a redução de emissões em no mínimo 59% até 2035 em relação a 2005, aumentam a

responsabilidade do setor em garantir a produção de alimentos de forma sustentável. Ainda assim, o país enfrenta desafios para garantir a sustentabilidade no longo prazo.

A legislação reconhece a centralidade da atividade agropecuária no desenvolvimento nacional, destacando seu papel na segurança alimentar e no crescimento econômico. Simultaneamente, reafirma a relevância das florestas e da vegetação nativa como elementos essenciais para a sustentabilidade, a qualidade de vida e a competitividade nos mercados globalizados de alimentos e bioenergia.

Nesse sentido, é fundamental que a lei seja plenamente implementada para que o Brasil continue aliando a produção de alimentos à sustentabilidade. Um grande avanço foi a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), o qual configura-se como um instrumento estratégico para a geração e integração de informações ambientais dos imóveis rurais. Trata-se de uma base de dados essencial para o planejamento ambiental e econômico, o controle, o monitoramento, e a demonstração do compliance ambiental.

A inscrição no CAR é obrigatória e sua implementação, em conjunto com instrumentos como os Programas de Regularização Ambiental (PRA) e as Cotas de Reserva Ambiental (CRA), representa um passo decisivo rumo à integração das políticas agrícolas e ambientais. Entretanto, a etapa de análise das informações declaradas no CAR constitui hoje um dos principais desafios para sua efetiva consolidação. Com mais de sete milhões de cadastros realizados, os órgãos estaduais enfrentam um volume expressivo de trabalho técnico, que exige o fortalecimento institucional das Unidades Federativas e o uso crescente de ferramentas de análise automatizada, além da divergência de dados sobre o domínio do imóvel, mesmo o CAR não sendo um cadastro fundiário, durante a análise são encontradas diversas sobreposições entre imóveis rurais, reflexo

de fragilidades históricas na governança fundiária.

Com os dados do CAR analisados será possível mostrar o equilíbrio no uso das áreas de produção, com as áreas destinadas a preservação. Ainda, o setor pode contribuir, cada vez mais, com a redução de emissões de gases de efeito estufa a partir da adoção de práticas sustentáveis e de ganhos de produtividade, contribuindo para o cumprimento da meta climática do Brasil.

O Plano ABC+, por exemplo, estabelece uma série de metas para adoção de tecnologias de baixo carbono em território nacional. A expectativa é de que a implementação das tecnologias seja capaz de mitigar a emissão de 1 bilhão de toneladas de CO₂eq entre 2020 e 2030.

A reutilização e melhoria da produção com a recuperação e a conversão em sistemas produtivos sustentáveis, conforme proposto pelo Plano ABC+, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, contribui para a preservação dos biomas brasileiros. Garantir o financiamento adequado para o cumprimento das metas do Plano ABC+ e estimular a continuidade da adoção dessas tecnologias é fundamental.

A superação dos desafios supracitados mantém o Brasil na liderança da produção agropecuária sustentável e amplia as oportunidades para o setor agropecuário, contribuindo para a segurança alimentar e promovendo maior segurança jurídica e valorização ambiental dos imóveis rurais, além de ampliar a rastreabilidade e a transparência de toda a produção rural sustentável no país.

Raul Zoche¹

¹Confederação Nacional dos Trabalhadores Rurais Agricultores e Agricultoras Familiares (CONTAG)

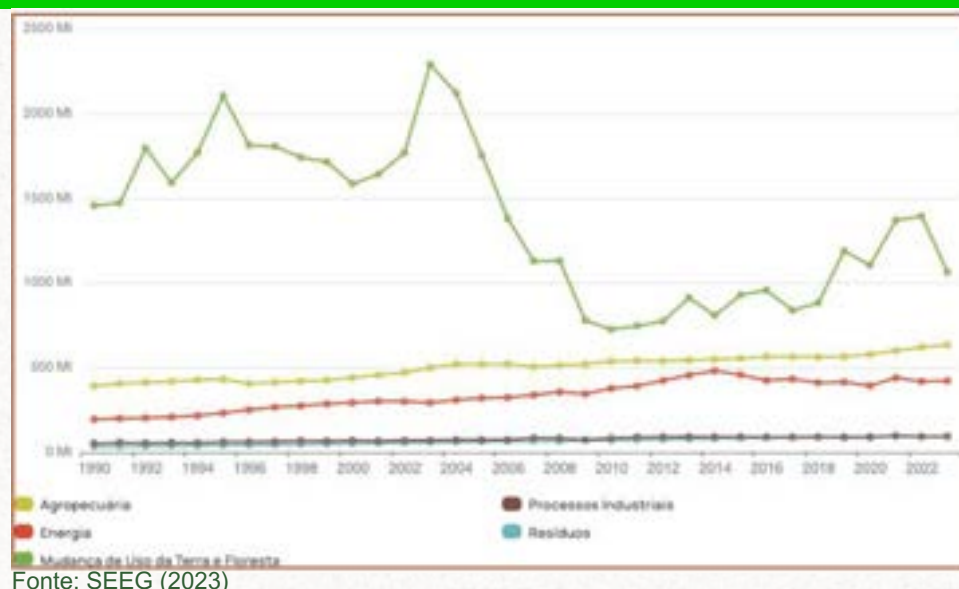
A agricultura brasileira ocupa papel estratégico na agenda global de segurança alimentar e de sustentabilidade ambiental. Por um lado, o país é uma potência agrícola, responsável por parcela significativa da produção mundial de alimentos; por outro, enfrenta enormes desafios para conciliar esse potencial com a preservação dos ecossistemas e a promoção da justiça social. A questão central, portanto, consiste em definir como expandir a produção agrícola sem comprometer os limites ambientais e climáticos, que já se mostram cada vez mais críticos.

O primeiro grande desafio é o impacto das mudanças climáticas sobre os sistemas produtivos. O Brasil tem experimentado eventos extremos cada vez mais frequentes: secas prolongadas no Nordeste, enchentes no Sul, estiagens históricas na Amazônia e perda da previsibilidade das chuvas no Cerrado. Esses fenômenos afetam diretamente culturas estratégicas como a

mandioca, o milho e o feijão, pilares da segurança alimentar nacional. Os públicos amparados pela Lei n.º 11.326/2006, que define a agricultura familiar, sofrem de modo ainda mais intenso, por possuírem menor capacidade de adaptação tecnológica e financeira.

O segundo desafio decorre da pressão exercida pelo agronegócio baseado em monoculturas extensivas, responsável por parcela expressiva das emissões nacionais de gases de efeito estufa. Em 2023, a agropecuária e as mudanças no uso da terra corresponderam a 74% das emissões brasileiras (Figura 1), tendo o desmatamento da Amazônia e do Cerrado como principais vetores. Esse modelo, ao mesmo tempo em que gera divisas, compromete a biodiversidade, contamina solos e águas pelo uso intensivo de agrotóxicos e aprofunda a concentração de renda e de terras, agravando os problemas sociais do campo brasileiro.

Figura C6.1 - Emissões brutas no Brasil por setor



Um terceiro desafio consiste nas limitações das políticas públicas e dos investimentos voltados à produção de base familiar. Apesar de sua relevância, já que, segundo o Censo Agropecuário de 2017 do Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a agricultura familiar responde por 77% dos estabelecimentos rurais, 67% da ocupação no campo e 23% do valor bruto da produção agropecuária brasileira, o setor ainda

enfrenta severas restrições no acesso a recursos essenciais. Os agricultores familiares encontram dificuldades em acessar linhas sustentáveis do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), o que resulta em forte concentração do crédito em commodities, sobretudo na região Sul, evidenciando uma exclusão financeira que limita os investimentos em tecnologia e sustentabilidade. Além disso, apenas cerca de 20% das famílias contam com algum tipo de assistência técnica ou extensão rural, o que dificulta a adoção de inovações produtivas e ambientais capazes de aumentar a resiliência climática e a produtividade. A insuficiência de políticas públicas específicas é ilustrada por programas como o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) que, embora relevantes para mitigar emissões, não contemplaram de maneira adequada as necessidades dos sistemas produtivos biodiversos.

Apesar dessas dificuldades, a agricultura familiar brasileira se destaca como parte fundamental da solução climática. Diferentemente do modelo de monoculturas, os sistemas familiares tendem a ser mais biodiversos, integrando cultivos, pecuária e manejo florestal. Esses sistemas apresentam baixa emissão de gases de efeito estufa e elevado potencial de remoção de carbono, seja pela adoção de práticas agroecológicas, pela regeneração de pastagens degradadas ou pela implementação de sistemas agroflorestais.

Cumprindo ainda ressaltar que a agricultura familiar exerce papel essencial na manutenção da soberania e da segurança alimentar. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em escala global, a agricultura familiar ocupa entre 70% e 80% das terras agrícolas e responde por cerca de 80% do valor dos alimentos produzidos. No Brasil, é responsável por 80% da mandioca, 69% do abacaxi e 42% do feijão, além de expressiva participação na produção de café, banana e produtos da sociobiodiversidade, como a castanha-do-brasil e o açaí.

É possível expandir a produção para alimentar o mundo?

A resposta não está em ampliar indiscriminadamente a área plantada, mas em transformar a base produtiva brasileira considerando três eixos estratégicos:

1. Transição agroecológica: ampliar práticas regenerativas, como sistemas agrossilvipastoris e a agricultura agroecológica, que aumentam a resiliência climática e reduzem a dependência de insumos químicos.
2. Fortalecimento de políticas públicas inclusivas: assegurar crédito orientado, assistência técnica de qualidade e seguro agrícola adaptado às especificidades da agricultura familiar, de modo a ampliar a escala de boas práticas já existentes.
3. Investimento em ciência e dados: superar as lacunas de conhecimento em sistemas de produção sustentáveis, mensurar de forma precisa o potencial de captura de carbono e os impactos da agricultura familiar, de modo a fundamentar políticas baseadas em evidências e valorizar o papel ambiental do setor.

Em suma, os principais desafios da sustentabilidade da agricultura brasileira estão diretamente ligados à crise climática, à concentração fundiária e à fragilidade das políticas voltadas à agricultura familiar. Contudo, essa mesma agricultura familiar apresenta-se como alternativa concreta e escalável para enfrentar a emergência climática e garantir a segurança alimentar global.

Portanto, o Brasil pode, sim, contribuir para alimentar o mundo, mas o caminho passa por reconhecer e apoiar os agricultores e agricultoras familiares como protagonistas de uma transição justa. Apenas assim será possível conciliar expansão da produção com sustentabilidade, assegurando que os alimentos que chegam à mesa das pessoas sejam saudáveis, estejam em conformidade com os limites ambientais e com os direitos das gerações futuras.

7 CIDADES



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

CIDADES MAIS SUSTENTÁVEIS, JUSTAS E RESILIENTES: PANORAMA, DESAFIOS E PERSPECTIVAS

geobrasil2025.org

Autores: José Célio Silveira Andrade¹ e Eduardo Baltar de Souza Leão²

¹Doutor em Administração UFBA e Professor Titular Escola de Administração da UFBA.

E-mail: celiosa@ufba.br

²Doutor em Administração UFRGS e CEO da Ecofinance Negócios. E-mail:

eduardo@grupoecofinance.com.br

Sumário Executivo

O processo acelerado de urbanização nos últimos 60 anos é uma das principais forças motrizes que têm impactado negativamente a qualidade ambiental no Brasil. As cidades são atores-chave no enfrentamento à tríplice crise global (crise climática, perda de biodiversidade e poluição), pois é na escala local que são implementadas as iniciativas de enfrentamento às mudanças climáticas. Entretanto, nossas cidades, principalmente as grandes metrópoles, são consideradas despreparadas e vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas.

Os impactos climáticos afetam de forma desigual cada grupo social. Comunidades urbanas de baixa renda situadas em áreas de risco são particularmente mais vulneráveis. Dentre os principais impactos climáticos nas cidades estão: alagamentos, enxurradas e inundações; deslizamento de terra; vetores de arboviroses; aumento de temperatura e ondas de calor; secas; e erosão por elevação do nível mar para cidades costeiras.

Os planos locais de ação climática são respostas adotadas pelas cidades para o enfrentamento da crise climática. Para ajudar as cidades a elaborarem seus planos de ação climática diversas iniciativas foram desenvolvidas nos últimos anos, nas escalas global, nacional e subnacionais. Apesar do avanço dessas iniciativas de apoio, poucas cidades no Brasil elaboraram e divulgaram

seus inventários e relatórios de emissões de GEE, fizeram análise de riscos e vulnerabilidade climática e têm planos de ação climática. A maioria das capitais que possuem planos de ação climática estão localizadas nas regiões Nordeste e Sudeste.

Poucas cidades brasileiras incorporam indicadores de justiça climática em seus planos de ação climática na busca por mais equidade e inclusão social. Esse pouco progresso sugere que existe ainda uma baixa priorização política por parte dos gestores públicos locais, fazendo com que a agenda climática ainda não seja uma prioridade. A incorporação de indicadores de justiça climática nas políticas municipais, devem ser preferencialmente cocriados com a população para refletir às realidades dos espaços urbanos.

Os planos de ação climática das cidades normalmente propõem medidas voltadas para a mitigação e adaptação das emissões de GEE. Geralmente propõe ações via descarbonização dos setores de transporte e mobilidade urbana, resíduos e saneamento, e energia estacionária e estratégia de compensação das emissões residuais para alcançar as metas de redução e/ou neutralidade de carbono até 2050. Já as ações de adaptação são priorizadas tendo como base os resultados da análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e têm como objetivo melhorar a capacidade de resposta das cidades em antecipar, prevenir, absorver

se recuperar de choques e estresses extremos.

Existem muitos desafios na elaboração e implementação dos planos. Entre os principais desafios podemos citar: i) baixa institucionalização dos planos; ii) falta de incorporação nos planos de indicadores de monitoramento da implementação e avaliação, notadamente quanto ao princípio da justiça climática; iii) limitação de capacidade técnica e institucional, e acesso restrito a financiamentos, principalmente das cidades de pequeno e médio portes; iv) baixo número de formulação de planos em regiões metropolitanas; v) governança climática multinível limitada e restrições de poder e autonomia para agir em setores críticos ao combate das mudanças climáticas. Já as principais forças motrizes são: i) comprometimento da liderança

climática local; ii) associação do governo local às Redes Transnacionais de Cidades (RTC); iii) contexto político e arcabouço legal de apoio ao enfrentamento da crise climática na escala local; iv) exposição e vulnerabilidade do espaço urbano aos riscos climáticos.

As perspectivas são positivas para um aumento, até 2035, do número de cidades brasileiras que priorizam a agenda climática. Fatores que podem impulsionar a agenda climática urbana são: i) o avanço da agenda nacional de sustentabilidade e mudança do clima, com a implementação eficaz de iniciativas, dentre outras, do Programa Cidades Verdes Resilientes, Adapta Cidades e Plano Clima; ii) a realização em 2025 da COP 30 em Belém-PA, oportunidade para as cidades serem incluídas nas negociações climáticas globais e mostrarem os avanços e desafios das suas agendas climáticas.

Introdução

Até 2050, as cidades abrigarão 66% da população mundial. Em 1995, existiam no mundo apenas 22 grandes cidades (5 a 10 milhões de habitantes) e 14 megacidades (10 milhões ou mais habitantes). Já em 2018, chegou-se a 33 megacidades, com projeções que podem chegar a 43 até 2030 (UNDESA, 2019). O Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos prevê que até 2030, as cidades abrigarão 57% da população mundial, podendo chegar até 66% em 2050. Esse processo acelerado de urbanização nos últimos 60 anos é uma das principais forças motrizes que tem impactado negativamente a qualidade ambiental das cidades no Brasil. Porém, elas devem ser parte da solução, como atores chave para responder à tríplice crise global, ou seja, aos três principais problemas interconectados e interdependentes que a humanidade enfrenta atualmente: crise climática, perda de biodiversidade e poluição (UN-Habitat, 2021, 2023).

No Brasil, as cidades também passaram por um processo de rápida urbanização ao longo do século XX e início do século XXI. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023a), a taxa de urbanização do país evoluiu significativamente nas últimas décadas: enquanto que em 1940, apenas 31,3% da população vivia em áreas urbanas, nos anos 60, a população urbana ultrapassou a população rural, e em 2022, essa taxa atingiu 87,4%. Além do aumento da população urbana, houve também uma expansão significativa das áreas urbanizadas. Entre 2015 e 2019, as áreas urbanizadas no Brasil cresceram 19%, concentrando-se principalmente na faixa litorânea do Nordeste, Sudeste e Sul.

A previsão é que mais de 91% da população brasileira viverão em cidades até 2050. Com esse crescimento da taxa de urbanização, até 2050, ter-se-á alteração na cobertura vegetal urbana, devido à necessidade de novas infraestruturas e edificações, provocando, por exemplo, o aumento da temperatura e criação de ilhas de calor (UN-Habitat, 2019). Em termos

mundiais, as cidades emitem 75% da geração antropogênica de gases do efeito estufa (GEE) devido ao uso de energia (Bai et al, 2018). Isso faz com que o processo de urbanização esteja intrinsecamente ligado ao fenômeno das mudanças climáticas: (1) as cidades impactam a crise climática e (2) a crise climática impacta as cidades (Braga, 2012).

Além do aumento da temperatura e das ondas de calor, os principais riscos climáticos nas cidades são: secas, inundações e alagamentos e aumento nível do mar (cidades costeiras). No Brasil, as cidades já estão vivenciando esses impactos causados pela crise climática devido ao aumento da frequência e magnitude dos eventos extremos. Segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil, entre 1991-2022, os desastres atingiram 89% dos municípios brasileiros, notadamente cidades de regiões metropolitanas, causando perdas estimadas em R\$ 132 bilhões (Brasil, 2024a).

Dados publicados no Primeiro Relatório Bial de Transparência do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, mostram que algumas cidades localizadas principalmente no Nordeste, atingiram um aumento de 3°C na temperatura média, as ondas de calor passaram de 7 para 52 dias entre 2011-2020, e as secas passaram de 80 para 100 dias consecutivos sem chuva nos últimos 60 anos (Brasil, 2024c).

O CEMADEN (2024), contabilizou somente em 2023, 1.346 inundações, enxurradas, alagamentos, causadas por chuvas extremas, levando a deslizamentos de terra e erosões, sendo que 81% ocorreu nas regiões Sudeste e Sul. Marengo et al (2020) já havia alertado para o aumento da frequência de chuvas extremas identificadas em muitas cidades brasileiras. Na cidade de São Paulo, por exemplo, praticamente não houve dias com precipitação >50 mm durante a década de 1950, mas entre 1960 e 1980 foram registradas três incidências de precipitação de 100 mm ou mais e oito incidências foram registradas entre 2000 e 2018.

Dados de 2024 mostram que chuvas intensificadas pelas mudanças climáticas, somadas à falta de prevenção e preparação

para enfrentar desastres, resultaram em 251 mortes no Brasil - a grande maioria (183) no Rio Grande do Sul, quando em maio 2024, 478 municípios e mais de 2 milhões de habitantes foram afetados pelas inundações, levando a um impacto negativo significativo no PIB (Brasil, 2024b).

Muitas das 443 cidades costeiras brasileiras, que abrigam 60% da população urbana do país, têm sofrido os impactos do avanço do mar e erosão. As mudanças climáticas e seus riscos, incluindo a elevação do nível do mar e o aumento de deslizamentos de terra em cidades costeiras, como em Santos-SP, por exemplo, agravam ainda mais essas vulnerabilidades existentes, causando impactos socioeconômicos e logísticos e representam desafios políticos (Nunes et al., 2019).

Os impactos decorrentes das ameaças climáticas afetam de forma desigual cada grupo social. Comunidades urbanas de baixa renda situadas em áreas de risco, ocupadas informalmente, são particularmente vulneráveis. O processo de urbanização acelerada, sem planejamento urbano, infraestrutura, serviços públicos e políticas habitacionais adequadas, fez crescer o número de assentamentos à margem das legislações municipais e sem os recursos mínimos necessários para a habitabilidade. Abramo (2007) destaca que a informalidade dos espaços urbanos na América Latina é percebida desde a colonização, porém a urbanização acelerada do século XX tem papel determinante na expansão das cidades informais, evidenciada em muitas cidades do Sul Global. O Brasil tem mais de 12 mil favelas e comunidades urbanas, caracterizadas por alta desigualdade socioeconômica, onde vivem 8% da população total do país, grande parte ocupando áreas de risco. Dados mostram que a expansão das áreas de risco tem sido maior nas favelas e comunidades urbanas, o que, por sua vez, exacerba os impactos sociais das mudanças climáticas (Góes et al., 2021; MAPBIOMAS, 2023).

As cidades são cada vez mais reconhecidas como atores estratégicos na governança climática global, pois é na escala local que são implementadas as políticas de

enfrentamento às mudanças climáticas. Apesar de existirem políticas global e nacionais para lidarem com as mudanças climáticas, o papel dos entes subnacionais é chave e não deve ser negligenciado, principalmente quando se trata de reduzir os impactos da crise climática para as comunidades urbanas mais vulneráveis, rumo a cidades mais resilientes, justas e de baixo carbono (Jurado e Gonçalves, 2020).

Assim, a Figura 7.1 adota a abordagem DPSIR — Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas para ilustrar como os fatores impulsionadores relacionados com a expansão urbana e crise climática impactam a qualidade ambiental das cidades:

Figura 7.1 - O Impacto das Forças Motrizes de Qualidade Ambiental nas Cidades



Fonte: Adaptada de UN-Habitat (2021).

Isto posto, este estudo traça um panorama de como as cidades brasileiras têm enfrentado a crise ambiental da mudança do clima, discute os desafios à implementação das agendas climáticas locais e as perspectivas para tornar nossas cidades mais sustentáveis, justas e resilientes.

Cidades no enfrentamento da crise ambiental climática

Apesar do seu papel chave na governança climática global, a maioria dos estudos que examinam o enfrentamento das cidades à crise ambiental das mudanças climáticas foram conduzidos no Norte Global. No entanto, as estratégias utilizadas pelos governos locais para responder à essa crise podem diferir entre o Norte Global e o Sul Global, especialmente considerando que não há um caminho único para alcançar cidades mais sustentáveis, resilientes e de baixo carbono (Sapiains et al., 2020).

Os planos locais de ação climática, propondo medidas tanto de mitigação como de adaptação, são elaborados pelas cidades para responderem à crise climática. Enquanto as ações de mitigação são direcionadas para atacar as causas raiz das mudanças climáticas e reduzir as fontes de emissão de GEE, as ações de adaptação visam reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos locais aos potenciais impactos causados pelas mudanças climáticas (IPCC, 2014). Logo, se por um lado, as cidades devem implementar ações de mitigação, mediante a descarbonização de setores críticos, para evitar maior frequência e gravidade de eventos climáticos extremos. Por outro lado, a implementação de ações de adaptação é inevitável e urgente devido às emissões passadas de GEE e ao aumento dos riscos climáticos devido a insuficiência das ações de mitigação (Osório, 2024). Assim, além do desafio da integração das agendas de mitigação e adaptação, os planos locais de ação climática precisam estabelecer nexos com a tríplice crise global. Ou seja, as ações propostas por esses planos para enfrentar a crise climática devem, quando possível, apresentar cobenefícios para a proteção da biodiversidade e redução da poluição (PNUMA, 2021).

Entretanto, ao mesmo tempo em que a instância local é a mais privilegiada para lidar com a questão climática, uma vez que

os impactos se manifestam no território, é nessa esfera também que existem as maiores dificuldades para a elaboração e implementação de planos de ação climática (Loura et al, 2022). Buscando superar essas dificuldades, as cidades têm se associado às Redes Transnacionais de Cidades (RTC). Resultados de pesquisas mostram que as cidades-membro dessas redes têm mais probabilidade de ter iniciado a agenda de adaptação do que cidades não-membro. E que ser membro de duas ou mais RTC está associado a níveis mais altos de planejamento de adaptação. Além disso, cidades em países mais ricos têm mais probabilidade de estar mais avançadas em ações de adaptação do que cidades localizadas em países periféricos (Heikkinen et al., 2020). Nessa mesma direção, Santos e Puppim de Oliveira (2024) mostraram que municípios brasileiros mais populosos e com maiores índices de educação têm maior probabilidade de desenvolver planos de adaptação às mudanças climáticas. Esses pesquisadores constataram também que não apenas a associação a uma RTC é importante, mas que o período em que a cidade mantém parceria com essa rede influencia no planejamento para a adaptação.

Para compartilhar conhecimento com outras cidades do mundo, promover a capacitação e ter apoio técnico e financeiro na elaboração de planos de ação climática, os governos locais têm participado de RTC, tais como: Internacional Council for Local Environmental Initiatives - Local Governments for Sustainability (ICLEI), Carbon Disclosure Project (CDP), Cities Climate Leadership Group (C40), Global Covenant of Mayors for Climate and Energy (GCoM), Resilient Cities Network (R-Cities), etc. (Barbi e Macedo, 2019; Perpétuo, 2024).

Convém ressaltar que a campanha internacional do ICLEI, Cidades pela Proteção ao Clima (*Cities for Climate Protection*) - CCP, criada em 1993, é considerada um marco importante da ação climática local. Lançada na América Latina em 1998, em um contexto marcado pela celebração do Protocolo de Quioto, a CCP, congregou cidades do México, Argentina, Chile, Colômbia e Brasil. Assim, essa pioneira campanha forneceu a base para a realização dos primeiros inventários de GEE e planos de ação climática de cidades

brasileiras, incluindo algumas capitais, como por exemplo, São Paulo, Porto Alegre, Palmas e Goiânia (ICLEI, 2010).

Outra importante iniciativa global de apoio às agendas climáticas locais é a campanha “Construindo Cidades Resilientes”. Iniciada em 2010, e desde 2020 intitulada “MCR 2030”, essa iniciativa é liderada pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (*the United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNDRR*) visa orientar os governos locais no planejamento da resiliência e na tomada de decisões rumo à cidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis até 2030. Deste modo, a MCR 2030 contribui diretamente para o cumprimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11 (ODS11), o “ODS das cidades”, fomentando o desenvolvimento de cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, e outras políticas globais, incluindo o Acordo de Paris, o Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres (iniciativa global firmada em 2015 que busca fortalecer a resiliência das comunidades frente aos desastres, alinhada aos ODS 15 - resiliência a desastres- e ODS 13 - ação climática), e a Nova Agenda Urbana (iniciativa lançada em 2016 e coordenada pela ONU-Habitat que reconhece as cidades como protagonistas do desenvolvimento sustentável e destaca a importância de políticas urbanas integradas). Entre as principais RTC parceiras da MCR2030, incluem-se: *C40 Cities*; *ICLEI*; *R-Cities*; *United Cities and Local Governments (UCLG)* (Souza et al., 2024).

Dentre outras iniciativas globais mais recentes, merecem destaque:

i) *Race to Zero* e *Race to Resilience*, duas campanhas globais que foram lançadas em 2020, no caminho preparatório para a COP 26, realizada em Glasgow (2021), com o objetivo de catalisar a ação climática por outros atores, para além dos governos federais, como empresas e governos subnacionais, dentre eles, os governos locais, e criar um mundo mais sustentável, justo, resiliente e com zero emissões líquidas de GEE até 2030. Enquanto que a *Race to Zero* conta com a adesão de mais de 1.000 governos locais ao redor do

mundo, a *Race to Resilience* agrega um pouco mais de 600 cidades signatárias, sinalizando a priorização histórica dada a agenda de mitigação em relação à adaptação (Perpétuo, 2024);

ii) A *SURGe (Sustainable Urban Resilience for the Next Generation)*, iniciativa lançada pela presidência da COP27, realizada no Egito em 2022, em colaboração com o UN-Habitat e ICLEI. Seu objetivo é acelerar a ação climática local por meio de uma governança multinível, conectando os níveis local, nacional e global para alcançar metas climáticas globais estabelecidas pelo Acordo de Paris e pelos ODS. A iniciativa concentra-se em cinco setores principais (edificações e habitação, energia urbana, resíduos e consumo, mobilidade urbana e água/saneamento urbano) e conta com mais de quarenta governos locais ao redor do mundo, entre eles, a cidade de São Paulo, que assinou a “*Call to Action*” da SURGe durante a COP27, para demonstrar seu compromisso com a resiliência urbana e a ação climática (ICLEI, 2024);

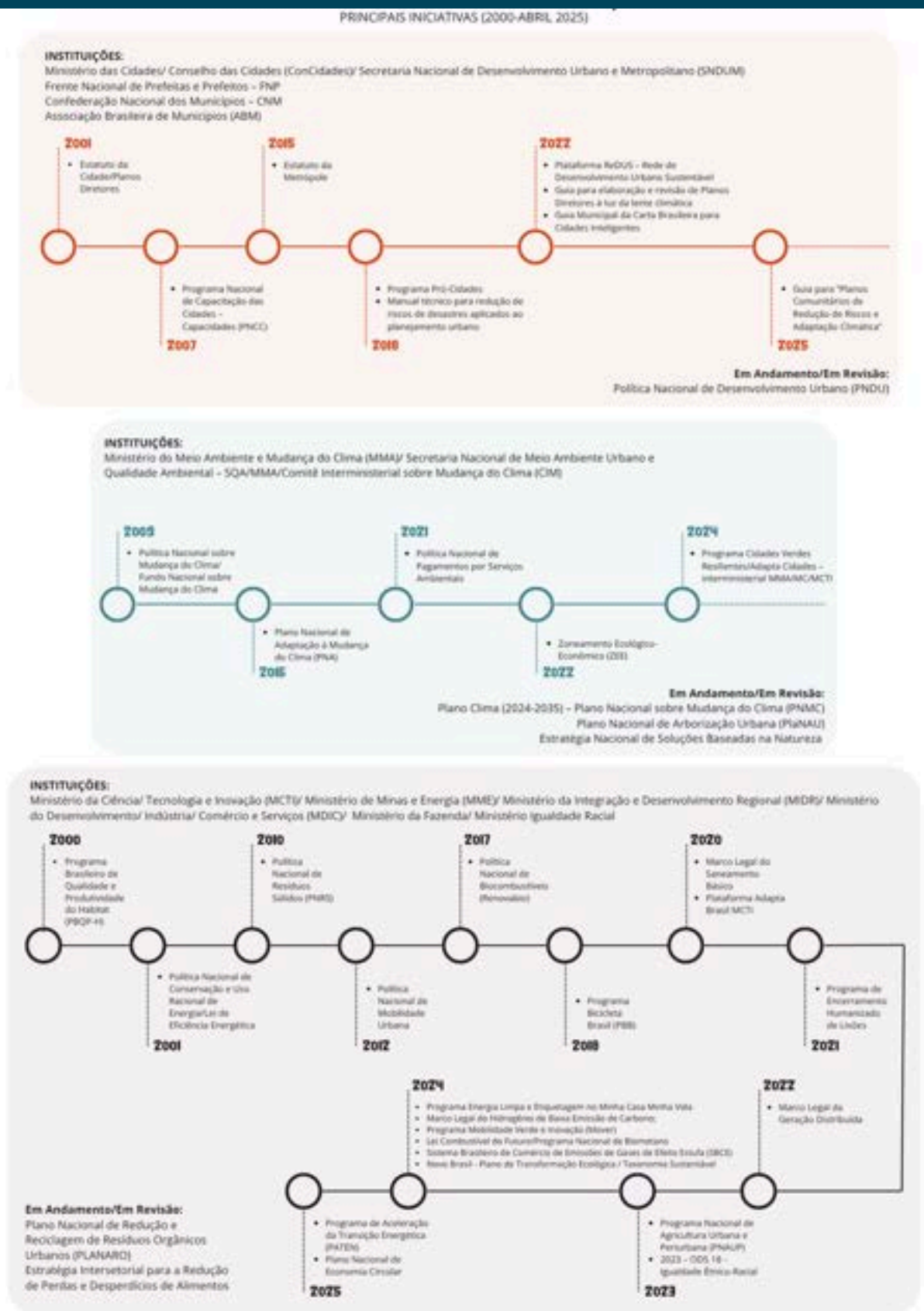
iii) Coalização para Parcerias Multiníveis de Alta Ambição para a Ação Climática (CHAMP) lançada durante a COP28, realizada em Dubai em 2023, com o objetivo de fortalecer a cooperação entre governos nacionais e subnacionais no planejamento, financiamento, implementação e monitoramento de políticas climáticas e promover a governança multinível para maximizar os resultados das ações climáticas. O Brasil aderiu à CHAMP em junho de 2024 e atualmente faz parte de um grupo de 75 países que se comprometeram a integrar seus governos subnacionais nas estratégias climáticas nacionais, promovendo uma abordagem colaborativa e inclusiva na luta contra as mudanças climáticas e reconhecendo o papel fundamental das cidades na implementação de ações mais eficazes na rota por espaços urbanos mais sustentáveis e resilientes (C40, 2025).

Além dessas iniciativas e redes de apoio internacionais, as cidades contam também com o suporte da agenda de sustentabilidade nacional, formado por legislações, políticas públicas, programas e projetos de diversos ministérios do governo federal, dentre eles o Ministério das Cidades, criado em 2003, e demais instituições, que em linha com as políticas e iniciativas globais, buscam

responder aos desafios interconectados impostos pela tríplice crise global, visando melhorar a qualidade ambiental do ambiente

urbano no Brasil e tornar as cidades mais sustentáveis e resilientes (ver Figura 7.2):

Figura 7.2 - Agenda Nacional de Sustentabilidade e Mudança do Clima



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Brasil (2025a) e sites oficiais de ministérios federais e demais instituições.

Portanto, a Figura 7.2 mostra a linha do tempo com as principais iniciativas institucionais, entre 2000 e abril 2025, que compõe a agenda nacional de sustentabilidade e mudança do clima, formada por um conjunto de políticas, planos, programas, projetos e estudos dentro da perspectiva socioambiental, em convergência aos acordos e tratados

internacionais, que incentivam o protagonismo das cidades na melhoria da qualidade ambiental e promoção de soluções integradas que estabeleçam o nexo entre mudança do clima, proteção da biodiversidade e poluição no enfrentamento à tríplice crise global, como por exemplo o Programa Cidades Verdes Resilientes (PCVR), ilustrado no Quadro 7.1:

Quadro 7.1- Programa Cidades Verdes Resilientes (PCVR)

Alinhado com a Coalizão CHAMP, iniciativa global para maior envolvimento das cidades no enfrentamento à mudança do clima, da qual o Brasil é signatário desde seu lançamento, em 2023, o Programa Cidades Verdes Resilientes (PCVR), instituído pelo Decreto nº 12.041 de 5 de junho de 2024, tem por objetivo aumentar a qualidade ambiental e a resiliência das cidades brasileiras através do enfrentamento da falta de ações coordenadas entre os entes federativos e o direcionamento inadequado de recursos. Para isso, adota uma abordagem integrada no território, contemplando temáticas como: infraestrutura verde e soluções baseadas na natureza, mobilidade urbana sustentável, gestão de resíduos sólidos, eficiência energética e energias renováveis, gestão de recursos hídricos, planejamento urbano e uso do solo. No âmbito do PCVR, foi lançada, em fevereiro de 2025, a iniciativa Adapta Cidades que busca apoiar os 27 estados e 576 municípios com recursos técnicos e financeiros para o desenvolvimento de planos locais e regionais de adaptação às mudanças climáticas com foco nas comunidades mais vulneráveis. A governança do PCVR é feita por um comitê gestor interinstitucional instituído pela Portaria Interministerial MMA/MCTI/MCID N°1283, de 10 de janeiro de 2025.

Em março 2025, na primeira fase do PCVR foram selecionadas 50 cidades, considerando critérios como diversidade regional, tamanho populacional e vulnerabilidade climática. Dentre as cidades selecionadas, somente 8 são capitais: Rio Branco - AC, Manaus - AM, Fortaleza - CE, Goiânia - GO, Cuiabá - MT, Campo Grande - MS, Rio de Janeiro - RJ e Porto Alegre - RS. Cada cidade selecionada irá receber capacitação técnica visando desenvolver duas ações climáticas de alto impacto (uma voltada à mitigação e outra focada na adaptação), visando estruturar 100 ações climáticas no nível local que tenham alto impacto no fortalecimento da resiliência urbana e redução das emissões de GEE.

O financiamento do PCVR conta com R\$ 1,6 bilhão anuais do programa Pró-Cidades e R\$ 10 bilhões provenientes do Fundo Clima. Além disso, está previsto o lançamento do Edital Periferia Verde Resiliente, com aporte de R\$ 25 milhões em recursos não reembolsáveis destinados a iniciativas da sociedade civil. O programa também é apoiado por diversas organizações nacionais e internacionais, como o *C40 Cities Climate Leadership Group*, o Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia (GCOM), o WRI Brasil, o ICLEI etc.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Brasil (2025b) e C40 (2025).

Entre os 11 Estados que aderiram, até fevereiro de 2025, à iniciativa “AdaptaCidades”, parte integrante do “Programa Cidades Verdes Resilientes (PCVR)” está o Ceará, que além de Fortaleza (ver Quadro 7.1), conta com mais cinco cidades com alto índice de risco

climático no referido programa (Ceará, 2025). Convém ressaltar que também no âmbito do PCVR está sendo construído pelo MMA, em parceria com o ICLEI (2025), o Programa Nacional de Arborização Urbana (PlaNAU) - ver Figura 7.2. Essa iniciativa visa diminuir o déficit de áreas verdes e ampliar o acesso da

população à arborização nas cidades, promover a biodiversidade urbana, os serviços ecossistêmicos, com benefícios ao enfrentamento à crise climática, à poluição do ar e à qualidade de vida.

Assim, além dessas iniciativas públicas nacionais, diversas outras iniciativas governamentais estaduais, buscam também incentivar os municípios a desenvolverem e implementarem ações climáticas locais, nos mais diversos segmentos, dentre esses:

- * “Programa Município Verde Azul” (Resolução SMA 33/2018) que visa estimular e capacitar as prefeituras paulistas na elaboração e execução de suas políticas públicas estratégicas para melhoria da qualidade ambiental. Os municípios paulistas são avaliados com base em dez diretivas: município sustentável, estrutura e educação ambiental, conselho ambiental, biodiversidade, gestão das águas, qualidade do ar, uso do solo, arborização urbana, esgoto tratado e resíduos sólidos. Cada diretiva estabelece critérios mínimos para que o município pontue no Índice de Avaliação Ambiental (IAA), resultando em um ranking ambiental paulista, divulgado anualmente e utilizado como referência para recebimento de financiamento do programa. Destaca-se também o
- * “Programa Município Resiliente” (Decreto nº 64.659/2019), que, em linha com a campanha “MCR 2030”, liderada pelo UNDRR, tem como objetivo estimular os municípios paulistas a adotarem políticas de redução de riscos de desastres e elaborarem planos municipais de adaptação e resiliência (São Paulo, 2025 a,b).
- * “Projeto Rio Inclusivo e Sustentável”, lançado em 2024 em parceria com a ONU-Habitat, tem como objetivo qualificar os gestores e a sociedade em geral visando o desenvolvimento de planos de ação de resiliência urbana e climática nos municípios fluminenses e o fortalecimento das metas da Agenda 2030 e os princípios da Nova Agenda Urbana em todo o território do Estado do Rio de Janeiro (ReDUS, 2024).

* “Programa ICMS Ecológico”, existente em pelo menos 18 Estados brasileiros, teve início no Paraná que há 33 anos aplica esse incentivo econômico com o propósito de fomentar a proteção da biodiversidade em Unidades de Conservação e mananciais hídricos de abastecimento público, contribuindo tanto para reduzir a perda de biodiversidade como também para a crise climática. Até 2024, 59% dos municípios paranaenses recebiam esse benefício, o que corresponde a 5% do total do ICMS arrecado pelo Estado (Paraná, 2025).

* “Projeto Bolsa Reciclagem”, criado em 2011, pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais (SEMAD), o projeto é considerado pioneiro no país na remuneração de serviços ambientais prestados por associações e cooperativas de catadores, reduzindo a exploração de recursos naturais pela reintrodução de resíduos nas cadeias produtivas, e contribuindo para inclusão social, redução das emissões GEE, e economia circular. Outras iniciativas do governo estadual mineiro nessa direção, estão: i) repasse de recursos através do “ICMS Ecológico” àqueles municípios que possuem sistema de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos e de esgoto sanitário, que atenda, respectivamente, a pelo menos 70% e 50% da população urbana, dentre outros critérios; ii) apoio técnico e capacitação de municípios, através parceria com o Instituto de Gestão de Políticas Sociais (GESOIS), uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP), para construção e operação de centros de triagem, compostagem e aterros sanitários, criação e gestão de cooperativas e associações e, formação de consórcios públicos; iii) parceria com o Ministério Público Estadual, para orientação aos municípios sobre a correta gestão dos resíduos sólidos urbanos (Minas Gerais, 2025; Paes, Bellezoni e Puppim de Oliveira, 2021).

✱ “Projeto Pernambuco Fortalecendo Capacidades Locais para a Ação Climática”, em parceria com o ICLEI e financiamento do Future Fund do Under 2 Coalition, desenvolveu uma plataforma digital (Clima PE), destinada a engajar, capacitar e incentivar a ação climática em nível local e promover uma maior articulação entre os entes federativos para fomentar a implementação de políticas urbanas de baixo carbono e resiliência mais inclusivas. A plataforma já conta com a participação de 62% dos municípios de Pernambuco (2025).

Adicionalmente, para além dessas iniciativas públicas governamentais, as cidades brasileiras contam também com programas liderados por organizações da sociedade civil, como por exemplo, o Programa Cidades Sustentáveis (PCS) e o “Projeto Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) Municípios”.

Lançado em 2011, e coordenado pelo Instituto Cidades Sustentáveis, como o apoio do Instituto Ethos, o PCS apoia municípios brasileiros na implementação de políticas públicas alinhadas aos ODS. Para tal, o programa oferece às cidades: i) Plataforma com indicadores e boas práticas para promover o desenvolvimento urbano sustentável, integrando as dimensões social, ambiental, econômica, política e cultural; ii) Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR) que avalia o desempenho dos municípios brasileiros em relação aos ODS, permitindo uma visão integrada dos avanços e desafios locais; iii) Formação e capacitação mediante a oferta de cursos e treinamentos para gestores públicos e técnicos municipais; e iv) Prêmio cidades sustentáveis para reconhecer municípios com iniciativas destacadas em sustentabilidade urbana (Instituto Cidades Sustentáveis, 2025).

Já o “Projeto SEEG Municípios” é um módulo da plataforma online SEEG do Observatório do Clima, uma rede de organizações da sociedade civil. Lançado em 2021, esse projeto tem como objetivo fornecer estimativas de emissões de GEE a nível local para os 5.570 municípios brasileiros, a partir da desagregação das

emissões nacionais feita com base nos dados de setores como agropecuária, energia, mudança de uso da terra, processos industriais e resíduos. De fácil acesso, a SEEG, que já fornecia estimativas de emissões de GEE nas escalas nacional e estadual, desde 2021 passou a ajudar também os municípios a conhecer melhor suas emissões e a planejar ações e propor soluções de mitigação, mesmo sem a necessidade de elaborar um inventário específico (Souza Leão et al. 2022; SEEG, 2025).

Estado atual das agendas urbanas no enfrentamento da crise ambiental climática

Apesar do avanço nos últimos anos das iniciativas institucionais pró-sustentabilidade, nas escalas global, nacional, estadual e setorial, apenas poucas cidades no Brasil elaboraram e divulgaram seus inventários e relatórios de emissões de GEE, fizeram análise de riscos e vulnerabilidade climática e têm planos de ação às mudanças climáticas.

Isso sugere que existe ainda uma baixa priorização política por parte dos gestores públicos locais, que muitas vezes se concentram em demandas de curtíssimo prazo, fazendo com que a agenda de qualidade ambiental e mudança do clima ainda não seja uma prioridade.

Até 2018/2019, havia apenas 17 cidades brasileiras (sendo 12 capitais) e 1 região do ABC Paulista (formada por 7 cidades que fazem parte da região metropolitana de São Paulo) filiadas ao ICLEI e CDP com inventários e relatórios de emissões de GEE publicados, totalizando 24 cidades. Dessas, apenas 4 capitais (Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Fortaleza e Recife) e a região do ABC Paulista tinham planos de ação climática (Baltar de Souza Leão et al., 2020). Até junho de 2024, somente 11 capitais

brasileiras tinham publicado planos de ação à crise climática, em sua grande maioria,

elaborados com o apoio do ICLEI/Waycarbon, conforme mostrado na Figura 7.3:

Figura 7.3 - Planos de Ação Climática e Inventários de Emissões das Capitais Brasileiras (até junho 2024)

	PLANO LOCAL DE AÇÃO CLIMÁTICA DE BELO HORIZONTE (MG) - 2022 Elaborado por: Waycarbon Publicado em: 6º Inventário Municipal De Emissões De GEE (2023) Período inventariado: 2009-2021 Responsável Técnico: ICLEI
	PLANO MUNICIPAL DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (CURITIBA) - 2020 Elaborado por: Prefeitura Municipal de Curitiba Publicado em: Inventário De Emissões De Gases De Efeito Estufa Da Cidade De Curitiba (2019) Período inventariado: 2016 Responsável Técnico: Waycarbon e ICLEI
	PLANO DE ENFRENTAMENTO DOS IMPACTOS ADVERSOS DA MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA PARA REDUZIR AS VULNERABILIDADES E AMPLIAR A ADAPTAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL; PLANO DE MITIGAÇÃO PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE DAS PRINCIPAIS FONTES EMISSORAS NO TERRITÓRIO DO DISTRITO FEDERAL - 2021 Elaborado por: Governo do Distrito Federal Publicado em: Inventário Do Distrito Federal De Emissões De GEE (2021) Período inventariado: 2005-2018 Responsável Técnico: Governo do Distrito Federal
	PLANO LOCAL DE AÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DE FORTALEZA - 2020 Elaborado por: ICLEI Publicado em: 4º Inventário De Emissões De Gases Do Efeito Estufa (2021) Período inventariado: 2018 Responsável Técnico: Prefeitura de Fortaleza
	PLANO DE AÇÃO CLIMÁTICA DE JOÃO PESSOA - 2023 Elaborado por: Waycarbon e ICLEI Publicado em: Inventário De Gases De Efeito Estufa E Pegada Hídrica De João Pessoa (2022) Período inventariado: 2011-2020 Responsável Técnico: Waycarbon e ICLEI
	PLANO LOCAL DE AÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DO RECIFE - 2020 Elaborado por: ICLEI Publicado em: 3º Inventário De Emissões De Gases De Efeito Estufa Período inventariado: 2016-2017 Responsável Técnico: ICLEI
	PLANO MUNICIPAL DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA DE RIO BRANCO - 2020 Elaborado por: IPAM; EMBRAPA e ICLEI Publicado em: 1º Inventário Das Emissões De Gases De Efeito Estufa Do Município De Rio Branco, Acre (2019) Período inventariado: 2012-2016 Responsável Técnico: EMBRAPA
	PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E AÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO - 2021 Elaborado por: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro Publicado em: Monitoramento Das Emissões De Gases De Efeito Estufa Da Cidade Do Rio De Janeiro (2021) Período inventariado: 2012-2019 Responsável Técnico: Instituto Pereira Passos
	PMAMC - PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA EM SALVADOR - 2020 Elaborado por: Waycarbon e ICLEI Publicado em: Inventário Das Emissões De Gases De Efeito Estufa (GEE) Do Município De Salvador (2020) Período inventariado: 2014-2018 Responsável Técnico: Waycarbon e ICLEI
	PLANO DE AÇÃO CLIMÁTICA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO 2020-2050 - 2020 Elaborado por: Prefeitura de São Paulo Publicado em: Inventário De Emissões E Remoções Antrópicas De Gases De Efeito Estufa Do Município De São Paulo (2022) Período inventariado: 2010-2018 Responsável Técnico: Prefeitura de São Paulo
	PLANO DE AÇÃO CLIMÁTICA TERESINA RUMO AO CARBONO NEUTRO - 2023 Elaborado por: Codex e I Care Publicado em: Plano De Ação Climática Teresina Rumo Ao Carbono Neutro Produto 2 - Inventário De Emissões De Gases De Efeito Estufa (2023) Período inventariado: 2018-2020 Responsável Técnico: Codex e I Care

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Goulart e Andrade (2024).

Convém salientar que Porto Alegre, apesar de ter publicado o seu primeiro inventário de GEE em 2013 (elaborado com o suporte do ICLEI por meio do projeto Urban Leds) e ter publicado sua estratégia de resiliência (elaborado com o suporte da R-Cities) em 2016, a implementação de sua agenda climática foi comprometida por descontinuidades políticas, fazendo com que

a cidade não alcançasse o objetivo de se tornar, até março de 2022, quando celebrou 250 anos, uma referência em resiliência urbana na América Latina (Silva et al, 2023). Deste modo, a capital dos Gaúchos somente publicou o seu plano de ação climática em novembro de 2024, após ter sofrido grandes impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelas inundações em maio de 2024 (ver Figura 7.4):

Figura 7.4 - Enchente em Porto Alegre - maio 2024



Fonte: Por Ricardo Stuckert – 05/05/2024 - <https://www.flickr.com/photos/lulaoficial/53700500641/>

Outra cidade que ficou de fora da Figura 7.3, foi Belém-PA que, muito em função da pressão exercida por ser sede da COP 30 em novembro de 2025, publicou o seu plano de ação climática em dezembro de 2024. Ambas capitais contaram com o apoio do ICLEI. Logo, considerando o corte temporal, até março 2025, apenas 13 capitais brasileiras possuíam planos de ação climática, sendo 5 nordestinas, 3 localizadas no Sudeste, 2 no Sul, 2 no Norte e 1 no Centro Oeste.

Embora nossas cidades, principalmente as grandes metrópoles, sejam consideradas despreparadas e vulneráveis aos impactos

das mudanças climáticas e possuir uma parcela significativa de sua população residindo em moradias precárias em áreas de risco climático, nota-se que nas capitais brasileiras normalmente a agenda de mitigação precedeu a agenda de adaptação. Por exemplo, em Recife, o inventário de emissões de GEE de Recife está na terceira edição (2015, 2017 e 2020), enquanto a análise de risco e vulnerabilidade climática e a estratégia de adaptação está na primeira edição (2019).

Apesar do primeiro plano de ação climática de 2016 já ter contido algumas ações de adaptação, apenas o segundo plano de

2020 propôs um conjunto de ações de adaptação e resiliência climática integradas a agenda de mitigação (Baltar de Souza Leão et al, 2021).

Isto posto, ainda que a agenda de mitigação seja mais proativa do que a de adaptação, não é surpreendente o fato da agenda de mitigação ter vindo primeiro do que a agenda de adaptação nas cidades brasileiras, visto que a adaptação ganhou destaque na agenda internacional de ação climática mais recentemente do que a mitigação, à medida que os impactos climáticos aumentam e a adaptação tem sido cada vez mais estudada e despertado o interesse público. Embora possível, é raro que a agenda de adaptação preceda a de mitigação (De Oliveira, 2009).

Ressalta-se, entretanto, que a melhor prática é a integração das ações de mitigação e adaptação em um único plano, como acontece com a maioria das capitais brasileiras que tem planos climáticos locais. O Distrito Federal é uma das exceções, pois apesar dos planos de mitigação e adaptação terem sido publicados no mesmo ano (2021), há pouca integração entre eles. A integração favorece a sinergia entre as agendas de adaptação e mitigação e o alcance de estratégias ganha-ganha/duplo dividendo. O exemplo de Curitiba mostra que ações de adaptação fundamentadas em Soluções baseadas na Natureza (SbN), como parques urbanos alagáveis, se bem estruturadas promovem cobenefícios tanto para mitigação/compensação de emissões de carbono, quanto para redução da perda de biodiversidade urbana e poluição do ar (Fundação Grupo Boticário, 2021).

Mitigação: inventários e ações de redução das emissões de GEE nos principais setores implicados

Como visto anteriormente, a maioria das capitais que possuem planos de ação climática estão localizadas nas regiões Nordeste e Sudeste. Por exemplo, na região Nordeste, destaca-se Salvador que apresenta o menor valor de emissões per capita (1,07 tCO₂e/hab.), enquanto que na região Sudeste, o destaque vai para a cidade do Rio de Janeiro, com um dos maiores índices de emissões per capita

entre as capitais, com 3,11 tCO₂e/hab. Comparado com outras cidades no mundo, as cidades brasileiras não estão posicionadas entre as cidades com as maiores emissões per capita de GEE. A faixa de emissões de GEE per capita de 167 cidades distribuídas globalmente é ampla (0,15–34,95 tCO₂e/capita). Nas capitais brasileiras, essas emissões variam entre 1,07 - 3,15 tCO₂e/capita e não há um descolamento entre PIB e emissões per capita. Logo, as capitais com maiores PIB per capita são as que apresentam também maiores emissões per capita, indicando a necessidade de descarbonização dos principais setores responsáveis pelas emissões de carbono fóssil nessas cidades (Wei, Wu e Chen 2021; Souza Leão et al. 2022).

A maior parte das cidades brasileiras que publicaram oficialmente seus inventários de emissões de GEE seguiram o Protocolo Global para Inventários de Emissões de GEE em Escala Comunitária (GPC) e apenas contabilizaram as emissões de três setores principais: energia estacionária, transporte e mobilidade urbana e resíduos e saneamento. Na maioria dos inventários publicados, as emissões referentes aos Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) e Agricultura, Silvicultura e Uso da Terra (AFOLU) não foram contabilizadas por não serem significativas ou por não existirem dados sobre esses setores (Baltar de Souza Leão et al, 2021).

No mundo, os setores de energia estacionária e transporte são os contribuintes mais significativos para as emissões de GEE no espaço urbano. Por exemplo, 80% das 108 cidades ao redor do mundo têm emissões de energia estacionária, representando mais de 50% das emissões totais. As emissões de GEE provenientes do setor de energia estacionária são tipicamente proeminentes (60–80%) em algumas cidades europeias, norte-americanas e chinesas. O setor de transporte rodoviário também é significativo para as emissões totais de GEE da maioria das cidades. Em cerca de um terço das 108 cidades no mundo, mais de 30% das emissões totais de GEE são provenientes do transporte rodoviário. Em contraste, em algumas cidades sul-americanas, as emissões provenientes do setor de energia estacionária

são proporcionalmente menores quando comparadas com as emissões do setor de transporte e mobilidade e até mesmo do setor de resíduos e saneamento (Wei, Wu e Chen 2021).

Em grandes cidades brasileiras, por exemplo, as emissões de GEE do setor de transporte e mobilidade urbana variam de 35% a 67%, enquanto as contribuições provenientes dos setores de resíduo e saneamento e energia estacionária são bem próximas, variando de 10% a 34%. A menor contribuição do setor de energia estacionária nas cidades brasileiras, quando comparadas com outras cidades ao redor do mundo, deve-se ao alto percentual de energia renovável na matriz energética no Brasil: 48,4% de toda a produção energética brasileira é derivada de fontes renováveis contra 14% na média mundial (Souza Leão et al. 2022; Goulart e Andrade, 2024).

Em Recife, por exemplo, 57%, 22% e 21% das emissões de GEE são dos setores de transporte e mobilidade urbana, resíduos e saneamento e energia estacionária, respectivamente. O transporte rodoviário contribui com 61,8% da emissão total do setor de transporte e mobilidade urbana. Esse fato evidencia o impacto do transporte e mobilidade urbana rodoviária nas emissões de GEE nas cidades brasileiras. O setor de resíduos e saneamento é a segunda fonte mais importante de emissão de GEE na capital pernambucana. O descarte e tratamento de resíduos sólidos contribui com 60% da emissão total desse setor e as águas

residuais com 40%. A energia elétrica consumida por edifícios residenciais e comerciais e o gás liquefeito de petróleo utilizado por edifícios residenciais desempenham um papel essencial na emissão de GEE do setor estacionário na cidade (Baltar de Souza Leão et al., 2021).

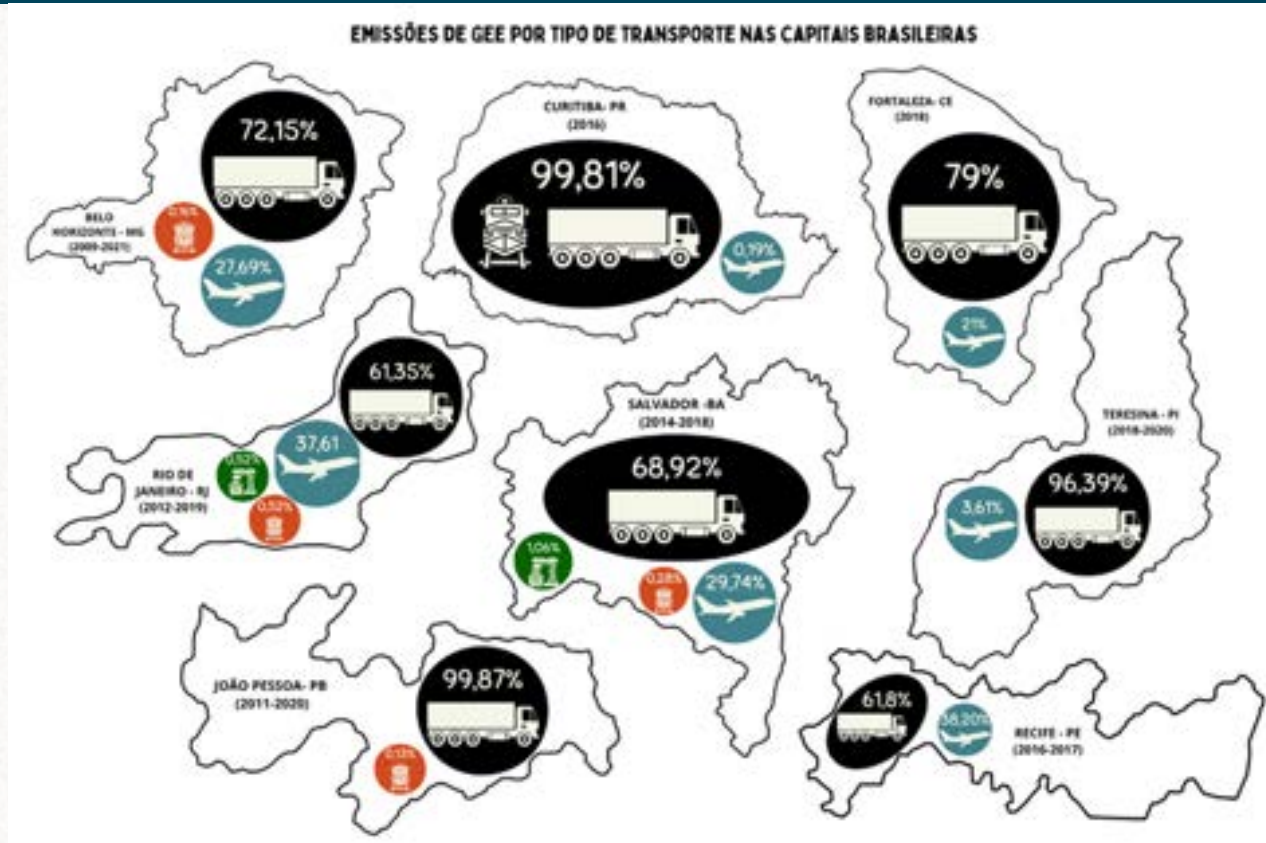
Assim, os planos de ação climática das cidades normalmente propõem medidas voltadas para a mitigação das emissões de GEE, via descarbonização desses três setores (transporte e mobilidade urbana, resíduos e saneamento, e energia estacionária) e estratégia de compensação das emissões residuais para alcançar as metas de redução e/ou neutralidade de carbono até 2050. Por exemplo, em Recife, as estratégias de compensação serão responsáveis por 48% das reduções de emissões de GEE da cidade para atingir a neutralidade de carbono até 2050 (ICLEI, 2020).

Transporte e Mobilidade Urbana

Ao se analisar as emissões de GEE das capitais brasileiras pelos setores incluídos nos seus planos de ação climática, não é surpreendente notar que o transporte seja o setor de maior emissão nessas cidades (35 a 67%), exercendo impactos negativos na qualidade do ar, na saúde pública e nas mudanças climáticas. A capital brasileira cujo transporte tem maior contribuição para as emissões totais de GEE é Curitiba com 66,6% (Goulart e Andrade, 2024).

A Figura 7.5, a seguir, mostra as emissões de GEE por tipo de transporte em algumas capitais brasileiras.

Figura 7.5 - Emissões de GEE por tipo de transporte nas capitais brasileiras



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Goulart e Andrade (2024).

Nota-se que o modal rodoviário é responsável pela grande parte das emissões do setor de transporte nas capitais estudadas, contribuindo fortemente para as emissões de carbono fóssil e consequentemente, para a poluição do ar no espaço urbano. A gasolina e o diesel são responsáveis em média por 45% e 33% dessas emissões, respectivamente. O segundo maior emissor é o modal aéreo, que pode representar até 38,20% das emissões do transporte urbano, como acontece, por exemplo, em Recife. Esse modal contribui para que o querosene de aviação seja responsável em média por mais de 16% das emissões fósseis nessas cidades. Outros modais como o ferroviário e o aquaviário/hidroviário são considerados pouco significativos e muitas vezes, negligenciados, por falta de dados, na contabilização das emissões de GEE em algumas cidades.

Responsável por grande parte das emissões de GEE no espaço urbano, principalmente nas grandes cidades, a eficácia da estratégia de mitigação no setor exige

normalmente iniciativas para redução da necessidade de deslocamentos longos e incentivos para que a população migre do transporte individual e mobilidade passiva para o transporte coletivo e mobilidade ativa. As principais ações mitigadoras propostas pelas cidades focam na: i) elaboração ou revisão do plano de mobilidade urbana; ii) racionalização da malha viária e semáforos visando reduzir o tempo de viagem, implantação de faixas exclusivas para Bus Rapid Transit (BRT) e incentivo ao uso do transporte público; iii) melhorias de calçadas para aumentar a acessibilidade, mobilidade e conforto de pedestres, e iv) melhorias na infraestrutura ciclovária e implantação de sistemas de compartilhamento de bicicletas; v) estímulos para a descarbonização (eletrificação e/ou uso de biocombustíveis) do transporte coletivo e da frota pública, incluindo a implantação de pontos de carregamento de veículos elétricos, visando promover um sistema de mobilidade urbana de baixa emissão de carbono fóssil.

Porém, convém ressaltar que além dessas ações, o maior percentual de etanol na

gasolina (de 20% em 2012 para 27% em 2017) e de biodiesel no diesel (de 5% para 8%) contribuem para a redução das emissões de GEE no setor de transporte e mobilidade urbana. Trata-se de uma política pública nacional, instituída em 2024, voltada ao transporte e mobilidade sustentável de baixo carbono, capitaneada pelo MME, denominada “Combustível do Futuro”, que estabelece novos percentuais mínimos e máximos para a mistura do etanol à gasolina C e do biodiesel ao diesel B, vendidos aos consumidores em postos do país. A nova composição da mistura de etanol à gasolina passará a ter uma margem entre 22% e 27%, podendo atingir até 35%, desde que comprovada a viabilidade técnica nos motores movidos exclusivamente a gasolina. Veículos “flex”, que correspondem à maior parte da frota nacional, podem ser

abastecidos tanto com etanol quanto com gasolina, em qualquer proporção.

Atualmente, o percentual vigente em todo país é de 27%, sendo o limite máximo legal limitado a 27,5% e, no mínimo, a 18% de etanol. No caso do biodiesel, misturado ao diesel de origem fóssil, o percentual atual é de 14%, podendo chegar a 20% em março de 2030. Caberá ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) avaliar a viabilidade das metas de aumento da mistura, podendo reduzir ou aumentar esse percentual entre os limites de 13% e 25%. No entanto, cabe ressaltar que a adoção de percentual obrigatório de mistura superior a 15% (quinze por cento) depende de constatação de viabilidade técnica (Brasil, 2024d).

O Quadro 7.2 ilustra as ações de mitigação no setor de transporte e mobilidade na cidade de Fortaleza - CE:

Quadro 7.2 - Boas Práticas de Transporte e Mobilidade Urbana em Fortaleza - CE

O setor de transporte em Fortaleza responde por 59% das emissões de GEE da cidade, enquanto o modal rodoviário contribui com 79% de todas as emissões desse setor provocadas por veículos automotores movidos por combustíveis fósseis. A gasolina e o diesel são responsáveis por 68% das emissões do setor de transporte na capital cearense. Para reduzir as emissões de GEE nesse setor, o governo local vem adotando algumas ações de mitigação, tais como:

1. Expansão da infraestrutura ciclovária: com o aumento da malha de ciclovias de 68 km em 2013 para mais de 500 km em 2025 e implantação em 2014 do programa de bicicletas compartilhadas denominado “Bicicletar”, envolvendo parceria público-privada, entre o governo local e as empresas Unimed e Serttel (ver Figura Q7.2). Com mais de 200 estações (incluindo 11 mini estações voltadas ao público infantil) e 400 mil usuários, com passe gratuito para detentores do bilhete único, o sistema já realizou mais de 7,6 milhões de viagens e impediu a emissão de mais de 3.107 toneladas de GEE na atmosfera, caso essas viagens tivessem sido feitas de carro.
2. Redução da velocidade nas vias urbanas: com a implantação de zonas de velocidade reduzida (30 km/h e 50 km/h) em várias avenidas visando redução de acidentes e emissões de carbono.
3. Transporte coletivo mais eficiente: com a criação de corredores exclusivos (sistema BRT) e faixas prioritárias de ônibus (que saltou de 3,3 Km em 2013 para 107,4 km em 2019) e adoção de monitoramento em tempo real da frota.
4. Intervenções de urbanismo tático e iniciativas de segurança viária para melhorar mobilidade ativa a pé: com a criação de áreas de trânsito calmo, transformação de cruzamentos perigosos em espaços seguros para pedestres, adesão à iniciativa internacional “Vision Zero”, que busca zerar mortes no trânsito, através de estratégias para prevenção de acidentes.
- 5 Campanhas de educação e engajamento: com a implantação de projetos educativos em escolas e ações de sensibilização no trânsito e envolvimento da população em decisões e projetos de mobilidade urbana.

Esse conjunto de ações recebeu reconhecimento internacional em 2019 com o Prêmio Internacional de Mobilidade Urbana Sustentável do Programa ONU-Habitat, por serem consideradas boas práticas em transporte e mobilidade, que contribuem para reduzir as emissões de GEE por meio da priorização de modais ativos e coletivos, de modo simples, replicável, de baixo custo e com impacto social.

Quadro 7.2 - Boas Práticas de Transporte e Mobilidade Urbana em Fortaleza - CE

Figura Q7.2 – “Bicicletar”: sistema de bicicletas compartilhadas em Fortaleza-CE



Foto: autor desconhecido. Fortaleza (2024)

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de UNIFOR (2019), Diário do Nordeste (2022) e Fortaleza (2024, 2025).

Resíduos e Saneamento

Segundo Pesquisa de Informações Básicas Municipais realizada pelo IBGE (2023b), 31,9% dos municípios brasileiros ainda despejam resíduos sólidos em lixões, prática não recomendada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) há 15 anos. Enquanto na região Norte, os lixões ainda são utilizados por 73,8% dos municípios, a Região Sul apresenta a menor taxa (5,7%). De acordo com a PNRS, os municípios com população superior a 50.001 habitantes deveriam implementar disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e dar fim aos lixões até agosto de 2023. Entretanto, 21,5% desses municípios ainda contam com lixões como unidade de disposição final dos resíduos sólidos. A presença de catadores informais foi registrada em 73% dos municípios com serviço de limpeza urbana, enquanto cooperativas de catadores atuavam em apenas 27% desses municípios. No entanto, em 2023, apenas 4% dos resíduos é reciclado a partir de dados do SNIS (Sistema

Nacional de Informações sobre Saneamento), contribuindo para a poluição atmosférica, hídrica e plástica. Com relação ao acesso a água e esgoto, dados mostram que, em 2023, 85,9% dos domicílios no Brasil tinha acesso à rede de água potável, enquanto apenas 62,5% é conectado à rede de coleta de esgoto, um aumento em relação a 2000 (44,4%) e 2010 (52,8%). A região Sudeste lidera com 86,2% da população atendida por coleta de esgoto, enquanto a região Norte apresenta a menor taxa, com apenas 22,8%, mostrando que as desigualdades regionais ainda persistem. Entretanto, segundo o SNIS, apenas 50,3% do volume de esgoto é efetivamente tratado (Instituto Trata Brasil, 2022; IBGE, 2023b; Agência IBGE, 2024; ABREMA, 2024).

Essa situação atual pode ser ilustrada pelo colapso, em junho 2025, do lixão Ouro Verde, situado em uma área de preservação ambiental no município de Padre Bernardo – GO, cidade localizada no entorno do Distrito Federal – DF, contaminando os recursos hídricos da região com o equivalente a pelo

menos 40 mil m³ de resíduos sólidos e chorume, além de causar impactos sociais e econômicos (ver Figura 7.6). Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), pelo menos três lixões

de capitais brasileiras - Goiânia (GO), Manaus (AM) e Teresina (PI) - podem gerar desastres ambientais, semelhante ao que ocorreu em Padre Bernardo – GO (Agência Brasil, 2025).

Figura 7.6 - Desmoronamento do lixão Ouro Verde em Padre Bernardo – Goiás



Fonte: SEMAD – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás – junho 2025

Diante desse panorama, e buscando o alinhamento com as políticas nacionais e estaduais de resíduos sólidos e saneamento básico, as ações referentes a esse setor nos planos climáticos locais geralmente focam em iniciativas voltadas à elaboração/revisão dos planos municipais de resíduos sólidos urbanos e saneamento, objetivando incentivar a disposição e tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos e fomento à economia circular para aumentar as baixas taxas de redução, reuso e reciclagem, além de aumento do acesso à coleta e tratamento de esgoto sanitário, principalmente nas comunidades urbanas mais vulneráveis. Entre essas ações, destaca-se:

- i) Incentivos para expansão da coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos e capacitação de cooperativas de catadores de materiais recicláveis;
- ii) Estímulos à produção de biogás, biometano e biofertilizantes a partir do tratamento de biodigestão anaeróbica de

resíduos sólidos orgânicos e esgotos domésticos. A captura e o aproveitamento energético do biogás gerado, seja para geração de eletricidade (mediante implantação de termoeletricas nos aterros sanitários para geração de energia elétrica por meio da queima do biogás, produzido a partir da decomposição dos resíduos orgânicos), seja para ser utilizado como combustível misturado ao gás natural, pode contribuir para redução de até 35% das emissões de GEE provenientes do setor de resíduo e saneamento nas cidades;

- iii) Promoção de iniciativas de economia circular, mediante o reuso de águas residuais para produção de hidrogênio verde;

Já as campanhas e iniciativas governamentais de educação ambiental para conscientização pública sobre prevenção ao desperdício de alimentos, a maneira correta de reciclar e descartar resíduos sólidos orgânicos, estratégias de tratamento via compostagem e fomento à agricultura urbana, ainda são bastante tímidas nos planos de

climática das cidades brasileiras. Um exemplo bem sucedido nesse sentido vem de um projeto de gestão comunitária de

resíduos orgânicos e agricultura urbana denominado a “Revolução dos Baldinhos”, localizado em Florianópolis-SC (ver Quadro 7.3):

Quadro 7.3 - “Revolução dos Baldinhos” em Florianópolis - SC

A iniciativa começou em 2008, na comunidade de Chico Mendes em Florianópolis – SC, como uma resposta a uma infestação de ratos devido ao descarte inadequado de resíduos orgânicos, hoje é reconhecida internacionalmente pelo World Future Council como uma das 15 melhores práticas em agroecologia do mundo, por sua abordagem inovadora e replicável para outras cidades. O projeto promove a compostagem de resíduos orgânicos (ver Figura Q7.3), que se transforma em adubo para a agricultura urbana, contribui para a redução do descarte de resíduos e sustentabilidade ambiental, a produção de alimentos saudáveis, segurança alimentar e melhorias da qualidade de vida, saúde e renda para a comunidade, além de promover a conscientização sobre a importância da compostagem e da agricultura urbana e fortalecer a identidade local. A “Revolução dos Baldinhos” é um exemplo inspirador de como a gestão comunitária de resíduos orgânicos e a agricultura urbana podem contribuir para a construção de uma cidade mais inclusiva, verde, resiliente, justa e de baixo carbono.

Figura Q7.3 – Compostagem de Resíduos Orgânicos – Projeto Revolução dos Baldinhos



Foto: por Ricardo Daguino, 28/10/2022. Disponível em UFRGS (2022)

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de UFRGS (2022).

Essa proposta de compostagem comunitária inspirou a promulgação em Florianópolis – SC (2019) da primeira lei municipal sobre a obrigatoriedade da reciclagem dos resíduos sólidos orgânicos do Brasil (Lei 10.501/2019), apesar da cidade ainda não contar com um plano de ação climática. Conhecida como Lei da Compostagem, a referida lei instituiu a obrigatoriedade da destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos orgânicos, que representa 50% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, por meio dos processos de reciclagem e compostagem, proibindo a destinação desses resíduos aos aterros sanitários e à incineração no município. Nessa toada, em dezembro 2024, a Assembleia Legislativa do

Estado de Santa Catarina (ALESC) aprovou o Projeto de Lei - PL 53/2023, que institui a Política de Gestão de Resíduos Sólidos, incentivando a compostagem em Santa Catarina, porém ainda aguarda sanção do governador.

Convém salientar que essas iniciativas subnacionais estão em linha com iniciativas nacionais, tais como:

i) a adesão, em março de 2025, do governo nacional à estratégia internacional LOW-Methane da Coalizão Clima e Ar Limpo (CCAC, na sigla em inglês), que busca diminuir as emissões de metano provenientes do setor de resíduos sólidos orgânicos, contribuindo para reduzir a poluição do ar e a crise climática. Na ocasião, as cidades de Fortaleza (CE), Rio de Janeiro (RJ) e Belém

(PA), nas quais os resíduos sólidos urbanos representam mais de 30% das emissões de GEE e mais de 90% das emissões de metano, também aderiram à essa iniciativa global. Copresidida pelo Brasil desde 2023 e pelo Reino Unido, a CCAC, liderada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), é uma parceria de mais de 200 governos, organizações internacionais e ONGs que trabalha para reduzir o aquecimento global e atingir as metas do Acordo de Paris (Brasil, 2025c).

ii) a elaboração do Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos (PLANARO). Desenvolvido pelo MMA em parceria com o Instituto Pólis, com o PNUMA e com a Waste and Resources Action Programme (WRAP), o PLANARO tem como objetivo subsidiar e orientar a tomada de decisão para o desenvolvimento de iniciativas de redução do desperdício de alimentos, de compostagem e reciclagem de resíduos orgânicos urbanos no Brasil. Espera-se que a implementação do PLANARO, atualmente em fase de consulta pública, contribua para a eliminação dos lixões, a redução das emissões de metano, a transição energética pelo aproveitamento energético do biogás e o fomento à agricultura urbana e periurbana, além de promover a inclusão socioprodutiva das organizações de catadoras e catadores de materiais recicláveis na geração de benefícios à biodiversidade e ao controle de doenças e zoonoses (Brasil, 2025d).

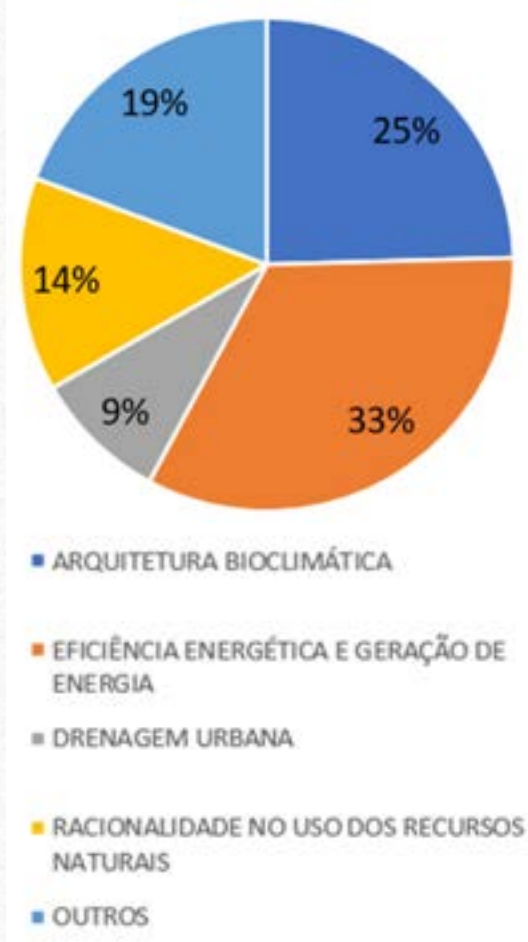
Energia Estacionária

A Declaração de Chaillot, firmada em 2024, como parte do 1º Fórum Mundial de Edificações e Clima, organizado pelo PNUMA, reconhece que o setor da construção civil representa mais de um quinto das emissões globais de GEE, indicando que, em 2022, esse setor foi responsável por 37% das emissões globais de GEE e por mais de 34% da demanda global de energia. O Brasil, um dos 70 países signatários da Declaração de Chaillot, se comprometeu com a descarbonização do setor de energia estacionária que contribui com até 34% das emissões de GEE das cidades brasileiras, sendo as edificações e construções urbanas, ao longo do ciclo de vida, as responsáveis pela maior parte

dessas emissões e consumo de energia. O retrofit e/ou construção de edificações sustentáveis no Brasil ainda é incipiente, prevalecendo os sistemas construtivos tradicionais em relação à intensidade de carbono e energia, geração de resíduos e exploração de recursos naturais para produção de materiais de construção (UNEP, 2024).

Assim, visando estimular a transição energética de baixo carbono, as cidades que têm plano de ação climática normalmente priorizam ações ligadas a regulamentações e campanhas para aumento da eficiência energética, geração e uso de energias renováveis; e incentivos financeiros e fiscais para edificações e uso de materiais de construção mais sustentáveis. Por exemplo, troca da iluminação pública para lâmpadas de LED; estímulo a auto geração de energia (solar fotovoltaica) ou compra no mercado livre de energia; implantação de redes inteligentes de distribuição de energia elétrica (smart grids) e medidas de eficiência energética e adoção de selos, normas e certificações de sustentabilidade de edificações urbanas e prédios públicos. Convém destacar que uma dessas iniciativas voltadas para incentivar a sustentabilidade das construções e certificação das edificações urbanas que vem sendo adotada por algumas cidades brasileiras é o IPTU Verde. Tido como um importante vetor de parceria público-privada em prol da sustentabilidade e resiliência das cidades, o IPTU verde não tem somente o papel arrecadatório, mas em paralelo apresenta a função de fiscalizar, proporcionar mudanças socioambientais no segmento de edificações urbanas, através do conceito de extrafiscalidade. Ou seja, o emprego de incentivos tributários para induzir práticas mais sustentáveis nas construções urbanas. Deste modo, o IPTU Verde funciona como um instrumento econômico de política pública local, com o intuito de, através de um incentivo fiscal, contribuir para alcançar cidades mais verdes, resilientes e de baixo carbono. No Brasil o IPTU Verde foi institucionalizado em 2001 como um dos instrumentos da política urbana prevista no Estatuto da Cidade, por meio da Lei 10.257/2001. Algumas cidades brasileiras adotaram o IPTU Verde com diferentes categorias, conforme mostrado na Figura 7.7:

Figura 7.7 - Categorias dos programas de IPTU Verde em 14 cidades brasileiras



Fonte: Lima Accioly e Brito (2021).

A Figura 7.7 mostra que as principais categorias dos programas municipais de IPTU Verde nas cidades brasileiras são o incentivo à eficiência energética e geração

de energia renovável (33%), a arquitetura bioclimática (25%) e a racionalidade no uso dos recursos naturais (14%). Como exemplos de requisitos pontuados na categoria eficiência energética e geração de energia renovável, cita-se: sistemas de aquecimento solar, sistemas fotovoltaicos, distribuição de circuitos de forma independente, utilização de energia eólica, isolamento térmico em tubulações de água quente, elevadores eficientes etc. Já os associados a arquitetura bioclimática, cita-se: ventilação e iluminação natural, estudos de insolação, sombreamentos de passeio, retrofitting, dispositivos para proteção solar etc.

Atualmente, aproximadamente 35 cidades brasileiras adotam o programa IPTU Verde, incluindo 12 capitais: Rio de Janeiro (RJ), Curitiba (PR), Manaus (AM), Goiânia (GO), Porto Alegre (RS), Florianópolis (SC), Brasília (DF), Belo Horizonte (BH), São Paulo (SP), Palmas (TO), Cuiabá (MT) e Salvador (BA). A capital soteropolitana, teve a sua iniciativa de IPTU Verde, incluída como best practice de colaboração público-privado para acelerar o desenvolvimento urbano sustentável pelo UrbanShift, programa que trabalha com mais de 23 cidades na Ásia, África e América Latina, com foco sobre abordagens integradas ao desenvolvimento urbano rumo a um futuro com emissões zero de carbono (C40 Cities, 2023), como pode ser visto no Quadro 7.4:

Quadro 7.4 - IPTU e Outorga Verdes e IPTU Amarelo em Salvador -BA

Os incentivos tributários têm se mostrado importantes ferramentas de parcerias público-privado para promover a sustentabilidade e contribuir para a construção de cidades mais verdes e resilientes. Em Salvador, o Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima - PMAMC, lançado em 2020, tem entre as ações previstas para a diretriz “construções sustentáveis” do eixo “cidade de baixo carbono”, incentivar o uso do IPTU Verde e IPTU Amarelo.

O Programa de Certificação Sustentável IPTU Verde de Salvador, instituído pelo Decreto Nº 36.288/2022 que regulamentou o Art. 5º da Lei no 8.474/2013, tem como objetivos:

I - estimular e incentivar a inclusão de requisitos que contemplem ações e práticas sustentáveis nos novos empreendimentos e nas edificações existentes na cidade de Salvador;

II - implementar medidas destinadas a adaptação à mudança do clima consonantes com a política de mudança do clima adotada no Município;

III - fomentar a redução do consumo de recursos naturais através da gestão sustentável das águas, do uso eficiente de alternativas energéticas, da gestão de resíduos e do desenvolvimento de projetos sustentáveis;

IV - promover a melhoria na qualidade da vida através da transparência entre as edificações e as ruas, do esmero estéticos das intervenções construtivas, de áreas de convivência ambientadas para as pessoas, do mobiliário urbano inclusivo, da integração de mobilidade ativa e do monitoramento de emissões de GEE;

Quadro 7.4 - IPTU e Outorga Verdes e IPTU Amarelo em Salvador -BA

V - estimular a implantação de fachadas ativas, nos casos que não são obrigados por lei, permitindo a interação entre espaço privado e a calçada, fomentando o trânsito de pedestres na região e o comércio local, o uso mais dinâmico dos passeios, incentivando a vida urbana;

VI - preservar e aumentar o percentual de área verde da cidade através da manutenção de árvores existentes em terrenos objeto de novas edificações, implantação de novos espaços de área verde em áreas comuns, e implementação de jardineiras, jardins verticais e telhados verdes;

VII - aumentar a resiliência urbana e reduzir os riscos climáticos através da inserção de medidas de Adaptação baseadas em Ecossistemas (AbE).

Para alcançar esses objetivos, essa política de incentivo fiscal estabeleceu um sistema de requisitos e pontuações mediante à adoção de práticas de sustentabilidade pelas edificações. Os 82 requisitos são reunidos em 8 categorias: gestão sustentável das águas, eficiência e alternativas energéticas (por exemplo, a instalação de painéis solares que atendam a pelo menos 80% da iluminação das áreas comuns confere 16 pontos), projeto sustentável, qualidade urbana (por exemplo, a compensação/neutralização de 60% das emissões de GEE com base na elaboração do inventário e pegada de carbono do empreendimento confere 10 pontos), verde urbano (por exemplo, a adoção de telhados verdes confere 12 pontos), contribuições para adaptação baseadas em ecossistemas – AbE (por exemplo, a implantação de hortas comunitárias com 40 m² confere 10 pontos), gestão de resíduos e bonificações (que concede pontos para edificações existentes que busquem obter o IPTU verde mediante a realização de serviços de retrofit verde e certificações por selos ambientais de instituições reconhecidas, tais como: Procel Edifica, LEED, AQUA - HQE, Selo Casa Azul – Caixa etc.).

O IPTU Verde foi criado pela SECIS, que conta como apoio de outras secretarias municipais para a análise dos pleitos que são feitos na fase de obtenção do alvará de construção ou reforma das edificações, gerando a pré-certificação. Já a verificação do cumprimento dos requisitos é feita no momento de obtenção do habite-se, quando é elaborada a certificação final, que deve ser revista a cada 5 anos. Na certificação final, os empreendimentos podem ser classificados como: bronze, se atingir, no mínimo, 50 pontos; prata se atingir, no mínimo, 70 pontos; e ouro se atingir, no mínimo, 100 pontos. Os descontos concedidos são para todas as unidades imobiliárias autônomas que compõem a edificação certificada pelo IPTU Verde, da seguinte forma: I – desconto de 5% para a certificação bronze; II – desconto de 7% para a certificação prata; III - desconto de 10% para a certificação ouro (ver Figura Q7.4).

Figura Q7.4 - Edifício-Sede do SindusCon-Ba em Salvador renova Selo Ouro IPTU Verde



Fonte: Autoria desconhecida – disponível em SindusCon-Ba (2024).

Quadro 7.4 - IPTU e Outorga Verdes e IPTU Amarelo em Salvador -BA

Outra ação associada ao IPTU Verde é a Outorga Verde, instituída no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Salvador – PDDU (Lei nº 9.096/2016), a qual prevê a concessão de desconto de 25% (certificação bronze), 30% (certificação prata) e 40% (certificação ouro) na outorga onerosa para empreendimentos que obtiverem na fase construção, a pré-certificação IPTU Verde. Assim, enquanto a outorga verde procura estimular o mercado imobiliário, que tem como beneficiário direto os incorporadores, o IPTU Verde beneficia diretamente o usuário final das edificações e contribuindo para o aumento de edificações mais sustentáveis no tecido urbano.

Criado em 2018, no âmbito do programa Salvador Solar, o IPTU Amarelo é um incentivo fiscal destinado a proprietários de imóveis residenciais e empresariais que adotam sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

Os descontos variam conforme a proporção da energia solar utilizada em relação ao consumo total do imóvel:

Certificação Bronze: desconto de 5% no IPTU para imóveis que utilizam energia solar em até 50% do consumo total.

Certificação Prata: desconto de 7% para utilização entre 50% e 70%.

Certificação Ouro: desconto de 10% para utilização acima de 70%.

Em 2022, o IPTU Amarelo foi incluído na Lei nº 9.620/2022, que instituiu a Política Municipal de Incentivo à Energia Solar Fotovoltaica. Um dos principais benefícios dessa legislação é a redução da alíquota do Imposto Sobre Serviços (ISS) de 5% para 2% para serviços relacionados à instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica. Essa medida visa tornar mais acessível a adoção de tecnologias sustentáveis, estimulando a geração distribuída de energia limpa na cidade de Salvador. A Lei nº 9.620/2022 também estabelece diretrizes para promover a capacitação profissional na área de energia solar, reduzir desigualdades socioeconômicas e incentivar o desenvolvimento científico e tecnológico no setor.

Nos últimos 3 anos, o número de imóveis beneficiados pelo programa IPTU Verde em Salvador teve um crescimento de 1.378% em três anos, enquanto o IPTU Amarelo cresceu nesse mesmo período 162%.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Silva, Prado e Andrade (2023), C40 Cities (2023), Salvador (2023, 2024) e SindusCon-Ba (2024).

Adaptação: ações para aumentar a resiliência urbana no enfrentamento dos riscos climáticos

As ações de adaptação à crise climática nos planos locais são priorizadas tendo como base os resultados da análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e têm como objetivo melhorar a capacidade de resposta das cidades em antecipar, prevenir, absorver e se recuperar de choques e estresses extremos (Di Giulio et al., 2019; Silva et al., 2022a). Dentre as principais ameaças climáticas identificadas nas análises de

riscos e vulnerabilidades climáticas das cidades estão: alagamentos, enxurradas e inundações; deslizamento de terra; vetores de arboviroses; aumento de temperatura e ondas de calor; secas prolongadas por redução precipitação; e erosão por elevação do nível mar para cidades costeiras (Silva et al., 2022b).

Entretanto, as cidades brasileiras não estão preparadas e são vulneráveis para enfrentar as mudanças climáticas. Por exemplo, dados da plataforma Adapta Brasil, mostram que 83% dos municípios do Brasil possui gestão de risco baixa ou muito baixa para deslizamentos de terra e 78% para inundações, enxurradas e alagamentos; 66-67% possui capacidade adaptativa baixa ou muito baixa para deslizamentos de terra e

inundações, enxurradas e alagamentos; 30% tem risco de impacto alto ou muito alto para desastres relacionados a chuvas, como deslizamentos de terra ou inundações, enxurradas e alagamentos; e 16% tem risco de impacto elevado para os dois tipos de desastres geo-hidrológicos (deslizamentos e inundações, enxurradas e alagamentos), dentre essas estão as capitais: Rio de Janeiro-RJ, Salvador-BA, São Luís-MA, Natal-RN, Maceió-AL, Macapá-AP e Manaus-AM.

i)incentivar a utilização do mapeamento comunitário de riscos e vulnerabilidades climáticas como pré-requisito para a elaboração ou atualização dos planos municipais de redução de riscos de desastres visando reduzir as áreas críticas (com risco notavelmente alto, principalmente de deslizamentos e inundações, enxurradas e alagamentos) e promover a participação social, trazendo mais segurança e qualidade de vida às populações mais vulneráveis no enfrentamento das ameaças climáticas;

ii)fortalecer a capacidade da Defesa Civil, que é responsável por implementar medidas de prevenção e proteção a desastres nas cidades;

iii)implantar sistemas de monitoramento e comunicação de alerta precoce de riscos e resposta a desastres e elaborar planos de treinamento e simulados de emergência e planos de evacuação e contingência;

iv)revisar o plano diretor, regulamentos de uso e ocupação do solo e outros instrumentos de políticas públicas locais para incluir os riscos e ameaças que a crise climática impõe às cidades, promovendo o planejamento urbano integrado;

v)melhorar a capacidade de drenagem e gestão de águas pluviais da cidade com o estímulo a instalação de “tetos e telhados verdes” e construção de sistemas de drenagem mais sustentáveis;

vi)aumentar a resiliência das infraestruturas urbanas de transporte e mobilidade, distribuição de energia elétrica e água potável;

vii)aumentar o uso de infraestrutura verde urbana para mitigar os riscos de ilhas e ondas de calor, de inundações e alagamentos, além de contribuir para melhoria da qualidade do ar e redução da perda de biodiversidade no espaço urbano:

*elaborar ou atualizar planos municipais de arborização urbana e criação ou revitalização de parques e áreas urbanas de proteção ambiental;

* implantar SbN, inspiradas no conceito de cidades esponja, como jardins de chuva e jardins filtrantes, biovaletas, corredores de restauração ecológica, parques lineares e alagáveis, conservação e recuperação de ecossistemas naturais costeiros como manguezais, restingas e recifes de corais, etc.

* incentivar o uso de instrumentos econômicos, como por exemplo, o pagamento por serviços ecossistêmicos.

Dentre as cidades consideradas pioneiras na agenda de adaptação climática no Brasil, visando melhorar a qualidade ambiental e a resiliência urbana, pode-se destacar Santos-SP, como ilustrado no Quadro 7.5:

Quadro 7.5: Construindo Cidades Verdes Resilientes: o Plano de Ações Climáticas de Santos - SP

Santos-SP tem área territorial de 281 km² e população estimada de 418.608 habitantes (IBGE, 2023a). Quase toda a população (99,3%) mora na área insular (39,4 km²), fazendo com que essa área seja bastante urbanizada e intensamente verticalizada. Apenas 0,7% deste número, habita o continente (241,6 km²), em sua maior parte coberta por áreas protegidas do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) e pela Área de Proteção Ambiental (APA) Santos-Continente. Sendo cidade polo da Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), formada por 9 municípios, a cidade tem grande relevância econômica por sediar o maior porto da América do Sul.

Considerada uma cidade com alto nível de vulnerabilidade à mudança do clima, Santos-SP foi pioneira na elaboração de um plano para resiliência e adaptação à mudança do clima. Desde 2013, a cidade aderiu à campanha “Construindo Cidades Resilientes”, liderada pelo UNDRR com o apoio da C40 Cities, desde 2020 passou a ser intitulada MCR 2030. Entretanto, desde 2005, a cidade já contava com um Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR). Atualizado em 2012, o PMRR inclui o mapeamento das áreas de risco a deslizamentos e mobilizações de blocos rochosos em encosta; a concepção de intervenções estruturais para os setores de risco alto e muito alto; a reavaliação da proposta de ações não estruturais; e o fornecimento de subsídios para a elaboração de um Centro de Gerenciamento de Risco Municipal.

Quadro 7.5: Construindo Cidades Verdes Resilientes: o Plano de Ações Climáticas de Santos - SP

Em 2016 elaborou o Plano Municipal de Mudança do Clima de Santos (PMMCS) com assessoria da Comissão Municipal de Adaptação à Mudança do Clima (CMMC), instituída em 2015 pela prefeitura de Santos. Esse plano foi revisado e atualizado, dando lugar ao Plano de Ações Climáticas de Santos (PACS). Publicado em 2022, o PACS contou com os apoios técnico e financeiro do projeto ProAdapta, liderado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima e Agência GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), além do Projeto Metrópole, financiado pelo Fórum Belmont e coordenado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN).

O PACS foi elaborado em consonância com o Acordo de Paris – COP21, a Contribuição Nacional Determinada (CND) pelo Brasil, a Agenda 2030 da ONU com seus 17 ODS, o Plano Nacional de Adaptação a Mudanças do Clima (PNA), e está integrado com as políticas locais: o PMRR, o PMCRI – Plano Municipal de Contingência para Ressacas e Inundações, também liderado pelo Departamento de Defesa Civil de Santos, e o PMMA - Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Santos, voltado para intensificação do verde urbano e liderado pela Secretaria de Meio Ambiente de Santos (SEMAM). O objetivo é construir uma cidade mais inclusiva, sustentável, resiliente e adaptada aos riscos climáticos e carbono neutra em 2050.

O PACS trabalha como fatores de risco os 7 impactos das mudanças climáticas na cidade: a erosão costeira, danos na infraestrutura urbana, interrupções de operações portuárias, prejuízos à mobilidade urbana e ao sistema de drenagem, aumento das áreas de risco, alterações nos ecossistemas naturais e aumento do nível do mar. Como principais ações propostas pelo PACS, destaca-se: i) a criação do Índice de Risco Climático e Vulnerabilidade Socioambiental (IRCVS) para mapear áreas críticas e orientar ações preventivas. Considerado o elemento central do PACS e construído a partir de 20 modelos climáticos para a cidade de Santos-SP, o IRCVS é um índice multicritério e foi elaborado com base em 4 indicadores físicos (exposição a ondas e mares; erosão costeira; movimentos de massa; inundação) e 3 indicadores sociais (densidade demográfica, nível socioeconômico; tipo de ocupação); ii) a implantação de corredores ecológicos com arborização urbana em conexão com a recuperação de manguezais e a continuidade do projeto Monte Serrat que usa medidas de adaptação com Soluções baseadas na Natureza (SbN) em áreas de morro. Intitulado “AbE subiu o morro: projeto de Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE) no Monte Serrat, Santos-SP” é uma iniciativa pioneira no Brasil de aplicação da metodologia de Adaptação Baseada em Ecossistemas (AbE) visando aumentar a resiliência urbana por meio da restauração ambiental e infraestrutura verde. Com foco na justiça climática, essa iniciativa prioriza comunidades vulneráveis, visando contribuir para a inclusão social e equidade nas ações de adaptação – ver Figura Q7.5; iii) aumento da resiliência das áreas estuarinas, com a continuidade do projeto para minimizar a erosão costeira na Ponta da Praia, com a construção de uma barreira submersa de 500 metros em formato de “L”, com big-bags de geotêxtil preenchidos com areia. O projeto feito em parceria com a Unicamp, que provê apoio técnico nas intervenções urbanas, notadamente no controle de elevação do nível do mar.

Além disso, destaca-se como dois pontos fortes do PACS: i) reposicionamento da governança climática local para o mais alto nível de decisão estratégica da administração pública municipal. A estrutura de governança climática está vinculada diretamente ao gabinete do prefeito e conta com o Observatório da Resiliência de Santos, um arranjo institucional para atender a necessidade de transparência no monitoramento e avaliação da implementação do PACS e dos avanços alcançados rumo a construção de uma cidade mais sustentável e resiliente; ii) a articulação com os 9 municípios vizinhos que formam a RMBS. Santos integra o Plano Regional de Adaptação e Resiliência Climática da Baixada Santista (PRARC-BS), que busca fortalecer a capacidade de resposta da região às mudanças climáticas. Publicado no final de 2022, esse plano regional tem entre suas ações: a elaboração de um inventário de emissões de GEE e de um plano de mitigação das mudanças climáticas e a construção de um Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) para a PMBS.

Quadro 7.5: Construindo Cidades Verdes Resilientes: o Plano de Ações Climáticas de Santos - SP

A experiência de Santos serve de inspiração e referência para que outras cidades de porte médio sigam o mesmo caminho, já que as grandes cidades são maioria no que se refere a incorporação das questões climáticas na agenda de planejamento urbano.

Figura Q7.5 - Comunidades do Monte Serrat em Santos- SP



Fonte: Autoria desconhecida – disponível em ProAdapta (2023).

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Guillen et al. (2021), Santos (2022), UNDRR (2023), Souza et al. (2024) e ProAdapta (2023).

5. Justiça Climática nos Planos Locais de Ação Climática

A integração de indicadores de justiça climática nos planos de ação climática de cidades é fundamental pois permite avaliar como esses planos consideram e promovem a inclusão, equidade social e ambiental e contribui para verificar se as ações propostas para enfrentar as mudanças climáticas não agravam desigualdades existentes. Pois, os planos de ação climática e outros instrumentos de políticas climáticas devem contribuir para a construção de cidades mais sustentáveis, resilientes, inclusivas e justas, atendendo às necessidades de todos os grupos sociais, especialmente os mais vulneráveis.

Algumas poucas cidades brasileiras vêm incorporando indicadores de justiça climática em seus Planos de Ação Climática, visando garantir que a implementação desse instrumento de política pública climática promova equidade e inclusão social

(Gonçalves et al., 2024). Pode-se destacar o exemplo de Teresina-PI. A partir dos resultados do estudo de análise de riscos climáticos e vulnerabilidades, realizado para a construção do Plano de Ação Climática, detectou-se que a parte da população teresinense que sente mais os efeitos das mudanças climáticas (calor intenso, alagamentos, inundações, vetores arboviroses) são justamente as comunidades que residem nos bairros mais afastados, sem acesso a saneamento básico, e que trabalha em atividades com alta exposição solar. Então, todas as 21 ações climáticas propostas pelo plano de ação climática da capital piauiense apresentam análise de equidade (Barbosa et al, 2024) e criou-se a Comissão Municipal de Justiça Climática (COMJUCA): órgão intersetorial voltado à incorporação da lente da justiça climática na formulação de políticas públicas locais para grupos específicos, como crianças, idosos, pessoas em situação de rua, migrantes, povos indígenas e tradicionais e trabalhadores expostos aos riscos climáticos (Teresina, 2024).

Deste modo, com o agravamento de cenários futuros relativos aos impactos ambientais, sociais e econômicos da crise climática,

torna-se cada vez mais importante a avaliação das políticas públicas locais, a luz da justiça intergeracional, para verificar em que medida se deu a incorporação das questões climáticas, tendo como princípio a equidade, em todos os instrumentos de planejamento urbano de longo prazo. Por exemplo, como as metas de mitigação e adaptação climáticas de longo prazo consideram o bem-estar e a qualidade de vida das futuras gerações. Assim, entre os indicadores de justiça climática, preferencialmente cocriados com a população para refletir às realidades dos espaços urbanos, que podem ser utilizados pelos governos locais em seus planos de ação climática, pode-se citar (Azeredo, et al., 2025):

Inclusão e Participação Social

- Participação de grupos vulneráveis: Percentual de representação de populações indígenas, comunidades periféricas, mulheres, e outros grupos marginalizados nos processos de consulta pública. Mede a inclusão de comunidades vulneráveis nos processos de elaboração e implementação dos planos de ação climática, incluindo planos comunitários de redução de riscos.
- Mecanismos de participação ativa: Existência de conselhos, audiências públicas ou fóruns deliberativos com poder de influência nas decisões climáticas.

Distribuição Equitativa de Recursos

- Investimento por região/bairro: Comparação do investimento em ações de mitigação e adaptação/resiliência por área geográfica e perfil socioeconômico (exemplos: estações de compartilhamento de bicicletas e estações de carregamento de carros elétricos, ciclovias e requalificação de calçadas, áreas verdes).
- Subsídios e incentivos verdes: Quantidade e qualidade de incentivos a tecnologias sustentáveis acessíveis a populações de baixa renda (exemplos: painéis solares, transporte limpo).
- Acesso a Serviços Essenciais: Estudos que analisam o acesso equitativo a transporte público, áreas verdes, saneamento básico e energia limpa, etc.

Impacto sobre Grupos Vulneráveis

- Exposição a riscos climáticos e vulnerabilidade por região: mapeamento de áreas e populações mais vulneráveis a eventos extremos, como inundações, ilhas e ondas de calor e outros riscos, com recorte socioeconômico.
- Reassentamento climático justo: Existência de diretrizes para reassentamentos com garantia de moradia digna, acesso a serviços e compensações adequadas.

Governança e Responsabilização

- Indicadores de transparência e monitoramento: Disponibilização pública de dados, orçamentos, planos e relatórios, em linguagem acessível, sobre o progresso das ações climáticas e seus impactos ambientais, sociais e econômicos.
- Mecanismos de denúncia e monitoramento: Existência de canais para reportar injustiças socioambientais ou falhas na implementação.

Logo, a integração da agenda climática com justiça social e inclusão pode auxiliar significativamente para ampliar a legitimidade e eficácia dos planos de ação climática. Iniciativas da agenda nacional de sustentabilidade e mudança do clima contribuem nesse sentido, incentivando a participação de grupos sociais mais vulneráveis, como por exemplo:

- i) O guia para “Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática”. Elaborado em 2025 pelo Ministério das Cidades, esse guia tem o objetivo de instrumentalizar as comunidades periféricas para participar do planejamento climático urbano e propor ações de adaptação frente às ameaças climáticas rumo ao alcance de periferias mais sustentáveis e resilientes;
- ii) O edital “Periferias Verdes Resilientes”, lançado também em 2025 pelo Ministério das Cidades, com o objetivo de selecionar organizações da sociedade civil interessadas em celebrar termos de fomento que tenha por objeto a execução de projeto de estruturação de iniciativas para adaptação inclusiva das periferias urbanas às mudanças climáticas, envolvendo SbN, para melhoria da qualidade ambiental das cidades.

Outra iniciativa que pode contribuir para a incorporação da lente da justiça climática na inclusão dos grupos sociais mais vulneráveis

nos planos de ação locais para enfrentamento das mudanças do clima, é a criação do ODS 18 que tem por objetivo ajudar a combater a exclusão social e promover a igualdade étnico-racial no país. Lançado em 2023 como uma iniciativa voluntária do Brasil para promover a igualdade étnico-racial no âmbito da Agenda 2030, o ODS 18 teve as suas metas e indicadores aprovados, em abril 2025, pela Câmara Temática do ODS 18 (CT-ODS18), coordenada pelo Ministério da Igualdade Racial e apoiada pelo Ministério dos Povos Indígenas. Durante o processo de institucionalização do ODS 18, foi realizada uma campanha pelo Ministério da Igualdade Racial para incentivar os governos locais a integrarem esse novo ODS às suas políticas, programas e planos e se comprometerem com uma gestão municipal mais justa, inclusiva e alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2025f).

Forças motrizes e barreiras para a implementação da agenda climática pelas cidades

As forças motrizes de ação climática são atividades, processos ou padrões que produzem incentivos positivos para a ação climática. Nesse sentido, as forças motrizes são fatores que impulsionam o processo de implementação da agenda climática pelas cidades, como subsídios financeiros, liderança e capacidade política local. Eles visam encorajar e fortalecer a adoção de novas práticas, tecnologias ou comportamentos necessários para a construção de cidades mais verdes, resilientes e de baixo carbono. Por outro lado, diferentes barreiras podem afetar a capacidade dos governos locais de projetar e implementar ações climáticas locais. São fatores incapacitantes que

dificultam ou atrasam o processo e podem estar enraizadas em percepções culturais, normas sociais, legislação e gestão de recursos. A Figura 7.8 sintetiza as principais forças motrizes e barreiras à ação climática pelas cidades:

Figura 7.8 - Principais Forças Motrizes e Barreiras para Agenda Climática Local



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Souza Leão (2021).

Com a predominância de estudos sobre esse assunto com foco nas cidades do Norte Global, há, portanto, a necessidade de que as forças motrizes e barreiras das agendas climáticas de cidades do Sul Global sejam mais explorados (Reckien et al. 2015, 2018). Por exemplo, Santos e Puppim de Oliveira (2024) mostraram que, surpreendentemente, uma capacidade mais forte de gestão de riscos e um número maior de desastres não implicariam necessariamente uma maior probabilidade de desenvolvimento de planos locais de adaptação climática pelos municípios brasileiros. Nesse sentido, o caso da cidade do Recife-PE, uma das capitais brasileiras tidas como pioneiras na proposição de uma agenda climática local e que conseguiu superar uma das principais barreiras à ação climática, a limitação de acesso ao financiamento, é bastante ilustrativo (ver Quadro 7.6):

Quadro 7.6: Forças motrizes e barreiras para a evolução da agenda climática em Recife-PE

Marcada pela desigualdade social, a capital pernambucana, conhecida como a “Veneza Brasileira”, tem índice de Gini de renda domiciliar per capita de 0,549 e incidência de pobreza afetando 37,8 % dos seus moradores (ver Figura Q7.6). Em 2019, a análise de risco e vulnerabilidade de Recife identificaram as seis principais ameaças à cidade causadas pela crise climática: inundações, deslizamentos de terra, doenças arbovirais, ondas de calor, secas e elevação do nível do mar.

A agenda climática do Recife apresentou avanços nos últimos anos. Em 2013, após tornar-se membro do ICLEI e do CDP, o Decreto Municipal 27.343/2013 criou o COMCLIMA e o GECLIMA para planejar, coordenar e implementar planos e políticas de ação climática na cidade, envolvendo os setores público, privado e não governamental, além de instituições acadêmicas.

Em 2014, a cidade aprovou a Política de Sustentabilidade e Mudanças Climáticas (Lei Municipal 18.011/2014), que estabeleceu os princípios, diretrizes e objetivos para o combate às mudanças climáticas. Em 2015, Recife publicou o seu primeiro inventário de emissões de GEE (ano base 2012). Esse inventário de emissões de GEE de 2012 considerou cenários de emissões projetados até 2040. Nesse mesmo ano, Recife estabeleceu pelo Decreto Municipal 29.220/2015 a meta de redução de emissões de GEE em 14,9% até 2017, assumindo o cenário Business as Usual (BAU); foi escolhida como cidade modelo para o Projeto Urban-LEDS financiado pelo ICLEI e ONU-Habitat para promover Estratégias de Desenvolvimento Urbano de Baixas Emissões; e tornou-se signatária do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia.

Em 2016, a cidade lançou seu primeiro plano de ação climática, o Plano Recife Sustentável e de Baixo Carbono (SLCRP), alinhado com Acordo de Paris 2015. Em 2017, com o apoio financeiro da Cooperação Andina para o Desenvolvimento (CAF), Recife publicou seu segundo inventário de emissões de GEE e sua primeira pegada hídrica (anos base 2013 a 2015).

Em 2019, com o apoio do CAF e do ICLEI, a cidade desenvolveu sua primeira estratégia de adaptação, baseada em análise de riscos e vulnerabilidades, que identificou as principais ameaças climáticas. No mesmo ano, o prefeito reconheceu a emergência climática no Recife pelo Decreto Municipal 33.080/2019. A cidade estabeleceu uma meta de atingir zero emissões líquidas de carbono até 2050 e sediou a primeira conferência brasileira sobre mudanças climáticas. Foi a primeira cidade brasileira a incluir as mudanças climáticas no currículo da educação infantil.

Em 2020, Recife divulgou seu terceiro inventário de emissões de GEE (anos base 2016-2017) e o LCAP com ações de mitigação e adaptação. Esse plano delineou o caminho para atingir a neutralidade de carbono até 2050 e estabeleceu metas e ações para combater as ameaças identificadas na análise de risco e vulnerabilidade climática e estratégia de adaptação de Recife (ICLEI 2020). Nesse mesmo ano, o CDP posicionou Recife entre as 88 cidades do mundo, consideradas líderes no combate às mudanças climáticas desde a assinatura do Acordo de Paris em 2015. Essas cidades na lista do CDP de 2020 receberam a classificação mais alta por seus esforços para reduzir as emissões de GEE e construir resiliência aos impactos das mudanças climáticas. Recife e Rio de Janeiro estavam entre as oito cidades latino-americanas dessa lista.

Quadro 7.6: Forças motrizes e barreiras para a evolução da agenda climática em Recife-PE

Figura Q7.6 - Comunidade vulnerável situada em área de risco em Recife - PE



Fonte: Por Ed Machado – 26/09/2024 – disponível em Agência Pública (2024b).

Principais Forças Motrizes

Comprometimento da liderança climática local

Em 2019, o fato do então prefeito de Recife ter sido o primeiro prefeito brasileiro a ocupar a presidência do ICLEI América do Sul colocou a cidade em uma posição privilegiada. O engajamento e o apoio do prefeito à agenda climática de 2012 a 2020 contribuíram fundamentalmente para o fortalecimento das políticas de enfrentamento das mudanças climáticas na cidade. O prefeito participou ativamente da elaboração do LCAP, como também em várias conferências internacionais sobre mudanças climáticas, por exemplo, as Conferências das Partes da UNFCCC – COP's.

Associação do governo local às RTC

Uma das mais importantes forças motrizes da ação climática do Recife é fazer parte de uma ou mais RTC para o enfrentamento das mudanças climáticas, como o ICLEI e o CDP. Isso se deve ao fato dessas redes contribuírem para reduzir as limitações de capacidade técnica e financeira e estarem diretamente envolvidas no planejamento climático da cidade, com a elaboração dos inventários de GEE, a análise de risco climático e vulnerabilidade da cidade e a estratégia de adaptação e os planos de ação climática. O engajamento do prefeito, como principal liderança climática, e a associação da cidade ao ICLEI e CDP contribuíram para Recife suplantear a barreira de acesso ao financiamento e atrair investimentos para avançar na sua agenda climática. A cidade acessou financiamento internacional do ICLEI, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), ONU-Habitat, CAF e GEF. Fazer parte de RTC também permitiu que Recife trocasse experiências com outras cidades internacionais e brasileiras, promovendo a capacitação.

Contexto político e arcabouço legal de apoio ao enfrentamento das mudanças climáticas na escala local

Apesar do envolvimento limitado de instituições federais e agências governamentais estaduais na governança climática do Recife, a cidade teve um prefeito ativo entre 2012 e 2020 que contribuiu para um contexto político e arcabouço legal favorável ao enfrentamento das mudanças climáticas na escala local, considerado uma força motriz importante para a implementação de ações climáticas pelas cidades. Um exemplo foi a criação em 2012 da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Recife (SMAS), com funções específicas para abordar questões de mudanças climáticas, formular políticas de baixo carbono e resiliência

Quadro 7.6: Forças motrizes e barreiras para a evolução da agenda climática em Recife-PE

e incentivar a integração de questões de mudanças climáticas no planejamento urbano de médio e longo prazos.

A criação e consolidação da SMAS com uma secretaria específica para tratar de questões climáticas no governo local como essencial e um passo para fomentar a ação climática na cidade. Entretanto, as mudanças políticas e o jogo de acomodação de interesses partidários prejudicaram a SMAS e impactaram negativamente no avanço da agenda climática em Recife. Mesmo assim, independentemente do jogo político que impactou negativamente o avanço da agenda climática em Recife, a institucionalização das políticas e planos climáticos foi crucial para evitar descontinuidades e interrupções significativas na implementação de ações climáticas e garantir sua continuidade no futuro.

Exposição e vulnerabilidade do espaço urbano aos riscos climáticos

Reconhecida pelo IPCC em 2007 como a 16ª cidade mais vulnerável do mundo às mudanças climáticas, os resultados da análise de risco e vulnerabilidade climática foram elementos fundamentais para embasar com evidências o planejamento de ações de adaptação para o aumento da resiliência urbana. A exposição da cidade aos eventos climáticos extremos e os altos impactos ambientais e socioeconômicos projetados no futuro orientaram todas as discussões de resiliência urbana do LCAP. Várias ações do LCAP para o aumento da resiliência urbana foram propostas para mitigar as principais ameaças, identificadas na análise de risco e vulnerabilidade climático, contribuindo para a eficácia da estratégia de adaptação.

Principais Barreiras

Governança climática multinível limitada

Políticas, planos e ações climáticas locais são debatidos no COMCLIMA e no GECLIMA. Esses dois fóruns de governança climática envolvem os setores público e privado, ONGs e instituições acadêmicas para promover a governança climática multinível em Recife. Apesar desses fóruns de governança climática, a coordenação vertical é fraca. Como as regulamentações climáticas foram definidas nos níveis internacional, nacional e estadual e as políticas e planos climáticos locais devem estar alinhados a essas regulamentações, o envolvimento de instituições nacionais e estaduais na governança climática da cidade é limitado.

Nenhuma entidade nacional participa dos fóruns de governança climática de Recife, e a participação do governo estadual é limitada. A falta de coordenação vertical tem sido considerada um desafio da governança climática multinível em Recife.

Há dificuldades também na coordenação horizontal, como comunicação fraca entre os departamentos do governo local. O conhecimento sobre questões climáticas está concentrado em um pequeno número de pessoas no governo local. É necessário disseminar o conhecimento climático em toda a administração pública. A questão climática deve se tornar transversal em todos os departamentos do governo local. Apenas um vereador está diretamente envolvido com a agenda de mudanças climáticas, e outros departamentos do governo local têm pouco envolvimento com a questão climática. A questão climática precisa ser disseminada para todos os departamentos do governo local. A falta de coordenação horizontal foi um obstáculo para consolidar a agenda climática da cidade.

Deste modo, a limitada governança climática multinível do governo local da cidade pode ser considerada uma barreira à ação climática em Recife. A cidade carece de coordenação horizontal e vertical, apesar dos fóruns de governança climática.

Restrição de poder e autonomia para agir em setores críticos ao combate das mudanças climáticas.

Em alguns setores cruciais para o enfrentamento das mudanças climáticas, o poder e a autonomia limitados do governo local dificultaram a ação climática em Recife. Os governos locais no Brasil têm autoridade e autonomia limitadas para agir em alguns setores críticos para as mudanças climáticas, como por exemplo, abastecimento de água potável, saneamento e

Quadro 7.6: Forças motrizes e barreiras para a evolução da agenda climática em Recife-PE

transporte aéreo. A universalização do tratamento de águas residuais é regulamentada e controlada por autoridades nacionais e estaduais. Logo, negociações e parcerias com os governos estadual e nacional são essenciais para implementar ações climáticas nesses setores-chave onde o governo local não tem a competência necessária ou delegou essa competência para os governos estaduais. A necessidade de negociações e parcerias também se estende às cidades próximas que compõem as regiões metropolitanas. Questões importantes da agenda climática local, como gestão de resíduos e transporte público, devem ser gerenciadas no nível metropolitano. Assim, em Recife, qualquer ação climática nesses setores requer necessariamente o envolvimento conjunto com outros 13 municípios pertencentes à região metropolitana.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Souza Leão (2021) e Agência Pública (2024b).

Principais desafios para implementação da agenda ambiental climática urbana

Apesar de ser a escala privilegiada para lidar com a crise climática, uma vez que os impactos ambientais, sociais e econômicos se manifestam em seu território, os governos locais enfrentam desafios, correlacionados com as barreiras, para responderem de maneira integrada à tríplice crise global e implementarem agendas climáticas rumo à cidades mais sustentáveis, resilientes e inclusivas. Entre os principais desafios, pode-se citar:

i) Baixa institucionalização dos planos de ação climática. Das 13 capitais brasileiras que desenvolveram seus planos de ação climática, somente algumas venceram o desafio da institucionalização mediante leis ou decretos municipais, visando dar maior segurança jurídica, assegurar continuidade entre gestões e ajudar na captação de recursos internacionais. Por exemplo, vários planos de ação climática de cidades brasileiras propõem como meta alcançar a neutralidade de carbono até 2050. Entretanto, essa meta dificilmente será atingida sem a institucionalização dos planos de ação climática, do comprometimento de futuros governos municipais e uma boa governança climática multinível nas relações intergovernamentais. No entanto, muitos

planos de ação climática ainda permanecem como documentos técnicos de orientação estratégica, sem força legal ou normativa. Pois, a institucionalização desses planos depende, dentre outros fatores, de engajamento político local e pressão da sociedade civil. Um exemplo de capital que avançou nesse sentido é São Paulo – SP. A cidade tem Política Municipal de Mudança do Clima desde 2009, (Lei nº 14.933/2009), atualizada pela Lei nº 17.378/2021 com metas mais ambiciosas, como neutralidade de carbono até 2050. O PlanClima SP (2020-2050) foi instituído pelo Decreto nº 60.289/2021, que determina a obrigatoriedade da apresentação anual de relatórios de acompanhamento do plano, visando consolidar a governança climática na cidade. Já Salvador, por exemplo, ainda não transformou oficialmente seu Plano de Ação Climática (PMAMC) em lei municipal. O plano, lançado em 2020, estabelece metas ambiciosas, como a neutralização das emissões de carbono até 2049. No entanto, ele permanece como um instrumento de planejamento e orientação estratégica, sem força legal vinculante. A prefeitura de Salvador iniciou, desde 2021, o processo para institucionalizar a política climática, por meio de uma consulta pública do Projeto de Lei para implantação da Política Municipal de Mudanças do Clima. Além disso, em 2021, a Câmara Municipal criou uma Comissão Especial de Emergência Climática e Inovação, com o objetivo de acompanhar a implementação do PMAMC. Entretanto, embora haja iniciativas nesse sentido em andamento, após cinco anos da sua publicação, o PMAMC ainda não foi convertido em lei, dependendo da tramitação

e aprovação do projeto de lei na Câmara Municipal. A descontinuidade política e institucional, ocasionada por trocas de governos, podem interromper a agenda climática em andamento, especialmente se essa não estiver institucionalizada por lei.

ii) Falta de incorporação nos planos de ação climática de indicadores de monitoramento da implementação e avaliação, notadamente quanto ao princípio da justiça climática. Na maioria dos poucos planos locais de ação climáticas existentes, faltam indicadores essenciais para gestão dos planos, permitindo o monitoramento da implementação e avaliação das ações de mitigação e adaptação à luz da justiça climática, sob pena de contribuir para exacerbar ainda mais as marcantes desigualdades socioespaciais presentes nos espaços urbanos, mediante a proposição de ações que protegem e priorizam grupos de elite e não consideram ou afetam negativamente as comunidades mais pobres e vulneráveis (Anguelovski et al., 2016; Allam, Jones, Roös, 2022; Gonçalves et al., 2024). Exemplo de iniciativas de gestão dos planos de ação climática, embora ainda limitadas, na direção de uma maior transparência no monitoramento e avaliação da implementação das ações climáticas, pode-se citar a adoção de dashboards, permitindo que a população possa acessar e acompanhar em tempo real o andamento das ações climáticas propostas em Recife – PE (Monitoramento das Ações e Estratégias Climáticas - MOCLIMA) e em Porto Alegre – RS (Plataforma de Acompanhamento do Plano de Ação Climática) (Recife, 2022; Porto Alegre, 2025).

iii) Limitação de capacidade técnica e institucional, principalmente das cidades de pequeno e médio portes. Considerados os principais implementadores das políticas urbanas, os governos locais normalmente não têm a experiência e sistema de dados necessários para fazer o inventário de emissões de GEE e a estratégia de mitigação e a análise de risco e vulnerabilidade climática e a estratégia de adaptação para formular os planos de ação climática. Logo, a eficácia das respostas das cidades ao enfrentamento da crise climática é severamente restringida pela insuficiente capacidade técnica e institucional dos governos locais e baixa articulação intergovernamental. Essas limitações são geralmente mitigadas pela associação dos

governos locais às RTC e/ou contratação de consultorias, fazendo com que as cidades fiquem dependentes dessas organizações externas, que se tornam atores importantes da governança climática local (Susskind e Kim, 2022; Marquardt, Fünfgeld e Elsässer 2023);

iv) Baixo número de formulação de planos de ação climática de regiões metropolitanas. A maioria dos poucos planos de ação climática de capitais ou grande cidades existentes fica restritos aos limites administrativos do município e não envolvem todos os municípios que compõem as regiões metropolitanas brasileiras. Pode-se citar como exceções, o plano de ação climática da região do ABC e o plano regional da Baixada Paulista, ambos envolvendo cidades de médio porte em São Paulo. Iniciativas em curso tentam superar esse desafio, como por exemplo, o projeto Brasil-Urban Shift (financiado pelo Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF), implementado pelo PNUMA e executado pelo MCTI) que tem como propósito apoiar as regiões metropolitanas brasileiras (Florianópolis-SC, Belém – PA e Teresina-PI) a reduzir as emissões de GEE, conservar a biodiversidade, reforçar a resiliência urbana e melhorar a qualidade de vida dos residentes. Entretanto, a pouca incidência de planos regionais contribui para aumentar as limitações dos diagnósticos realizados, notadamente do inventário de emissões de GEE, já que as emissões não obedecem a fronteiras, comprometendo a eficácia das ações propostas, principalmente em setores críticos para combater as mudanças climáticas, como por exemplo, transporte e mobilidade, e resíduos e saneamento, cuja solução implica necessariamente na existência de coordenação com todos os governos locais que compõem as regiões metropolitanas. E em muitas vezes pressupõe a existência de uma boa governança multinível nas relações intergovernamentais, por envolver ações climáticas em setores, onde os governos locais tem restrições de poder e autonomia para agir, derivadas do nosso modelo federativo. Por exemplo, a redução de emissões de GEE do transporte aéreo, que pode representar até mais de 35% das emissões de transporte de uma cidade brasileira (ver Figura 7.5), além de

apresentar cenário de crescimento até 2050. Normalmente, os planos de ação climática das cidades brasileiras, em sua maioria, concentram-se na redução de emissões provenientes do transporte rodoviário. O transporte aéreo, sendo regulado em âmbito nacional, é abordado principalmente por meio de políticas e iniciativas federais coordenadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Resta aos planos locais apenas prever ações de compensação para atacar essa questão, e não há ações locais previstas para mitigar essa fonte de emissões de GEE, que depende de uma boa governança multinível nas relações intergovernamentais (Urban Shift, 2025; Barbosa et al., 2024; Goulart e Andrade, 2024; Andrade et al., 2017a, b);

v) Baixa proposição pelos governos locais de planos integrados, alinhados com acordos e políticas internacionais, nacional e estaduais, que considerem as sinergias entre mitigação e adaptação climáticas, proteção da biodiversidade e redução da poluição, buscando enfrentar a tríplice crise global e construir cidades mais sustentáveis, resilientes e inclusivas (PNUMA, 2021).

vi) Apesar das secas prolongadas por redução precipitação serem consideradas uma das principais ameaças climáticas, apenas um pequeno número de planos locais de ação climática inclui, na etapa de diagnóstico, o cálculo da pegada hídrica. Importante indicador para avaliar a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade, a integração da pegada hídrica nos planos locais de ação climática ainda é pouco praticada pelas nossas cidades. Iniciativas pioneiras nesse sentido foram realizadas por Recife-PE (2017) e Fortaleza – CE (2015), ao participarem do projeto “Pegada de Cidades”, co-financiado por CAF -Banco de Desarrollo de América Latina- e Alianza Clima y Desarrollo (CDKN, sigla em inglês) (CAF, 2018). E, mais recentemente, em 2023, pode-se destacar as iniciativas de João Pessoa – PB e Porto Alegre -RS, que também integraram a avaliação da pegada hídrica nos seus planos de ação climática visando promover ações de redução de emissões de GEE e gestão da água a nível municipal.

vii) Implementação limitada do compromisso para o federalismo climático e governança multinível colaborativa, envolvendo a criação de espaços de diálogo e coordenação e integração entre os entes federativos. Devido à natureza intersetorial e interfederativa da política urbana, a eficácia das iniciativas locais de enfrentamento às mudanças climáticas exigem cooperação e coordenação intergovernamental. Assim, o federalismo climático é fundamental para que haja uma distribuição e articulação de competências entre os diferentes níveis de governo na formulação e implementação de políticas climáticas locais, acesso a recursos financeiros para implementação das agendas climáticas locais e programas de orientação e capacitação dos governos locais. Iniciativas climáticas descentralizadas incentivam a autonomia local, favorecem a inovação e experimentação local, fomentam respostas mais adaptadas às realidades locais e permitem que lideranças locais e subnacionais atuem mesmo quando há inação federal (Brasil, 2024).

viii) Baixa adoção pelos governos locais de instrumentos econômicos, envolvendo parcerias público-privadas, nas estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Um exemplo, é o IPTU Verde que apesar de ter sido institucionalizado desde 2001, como um dos instrumentos da política urbana prevista no Estatuto da Cidade, poucas cidades brasileiras aderiram a esse instrumento econômico que tem potencial para ajudar a orientar o desenvolvimento urbano rumo a cidades mais inclusivas, justas, sustentáveis e resilientes (Silva, Prado e Andrade, 2023).

Perspectivas de avanços das respostas institucionais rumo a cidades mais sustentáveis e resilientes

Embora existam barreiras que ainda impeçam a expansão do número de cidades brasileiras que priorizam a agenda ambiental e implementem planos locais de ação climáticas, as perspectivas de avanços das respostas institucionais são positivas, rumo à superação dos desafios que limitam a construção de cidades mais sustentáveis, justas, inclusivas e resilientes. Dentre os fatores que contribuem para essa perspectiva otimista, destaca-se:

i) A evolução da agenda nacional de sustentabilidade e mudança do clima, com a implementação de respostas, dentre outras, do Programa Cidades Verdes Resilientes e Adapta Cidades, e finalização de outras iniciativas em andamento, com destaque para: a) o Plano Nacional de Arborização Urbana (PlaNAU); b) a Estratégia Nacional de Soluções baseadas na Natureza (SbN); c) o Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos (PLANARO); d) Estratégia Intersectorial para Redução de Perdas e Desperdícios de Alimentos, que integra a Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PNSAN); e) a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU); e f) o Plano Nacional de Mudança do Clima (PNMC), conhecido como “Plano Clima”, cujo lançamento está previsto para 2025.

Guia de ações estratégicas para o enfrentamento à mudança do clima no Brasil até 2035, o Plano Clima pretende orientar e apoiar os governos locais na construção e implementação de planos de ação climática envolvendo tanto medidas de mitigação quanto de adaptação à luz do princípio da justiça climática. Para tal, propõe uma integração multiescalar e intersectorial para fortalecer a governança climática,

contribuindo para que os planos municipais sejam parte das estratégias nacionais e dos planos setoriais de mitigação e adaptação. Deste modo, os planos setoriais para as cidades, consideradas multisetoriais, fazem parte de um conjunto integrado de 7 planos setoriais para mitigação e 16 planos setoriais de adaptação. Para viabilizar a implementação desses planos setoriais rumo à transição para uma economia de baixo carbono, o Plano Clima pretende estabelecer alguns mecanismos de financiamento, em linha com o Plano de Transformação Ecológica (PTE), tais como: Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE); Fundo Clima Reembolsável, o Programa Eco Invest Brasil e Títulos Verdes e Títulos Soberanos Sustentáveis (Brasil, 2025e).

ii) a realização em novembro 2025 da COP 30 em Belém-PA. A expectativa é que a COP30 seja a COP da “implementação acelerada”, para que as iniciativas, compromissos e ações já pactuadas saiam do papel. A liderança dos governos locais é um pilar fundamental para o sucesso da COP30. Por estarem na linha de frente e serem vistas como protagonistas para o enfrentamento da crise climática, a COP 30 é uma oportunidade única para as cidades assumirem um papel ainda mais crucial na governança climática global, mostrando seus avanços e desafios para estruturarem e implementarem suas agendas climáticas (Global Covenant of Mayors, 2025).

Uma iniciativa nesse sentido é a Cúpula Mundial de Prefeitos, organizado pela C40, em parceria com a Presidência da COP30 e pela Bloomberg Philanthropies, a ser realizada antes da COP 30, no Rio de Janeiro, que pretende mobilizar prefeitos e líderes de mais de 100 cidades globais para discutir soluções climáticas, a serem apresentadas posteriormente na COP30 (Diplomacia Business, 2025).

Portanto, é necessário que a Coalização CHAMP, e demais iniciativas/respostas institucionais globais e nacionais, fomentem o maior envolvimento das cidades na governança climática, amplifiquem suas atuações, e fortaleçam a capacidade das cidades de superarem com sucesso os desafios e barreiras no enfrentamento à mudança do clima.

Assim, nos próximos 10 anos, espera-se ver as cidades brasileiras mais bem preparadas para enfrentarem à crise ambiental climática,

com planos locais de ação climática mais eficazes, justos e inclusivos.

Considerações e Recomendações Finais

Por fim, baseado nas discussões feitas até aqui, acredita-se que este estudo possa subsidiar os tomadores de decisão comprometidos com a construção de cidades mais justas, sustentáveis, resilientes e alinhadas com o cumprimento de acordos e políticas estaduais, nacional e internacionais (principalmente, dos ODS 11

e 13 e Acordo de Paris). Nesse sentido, a Figura 7.9 apresenta, como sugestão para os gestores urbanos, os passos necessários para estruturar uma agenda climática local como resposta ao enfrentamento da mudança do clima, rumo à construção de cidades mais sustentáveis, justas, inclusivas e resilientes:

Figura 7.9 - Passos para Estruturação de Agenda Climática Local



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Souza Leão (2021).

Referências

Abramo, P. (2007). A cidade com-fusa: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. **Estudos Urbanos e Regionais**, v. 9, p. 25–54.

ABREMA (2024). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>, Acesso em 28 maio 2025.

Agência Brasil (2025). Lixões de 3 capitais podem gerar desastre como o de GO, diz associação. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/meio-ambiente/noticia/2025-07/lixoes-de-3-capitais-podem-gerar-desastre-como-o-de-go-diz-associacao>, Acesso em 10 julho 2025.

Agência IBGE (2024). Censo 2022: rede de esgoto alcança 62,5% da população, mas desigualdades regionais e por cor e raça persistem. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-persistem>, Acesso em 28 maio 2025.

Agência Pública (2024a). 1.641 municípios no país têm risco a chuvas alto ou muito alto; o que cabe aos prefeitos? Disponível em: <https://apublica.org/2024/08/1-641-municipios-no-pais-tem-risco-a-chuvas-alto-ou-muito-alto-o-que-cabe-aos-prefeitos/>, Acesso em 19 maio 2025.

Agência Pública (2024b). No Recife, parques alagáveis para crise do clima ameaçam 40 comunidades de despejo. Disponível em: <https://apublica.org/2024/09/promorar-da-prefeitura-de-recife-ameaca-comunidades-de-despejo/>, Acesso em 19 maio 2025.

Allam, Z., Jones, D. S. & Roös, P. (2022). Addressing Knowledge Gaps for Global Climate Justice. **Geographies**, 2(2):201-203. <https://doi.org/10.3390/geographies2020014>

Andrade, J.C.S. et al. (2017a). Comparing Madrid and Salvador GHG Emission Inventories: implications for future researches. **Journal of Operations & Supply Chain Management**. 10(1). <https://doi.org/10.12660/joscmv10n1p17-32>.

Andrade, J.C.S. et al. (2017b). Implementing City-Level Carbon Accounting: a comparison between Madrid and London. **Journal of Cleaner Production**. 172: 795-804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.163>

Angelovski, I., Shi, L., Chu., E. et al. (2016). Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: Critical perspectives from the global north and south. **J. Plann. Educ. Res.** 36 (3): 333–348. <https://doi.org/10.1177/0739456X16645166>

Azeredo, L. et al. (2025). Como dados apoiam o planejamento de ações verdes e climáticas em cidades. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/dados-planejamento-acoes-verdes-climaticas-cidades>, Acesso em 19 maio 2025.

Bai, X. et al. (2018). Six research priorities for cities and climate change. **Nature**. Doi: 10.1038/d41586-018-02409-z.

Baltar de Souza Leão, E., Andrade, J. C. S. & Nascimento, L. F. (2021). Recife: A climate action profile. **Cities**, 116:103270. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103270>

Baltar de Souza Leão, E., Nascimento, L. F., Andrade, J. C. S. & Oliveira, J. A. P. (2020). Carbon accounting approaches and reporting gaps in urban emissions: An analysis of the Greenhouse Gas inventories and climate action plans in Brazilian cities. **Journal of Cleaner Production**, 245:118930. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118930>

Barbi, F. & Macedo, L.S.V. (2019). Transnational Municipal Networks and Cities in Climate Governance: Experiments in Brazil In: van der Heijden, J., Bulkeley, H. & Certomà, C. (eds.) **Urban Climate Politics: Agency and Empowerment**. Cambridge University Press, 59-79. doi: 10.1017/9781108632157.007

Barbosa, I. et al. (2024). Análise comparativa dos Planos de Ação Climática de capitais nordestinas. In: I Congresso Brasileiro de Mudanças Climáticas e Resiliência Urbana, **Anais do I Congresso Brasileiro de Mudanças Climáticas e Resiliência Urbana**.

Braga, R. (2012). Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do Estatuto da Cidade In: VI Encontro Nacional de Anppas. Belém, Pará. **Anais[...]**.

Brasil (2024a). Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/#>. Acesso em 28 abr 2025.

Brasil (2024b). Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Avaliação dos Efeitos e Impactos das Inundações no Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/cheias-do-rio-grande-do-sul-agilidade-federal-evita-impacto-negativo-de-1-1-ponto-percentual-no-pib-do-estado/AvaliaodosefeitoseimpactosdasinundaesnoRioGrandedoSulNov2024.pdf>. Acesso em 28 abr 2025.

Brasil (2024c). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Primeiro Relatório Biental de Transparência do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-bienais-de-transparencia-btrs/Primeiro_Relatorio_Biental_Transparencia_Brasil_BTR_2024_PORT.pdf. Acesso em 28 abr 2025.

Brasil (2024d). Ministério de Minas e Energia. Lei que incentiva 'combustíveis do futuro' é sancionada com vetos. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/10/10/lei-que-incentiva-combustiveis-do-futuro-e-sancionada-com-vetos>. Acesso em 01 mai 2025.

Brasil (2024e) Presidência da República/Conselho da Federação. Resolução nº 3, de 3 de julho de 2024. Compromisso para o Federalismo Climático. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-3-de-3-de-julho-de-2024-569958611>. Acesso em 28 maio 2025.

Brasil (2025a). Ministério das Cidades. Agenda de Sustentabilidade. Disponível em: <https://agendasustentabilidade.org.br/>. Acesso em 20 mai 2025.

Brasil (2025b). Ministério Meio Ambiente e Mudança do Clima. Brasil lança iniciativa para estruturar 100 ações climáticas de alto impacto nos municípios. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-lanca-iniciativa-para-estruturar-100-aco-es-climaticas-de-alto-impacto-nos-municipios>. Acesso em 12 mai 2025

Brasil (2025c). Ministério Meio Ambiente e Mudança do Clima. Governo federal adere à iniciativa internacional para reduzir emissões de metano. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/governo-federal-adere-a-iniciativa-internacional-para-reduzir-emissoes-de-metano>. Acesso em 07 jul 2025.

Brasil (2025d). Ministério Meio Ambiente e Mudança do Clima. MMA inaugura consulta pública do Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/mma-inaugura-consulta-publica-do-plano-nacional-de-reducao-e-reciclagem-de-residuos-organicos-urbanos>, Acesso em 11 set 2025.

Brasil (2025e). Ministério Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano Clima. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima>. Acesso em 07 jul 2025.

Brasil (2025f). Ministério da Igualdade Racial. OSD 18 – Igualdade Ético-Racial. Disponível em: <https://www.gov.br/igualdaderacial/pt-br/assuntos/ods18>. Acesso em 28 maio 2025.

C40 (2025). Brasil lança programa nacional para estruturar 100 ações climáticas de alto impacto nas cidades. Disponível em: <https://www.c40.org/pt/news/brazil-launches-green-resilient-model-cities-program/>, Acesso em 12 mai 2025.

C40 Cities (2023). Public-Private Collaboration to Accelerate Sustainable Urban Development: a guide for Global South cities. Disponível em: https://pt-br.shiftcities.org/sites/default/files/2023-09/public-private_collab_guide_24092023.pdf. Acesso em 12 mai 2025.

CAF (2018). Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe. A América Latina limpa a pegada climática de suas cidades. Disponível em: <https://www.caf.com/pt/presente/noticias/america-latina-limpa-a-pegada-climatica-de-suas-cidades/>. Acesso em 13 mai 2025.

Ceará (2025). Em Brasília, titular da Sema assina adesão à iniciativa AdaptaCidades, do Governo Federal. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2025/02/12/em-brasilia-titular-da-sema-assina-adesao-a-iniciativa-adaptacidades-do-governo-federal/>. Acesso em 08 jul 2025.

CEMADEN (2024). 81% dos eventos registrados em 2023 ocorreram nas regiões Sul e Sudeste do país. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/81-dos-eventos-registrados-pelo-cemaden-em-2023-ocorreram-nas-regioes-sul-e-sudeste-do-pais>. Acesso em 28 abr 2025.

De Oliveira, J. A. P. (2009). The implementation of climate change related policies at the subnational level: an analysis of three countries. **Habitat International**, 33(3):253-259. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.006>.

Diário do Nordeste (2022). Como a mobilidade urbana impacta o meio ambiente. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/como-a-mobilidade-urbana-impacta-o-meio-ambiente>. Acesso em 14 mai 2025.

Di Giulio, G. M., Torres, R. R., Lapola, D. M. et al. (2019). Bridging the gap between will and action on climate change adaptation in large cities in Brazil. **Reg Environ Change**, 19:2491–2502. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01570-z>

Diplomacia Business (2025). Rio sediará Cúpula Mundial de Prefeitos da C40 dias antes da COP30. Disponível em: <https://www.diplomaciabusiness.com/rio-sediara-cupula-mundial-de-prefeitos-da-c40-dias-antes-da-cop30/>. Acesso em 13 set 2025.

Florianópolis – SC (2019). Lei 10. 501 de 08 abril de 2019. Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/lei-ordinaria/2019/1051/10501/lei-ordinaria-n-10501-2019-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-da-reciclagem-de-residuos-solidos-organicos-no-municipio-de-florianopolis>. Acesso em 07 jul 2025.

Fortaleza (2025). Secretaria Municipal da Conservação e Serviços Públicos (SCSP). Prefeitura oferece passe gratuito do Bicicletar no Dia Mundial da Saúde. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-oferece-passe-gratuito-do-bicicletar-no-dia-mundial-da-saude>. Acesso em 14 mai 2025.

Fortaleza (2024). Prefeitura Municipal de Fortaleza. Fortaleza celebra 10 anos do Bicicletar e a transformação da mobilidade urbana da Cidade. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/fortaleza-celebra-10-anos-do-bicicletar-e-a-transformacao-da-mobilidade-urbana-da-cidade>. Acesso em 14 mai 2025.

Fundação Grupo Boticário (2021) Cidades Baseadas na Natureza: infraestrutura natural para resiliência urbana. Disponível em: <https://www.fundacaogrupoboticario.org.br/wp-content/uploads/2020/12/8907A-AF-Paper-Cidades-Baseadas-na-Natureza.pdf>. Acesso em 01 set 2025.

Global Covenant of Mayors (2025). Rumo à COP30: as cidades devem desempenhar um papel ainda mais central na ação climática global. Disponível em: <https://www.globalcovenantofmayors.org/press/towards-cop30-cities-to-play-an-even-more-central-role-in-global-climate-action/>. Acesso em 13 set 2025.

Goes, F. L. et al. (2021). **Atlas das Periferias no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA.

Gonçalves, L.R. et al. (2024). Justiça climática em regiões costeiras no Brasil. São Paulo: **Paco Editorial**.

Goulart, J.H.S. & Andrade, J.C.S. (2024). Inventários e planos de mitigação de emissões de gases do efeito estufa das capitais brasileiras: uma análise do setor de transportes. Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente (ENGEMA). v. 1, p. 05. **Anais[...]**. São Paulo: FEAUSP.

Guillen, C. M. B. et al. (2021). O planejamento de Santos no enfrentamento às mudanças climáticas: Uma análise do PMMCS. Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente (ENGEMA). v. 1, p.17. **Anais[...]**. São Paulo: FEAUSP.

Heikkinen, M., Karimo, A., Klein, J., Juhola, S. & Ylä-Anttila, T. (2020). Transnational municipal networks and climate change adaptation: a study of 377 cities, **Journal of Cleaner Production**, 257:120474. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120474>

IBGE (2023a). Censo Demográfico 2022: populações e domicílios: primeiros resultados. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102011>. Acesso em 28 abr 2025.

IBGE (2023b). Perfil dos municípios brasileiros: gestão do saneamento básico: limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102141> Acesso em: 28 maio 2025.

ICLEI (2010). International Council for Local Environmental Initiatives - Local Governments for Sustainability. Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Limpo: oportunidades para governos locais - um guia do ICLEI. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/19/2020/10/guia-de-mudancas-climaticas-e-desenvolvimento-limpo.pdf>. Acesso em 01 set 2025.

ICLEI (2020). International Council for Local Environmental Initiatives - Local Governments for Sustainability. Urban-LEDS II: Accelerating Climate Action through the Promotion of Low Carbon Development Strategies, 2020; Recife's Local Climate Action Plan. São Paulo, Brazil. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/documentos/plano-local-de-acao-climatica-de-recife/>. Acesso em: 28 maio 2025.

ICLEI (2024). International Council for Local Environmental Initiatives - Local Governments for Sustainability. COP27 SURGe initiative to step up support of strengthened NDCs and urban resilience. Disponível em: <https://iclei.org/news/surge-secretariat-announcement/>. Acesso em 28 maio 2025.

ICLEI (2025). International Council for Local Environmental Initiatives - Local Governments for Sustainability. Construção do Plano Nacional de Arborização Urbana avança com Primeira Oficina Virtual do Processo Participativo. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/construcao-do-plano-nacional-de-arborizacao-urbana-avanca-com-primeira-oficina-virtual-do-processo-participativo/>. Acesso em 11 jul 2025.

Instituto Cidades Sustentáveis (2025). Programa Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/inicial/home>, Acesso em 28 maio 2025.

Instituto Trata Brasil (2022). Esgoto. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/clipping/esgoto/>. Acesso em 28 maio 2025.

IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

Jurado, J. & Gonçalves, A. (2020). O Papel das Cidades como atores da Governança Ambiental Global. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v.6, n. 1.

Lima-Accioly, S. M. & Brito, L.L.A. (2021). Análise Comparativa de Programas Municipais de IPTU Verde. **Engenharia Urbana em Debate**, v. 2, n. 1, p. 215-229

Loura, R. M. et al. (2022). Análise comparativa de métodos para a elaboração de Planos de Ação Climática em escala municipal e metropolitana. In: XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), **Anais [...]**. Canela – RS.

MAPBIOMAS (2023). Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil entre 1985-2022. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/FACT_MapBiomass_Mapeamento-Anual-Cobertura_Colecao8_31.pdf, Acesso em 28 abr 2025.

Marengo, J.A. et al. (2020). Changing trends in rainfall extremes in the metropolitan area of São Paulo: causes and impacts. **Frontiers in Climate**, 2(3). <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.00003>

Marquardt, J., Fünfgeld, A. & Elsässer, J. P. (2023). Institutionalizing climate change mitigation in the Global South: Current trends and future research. **Earth System Governance**, 15:100163. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2022.100163>.

Minas Gerais (2025). Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bolsa Reciclagem**. Disponível em: <https://semad.mg.gov.br/bolsa-reciclagem>. Acesso em 01 set 2025.

Nunes, L.H. et al. (2019). Climate change in Santos, Brazil: projections, impacts and adaptation options. **Springer International Publishing**. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96535-2>

Osório, G.I.S. (2024). Mudança do clima e desenvolvimento socioeconômico: dois lados de um mesmo Plano. Disponível em: <https://portal.fgv.br/artigos/mudanca-clima-e-desenvolvimento-socioeconomico-dois-lados-mesmo-plano>. Acesso em 22 mai 2025.

Paes, M. X.; Bellezoni, R. A.; Puppim de Oliveira, J. A. (2021). Manual prático para inovação em gestão dos resíduos sólidos urbanos, 1. ed., São Paulo: FGV EAESP. Disponível em: https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/eventos/content/arquivos/jun/21/manual_pratico_para_inovacao_em_gestao_dos_rsu_fgv-eaesp_junho_2021.pdf. Acesso em 01 set 2025.

Paraná (2025). Estado atualiza procedimentos do ICMS Ecológico - 59% das cidades recebem o benefício. Disponível em: <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Estado-atualiza-procedimentos-do-ICMS-Ecológico-59-das-cidades-recebem-o-benefício>. Acesso em 09 jul 2025.

Pernambuco (2025). Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade e Fernando de Noronha. **Clima PE**. Disponível em: <https://semas.pe.gov.br/clima-pe/#~:text=Clima%20PE%20%C3%A9%20uma%20plataforma,a%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20das%20pol%C3%ADticas%20clim%C3%A1ticas>. Acesso em 11 jul 2025.

Perpetuo, R.O. (2024). **As redes internacionais de cidades e o mundo em transformação: uma análise do ICLEI-governos locais pela sustentabilidade e a sua influência no acordo de Paris - 2015**. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 200p. doi:10.11606/T.106.2024.tde-06122024-110142.

PNUMA (2021). **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**. As crises de clima, biodiversidade e poluição devem ser enfrentadas em conjunto - novo relatório do PNUMA. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/crises-de-clima-biodiversidade-e-poluicao-devem-ser>. Acesso em 11 jul 2025.

ProAdapta – Adaptação à Mudança do Clima (2023). Adaptação baseada em Ecossistemas. Disponível em: <https://www.adaptacao.eco.br/adaptacao-baseada-em-ecossistemas/>. Acesso em 22 mai 2025.

Porto Alegre (2025). Plataforma de Acompanhamento do Plano de Ação Climática. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/plano-de-acao-climatica-plataforma/>. Acesso em 22 mai 2025.

Recife (2022). Prefeitura do Recife recebe premiação nacional por monitoramento de ações climáticas. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/noticias/04/07/2022/prefeitura-do-recife-recebe-premiacao-nacional-por-monitoramento-de-acoas>. Acesso em 22 mai 2025.

Reckien, D., Flacke, J., Olazabal, M. & Heidrich, O. (2015). The Influence of Drivers and Barriers on Urban Adaptation and Mitigation Plans: an Empirical Analysis of European Cities. **PLOS ONE**, 10(8):e0135597, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135597>

Reckien, D., Salvia, M., Heidrich, O. et al. (2018). How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. **Journal of Cleaner Production**, 191(5):207-219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.220>

ReDUS (2024). Rede de Desenvolvimento Urbano Sustentável. Rio Inclusivo e Sustentável. Disponível em: <https://www.redus.org.br/rio-inclusivo-e-sustentavel>, Acesso em 07 jul 2025.

Salvador (2024). Secretaria de Sustentabilidade, Resiliência, Bem-estar e Proteção Animal. IPTU Verde de Salvador é citado como caso de sucesso por Guia de Colaboração Internacional. Disponível em: <https://sustentabilidade.salvador.ba.gov.br/iptu-verde-de-salvador-e-citado-como-caso-de-sucesso-por-guia-de-colaboracao-internacional>. Acesso em 08 mai 2025

Santos (2022). Plano de Ação Climática de Santos. Disponível em: <https://www.santos.sp.gov.br/?q=hotsite/plano-municipal-de-acao-climatica-de-santos-pacs>. Acesso em: 16 de mai. 2022.

Santos, A. P. S. & Puppim de Oliveira, J. A. (2024). What factors drive municipal climate adaptation policy? The role of risk management capacity and transnational municipal networks, *Urban Climate*, 53, 101809, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101809>.

São Paulo (2025a). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. Programa Municípios Paulistas Resilientes – PMPR. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/sma/municipiosresilientes/#:~:text=O%20objetivo%20%C3%A9%20incentivar%20os,meio%20de%20planos%20municipais%2Fregionais>. Acesso em 08 jul 2025.

São Paulo (2025b). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. Programa Municípios Verde Azul - PMVA, Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/verdeazuldigital/>. Acesso em 08 jul 2025.

Sapiains, R., Ibarra, C., Jiménez, G. et al. (2020). Exploring the contours of climate governance: an interdisciplinary systematic literature review from a southern perspective. **Environmental Policy and Governance**, 31:46-59. Doi:10.1002/eet.1912.

SEEG (2025). Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em 01 set 2025.

Silva, A., Benites-Lazaro, L., Andrade, J. et al. (2022a). Examining the Urban Resilience Strategy of Salvador, Bahia, Brazil: A Comparative Assessment of Predominant Sectors Within the Resilient Cities Network. **J. Urban Plan. Dev.** 148(2):05022002, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000818](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000818)

Silva, A., Benites-Lazaro, L., Andrade, J. et al. (2022b). Salvador: profile of a resilient city? **Cities**, 127:103727, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103727>

Silva, A., Prado, A., Andrade, C. (2023). Sinergia entre estratégia de resiliência de Salvador e IPTU Verde: oportunidades para aumento da eficácia e parceria com o mercado imobiliário. **Bahia Análise & Dados**, v. 33, n.2, p. 132-155.

Silva, T. et al (2023). Análise da Estratégia de Resiliência de Porto Alegre: vinculação entre ações, choques e estresses. **Gesta**, v. 11, n. 2, p. 172-192.

SindusCon-Ba (2024). Sede do Sinduscon-BA renova Selo Ouro do IPTU Verde dentro dos novos requisitos da certificação. Disponível em: <https://sinduscon-ba.com.br/noticias/sede-do-sinduscon-ba-renova-selo-ouro-do-iptu-verde-dentro-dos-novos-requisitos-da-certificacao/20247>. Acesso em: 03 maio 2025.

Souza-Leão, E. B., Andrade-Silva, A., Prado, A. et al. (2022). Assessing urban emissions through different methodologies: an analysis of Brazilian cities. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, 27(19). <https://doi.org/10.1007/s11027-022-09994-5>

Souza-Leão, E. B. (2021). **Greenhouse gases inventories and drivers & barriers to climate action: an analysis of Brazilian cities**. Tese (Doutorado em Administração), Escola de Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre- RS. 255p.

Souza, E.M.R. et al. (2024). Construindo Cidades Resilientes: as diferenças entre o Plano de Resiliência de Campinas e o Plano de Ações Climáticas de Santos. **Bahia Análise & Dados**, v. 33, p. 62-85.

Susskind, L. & Kim, A. (2022). Building local capacity to adapt to climate change. **Climate Policy**, 22(5):593-606, <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1874860>.

Teresina (2024). Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. Teresina é pioneira na instituição de comissão para desenvolver ações de justiça climática. Disponível em: <https://semplan.pmt.pi.gov.br/2024/04/24/teresina-e-pioneira-na-instituicao-de-comissao-para-desenvolver-acoes-de-justica-climatica/>. Acesso em 03 maio 2025.

UFRGS (2022). O exemplo do Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB): de Florianópolis para o mundo. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/agriurb/projeto-revolucao-dos-baldinhos/#>. Acesso em 01 mai 2025.

UNDESA (2019). World Urbanization Prospects: the 2018 Revision. Disponível em: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf>, Acesso em 27 maio 2025.

UNDRR (2023). MCR2030: resilience hub. 2023. Disponível em: <https://mcr2030.undrr.org/resilience-hub>. Acesso em: 18 mai. 2023.

UNEP (2024). Fórum Global sobre Edifícios e Clima – Declaração de Chaillot. Disponível em: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/buildings-and-climate-global-forum-declaration-de-chaillot>. Acesso em 20 mai 2025.

UN-Habitat (2021). Global Environment Outlook (GEO) for Cities: towards green and just cities. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/geo-cities-towards-green-and-just-cities>, Acesso em 20 maio 2025.

UN-Habitat (2022). Urban Agenda Platform. Summary Report: High-Level Meeting to assess progress on the implementation of the New Urban Agenda. Disponível em: <https://www.urbanagendaplatform.org/node/2215>. Acesso em 27 maio 2025.

UN-Habitat. (2019). Sustainable cities consultation. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/05/sustainable_cities_consultation_results_report.pdf. Acesso em 27 maio 2025.

UNIFOR (2019). Observatório de Segurança Viária. Fortaleza será a capital mundial da Mobilidade Sustentável de 24 a 26 de junho. Disponível em: <https://unifor.br/web/osv/fortaleza-sera-a-capital-mundial-da-mobilidade-sustentavel>. Acesso em 14 mai 2025.

Urban Shift (2025). Brasil. Disponível em: <https://pt-br.shiftcities.org/projects/brazil>, Acesso em 07 jul 2025.

Wei, T., Wu, J. & Chen, S. (2021). Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide. **Front. Sustain. Cities**, 3:696381. doi: 10.3389/frsc.2021.696381

Como tornar nossas cidades mais sustentáveis ambientalmente?



Patricia Helena Gambogi Boson¹

Antonio Eduardo Leão Lanna²

¹Confederação Nacional do Transporte (CNT)

²AlfaSigma Consultoria

Se fosse dado a nós o espaço de apenas três palavras para responder à pergunta título, responderíamos: foquemos na água. Como tem um espaço maior, vamos contextualizar e justificar nossa resposta.

Citando o historiador Yuval Harari, em seu livro *Homo Deus – Uma breve história do amanhã*, “a evolução da humanidade e seu domínio se deu, não porque um indivíduo humano seja muito mais esperto e ágil que outros seres vivos, e sim, porque o *Homo sapiens* é a única espécie na Terra capaz de cooperação flexível em grande escala”. Eis assim, a urbanização, processo de crescimento das cidades, promovendo maior escala de cooperação e ocupando apenas 2,8%¹ da superfície terrestre e 0,54%² do território nacional. Nessa evolução, segundo a ONU, atualmente 55% da população mundial vive em áreas urbanas, e a expectativa é de que esta proporção aumente para 68% até 2050.

Como de conhecimento de todos, as primeiras cidades surgiram como pequenas aldeias às margens de rios. Foram assim, ao longo dos vales dos rios Tigres e Eufrates, na Mesopotâmia; do Nilo, no Egito; do rio Indo, na Índia; do Yang-Tsé- Kiang e Hoang-HO na China; e do San Juan, na Meso-América.

No Brasil não foi diferente. Nossas primeiras cidades desenvolveram-se em estreita relação com os cursos de água, utilizando-os como vias de transporte, fontes de alimento e abastecimento, e para atividades econômicas diversas, em especial a agricultura. Os rios foram cruciais para a exploração e colonização do nosso território, facilitando a comunicação e o deslocamento entre diferentes regiões.

Atualmente, se considerarmos a sustentabilidade ambiental das cidades na perspectiva analítica da pauta ambiental predominante das mudanças climáticas, temos que em nosso país, todos os impactos negativos, especialmente na mobilidade,

oriundos ou exemplificados pelas alterações climáticas, se expressam também nas águas, de duas formas: água demais (cheias e inundações) ou água de menos (escassez e seca). Resultado, a nosso sentir, além da não rara excepcionalidade dos fenômenos hidrológicos e conforme frase de autoria da historiadora Gercinair Gandara, citada em um boletim da SBPC³, do fato: “as cidades nascem abraçadas a seus rios, mas lhes viram as costas no crescimento”.

Verdade é que os riscos hídricos nas cidades, quantidade e qualidade, interdependentes (a má qualidade resulta em menor quantidade) são, majoritariamente, advindos de um processo de urbanização que teima em virar as costas para as águas. Seja pela ocupação do solo, com excessiva e descuidada impermeabilização, a impedir a infiltração de água, causando, ao mesmo tempo e de forma instantânea, acúmulo de água na superfície (enchentes urbanas), como também, no médio prazo, dificultando a recuperação dos aquíferos, que muitas vezes são fontes importantes de suprimento hídrico para as cidades. Seja pela geração e má gestão dos resíduos, que acabam por ser descarregados nos corpos hídricos, pelas chuvas, que lavam as superfícies onde são lançados, pelos canais naturais e implantados. Estes lançamentos de resíduos nos corpos hídricos, dependendo da concentração resultante de poluentes, tornam as águas menos aptas aos usos que exigem melhor qualidades, entre os quais o uso humano. Sem falar nos baixos índices nacionais de universalização dos processos de coleta e tratamento de esgoto doméstico.

Fato é: devido a estas interrelações com as águas, não é possível se conceber uma cidade sustentável sem que as questões hídricas sejam preponderantemente consideradas. Portanto, uma efetiva gestão das águas é condição essencial para promoção da sustentabilidade urbana. No

entanto, os Plano Municipais de ordenamento territorial urbano muitas vezes passam ao largo das questões hídricas. Como resultado, acabam ocorrendo ocupações humanas em áreas propensas a inundações, ou sem um prévio estudo e projeto de drenagem, ocasionando os dramáticos efeitos que se tornaram comuns em tempos de agravamento das mudanças climáticas. Ou concentração de atividades potencialmente poluentes em áreas de acumulação de água – zonas de recarga de aquíferos ou de reservatórios – contaminando mananciais de abastecimento. De modo que, um Plano Municipal que ordene o território, não pode estar vinculado apenas ao uso do solo, mas também, e com até maior ênfase, à água. Podemos até afirmar, que a água deve ser o seu fio condutor.

Por estas razões, tornar as cidades mais sustentáveis ambientalmente, passa necessariamente por considerar a água e por consequência os serviços de saneamento básico a ela vinculados – abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e coleta de resíduos – como variáveis essenciais no processo de urbanização.

Lembrando sempre que uma cidade mantém uma relação de simbiose com as águas. Como toda simbiose, existe uma relação ecológica próxima e interdependente, podendo apresentar consequências vantajosas, ou não, para pelo menos uma das partes. A cidade sustentável com foco em água, mantém uma simbiose que é vantajosa tanto para os seres que a habitam, quanto para as águas das quais todos dependem.

¹ONU-Habitat -Relatório Mundial das Cidades 2022

²IBGE - Censo 2022

³Ciência e Cultura On-line version ISSN 2317-6660 - http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252013000200003

Rodrigo Corradi¹ Rodrigo Perpétuo² Valeriana Augusta Broetto³

¹Secretário Executivo Adjunto e Diretor do ICLEI Brasil e doutorando na Universidade de São Paulo.

²Secretário Executivo do ICLEI América do Sul e Doutor pela Universidade de São Paulo.

³Consultora Regional de Gestão de Conhecimento e Juventudes do ICLEI América do Sul e doutoranda na Universidade de São Paulo.

Mais da metade da população mundial vive hoje em cidades (Ritchie; Samborska; Roser, 2025). Só na América Latina e no Caribe, essa porcentagem ultrapassa os 80%, com estimativas de que, até 2050, chegará a quase 90% (UNDESA, 2018). Vive-se, portanto, o Século das Cidades (Nature, 2010), marcado por desafios que são, por sua vez, amplificados pelas múltiplas crises da atualidade, como a climática e a de biodiversidade.

Um exemplo emblemático é o aumento do risco de enchentes, especialmente nos países da América do Sul, em decorrência da urbanização acelerada e da crescente exposição da população a áreas de risco (CRED, 2024). Sugere-se, nesse contexto, que cerca de metade dos danos causados por enchentes e um terço do impacto dos deslizamentos de terra poderia ser evitado por meio da alteração das práticas de uso do solo e da melhoria das condições socioeconômicas das populações em áreas de risco (Pivetta, 2016), o que se relaciona diretamente com os processos de urbanização nos países latino-americanos (Nunes, 2015; Rumbach, 2017), onde 10% a 50% da população urbana reside em favelas (Ritchie; Samborska; Roser, 2025).

Portanto, longe de alcançar os indicadores de sustentabilidade pactuados há mais de uma década por meio de acordos globais – como a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, o Acordo de Paris, o Marco Global de Biodiversidade e a Nova Agenda Urbana – as cidades têm se transformado em hotspots de risco de desastres (Pelling, 2007).

Essa distância entre as agendas climática, ambiental e urbana internacionais e a implementação a nível local relaciona-se não

apenas a tendências globais de desenvolvimento que seguem privilegiando o crescimento econômico em detrimento da redução das desigualdades e da proteção dos ecossistemas vitais, mas também à urgência de se considerar as necessidades e interesses locais na concretização dos objetivos globais.

O caminho político-normativo proposto pelos acordos internacionais relacionados à agenda da sustentabilidade tem o potencial de guiar regras vigentes à nível subnacional, induzir novos critérios para a formulação e o financiamento de políticas públicas e fomentar uma ruptura com o padrão dominante, ainda pautado na lógica capitalista neoliberal que subordina a cidade aos interesses do mercado. No entanto, por consistir em uma dinâmica “de forma para dentro” e “de cima para baixo”, esse caminho é importante, mas não suficiente para tornar as cidades mais sustentáveis.

É fundamental que as políticas internas derivadas desses acordos globais traduzam os interesses e necessidades do local, respeitando diferenças sociais, econômicas, culturais e ambientais. Para isso, é crucial a participação de diferentes grupos – sobretudo aqueles historicamente vulnerabilizados pelos processos de urbanização de risco (Rolnik et al., 2001) e atualmente mais afetados pelas múltiplas crises (IPCC, 2023).

Há décadas, movimentos sociais e de juventudes, aliados ao movimento negro, à resistência dos povos indígenas e comunidades tradicionais e a muitas outras frentes de luta socioambiental vêm denunciando a necessidade de uma mudança de paradigma rumo a sociedades mais justas, resilientes e em harmonia com a

natureza. Para alcançar cidades verdadeiramente sustentáveis, em termos sociais e ambientais, é imperativo que esses movimentos alcancem a tomada de decisão e a criação de políticas públicas a nível local, bem como influenciem mudanças mais amplas nas sociedades, desde as universidades e a pesquisa científica, passando pelo setor privado e corporativo, até chegar à vida cotidiana.

Para que as cidades sejam realmente sustentáveis, é necessário um movimento global, mas com raízes locais bem firmadas, que se traduza em posicionamentos políticos consistentes e em pressão social organizada. Assim, a sustentabilidade das cidades poderá ser alcançada por meio da retroalimentação entre os objetivos das agendas globais e a implementação local, não apenas em uma dinâmica “de cima para baixo”, mas também – e talvez principalmente – “de baixo para cima”.

Referências

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). **CRED Crunch**. July 2024. Disponível em: <https://files.emdat.be/2024/07/CredCrunch75.pdf>. Acesso em 10 nov. 2024.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2023: synthesis report**. Geneva: IPCC, 2023. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Nunes, Lucí Hidalgo. **Urbanização e desastres naturais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

Pelling, Mark. Urbanization and Disaster Risk. Panel contribution to the Population-Environment Research Network Cyberseminar on Population and Natural Hazards (November 2007).

Pivetta, Marcos. A more vulnerable Brazil in the 21st century: Projections point to increased risk of natural disasters such as floods, landslides and extreme drought in the coming decades. **Revista Pesquisa FAPESP**, issue 249, nov. 2016.

Ritchie, Hannah; Samborska, Veronika; Roser, Max. **Urbanization**. Our World in Data, 2025. Disponível em: <https://ourworldindata.org/urbanization>. Acesso em: 21 out. 2025.

Rolnik, Raquel *et al.* **Estatuto da Cidade**: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Câmara dos Deputados (Coordenação de Publicações), 2001.

Rumbach, Andrew. At the roots of urban disasters: planning and uneven geographies of risk in Kolkata, India. **Journal Of Urban Affairs**, [S.L.], v. 39, n. 6, p. 783-799, 10 mar. 2017.

United Nations Department on Economic and Social Affairs (UNDESA). **World Urbanization Prospects – The 2018 review**. Nova York: UNDESA, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

Theresa Williamson¹

¹Fundadora e Diretora Executiva da Comunidades Catalisadoras (ComCat), bióloga e doutora em planejamento urbano. Facilitou a construção coletiva da pesquisa citada, 'Memória Climática das Favelas'.

Aproximadamente 24% da população urbana mundial vive em favelas, “as áreas que correm o maior risco de sofrerem os efeitos das inundações, deslizamentos, secas, ondas de calor e incêndios urbanos”, como é explicado na apresentação da Carta COP30 das Favelas, atual iniciativa dos 1000 integrantes da Rede Favela Sustentável (RFS) do Rio de Janeiro.

A carta também menciona que as “favelas são a primeira, a mais comum e essencial forma de moradia de populações deslocadas em todo o mundo”.

Com essa realidade, identificar, implementar, manter e monitorar soluções sustentáveis nas favelas deve ser um foco de todos que estão preocupados com a sustentabilidade de nossas cidades, o habitat da maior parte dos humanos na Terra.

Nossa sorte é que identificar tais soluções não é um bicho de sete cabeças. Basta se aproximar de fato dos moradores de qualquer favela para saber quais são.

Durante três anos, foi conduzida a pesquisa coletiva, 'Memória Climática das Favelas', na qual onze museus e coletivos de memória de comunidades cariocas,² integrantes da RFS, juntos de aliados, desenharam e realizaram um grande levantamento de dados, qualitativos e comparativos, com base em histórias orais, contadas em grupos focais (rodas de conversa estruturadas) em dez favelas do Rio de Janeiro, resultando em 1.145 depoimentos por 382 participantes nas mais diversas zonas da cidade.

Foram levantados ricos registros de moradores antigos refletindo sobre mudanças climáticas, a relação das favelas com a natureza e com o direito à moradia, e quais saberes e soluções têm sido desenvolvidos para responder aos desafios impostos pelo clima.

Um dos resultados práticos foi uma dramática linha do tempo com 60 painéis, cobrindo desde o século XVI quando indígenas ocupavam e deram nome ao Rio Acari, até a enchente histórica neste mesmo Rio Acari, em 2024, que deixou 30.000 moradores com vidas, imóveis e pertences destruídos. “As mudanças climáticas, combinadas com um histórico de investimentos de asfaltamento sem drenagem adequada são as principais causas da enchente”, conclui o painel.

A lama, trazida pelos mais velhos como cotidiana, até o joelho, nas primeiras décadas, se tornou, após as obras de urbanização da década de 1990, a enchente certa até o segundo andar. Sem mais solos permeáveis, para onde iriam escoar as águas?

Dos 1.145 depoimentos coletados, 26% envolvem água. Em todas as dez favelas, sem induzir especificamente o assunto, moradores trouxeram histórias dos afluentes de suas favelas. Os mais velhos descreviam os rios de suas infâncias como limpos e abundantes. Em seguida, ao longo da urbanização da cidade, estes se tornaram “valões”, a visão expressada pelos jovens. A relação positiva com os afluentes mudou claramente durante as décadas de 1970 e 1980. A decisão política preguiçosa, preconceituosa e sem visão, de tornar os rios valões—ao invés de construir um sistema de saneamento apropriado—fez com que a relação dos moradores com seus afluentes se transformou, de amor, para medo e pavor.

Em uma cidade caracterizada por tantos corpos d'água—uma península rodeada por duas baías e o mar, contemplando diversas lagoas, pântanos e morros cheios de nascentes—talvez tenha sido feita uma avaliação de que o mar bastasse como lazer

²O projeto foi construído pelos seguintes museus e projetos de memória do Rio de Janeiro: Museu Sankofa (Rocinha), Núcleo de Orientação e Pesquisa Histórica de Santa Cruz (Antares), Museu de Favela (Pavão-Pavãozinho/Cantagalo), Núcleo Memórias do Vidigal (Vidigal), Museu da Maré (Maré), Alfazendo (Cidade de Deus), Centro de Integração da Serra da Misericórdia (Complexo da Penha), Museu Horto (Horto), Fala Akari (Acari), Conexões Periféricas (Rio das Pedras) e Museu das Remoções (Vila Autódromo).

aquático do carioca, e que os 267 cursos d'água dentro da cidade pudessem servir de lixeira. Para executar este fim, os esgotos foram canalizados até os afluentes, sendo estes cimentados, se tornando nosso principal sistema de saneamento, e em algumas favelas, gerando doenças, como leptospirose, leishmaniose, e hepatite.

Este contexto serve para sustentar as três claras soluções que surgiram no levantamento da pesquisa e exposição “Memória Climática das Favelas”. Em ordem de potencial prontidão de implementação, precisam ser implementadas e garantidas, com urgência, em nossas cidades:

1. Investimentos confiáveis e contínuos em iniciativas de base comunitária:

Por nascerem nas áreas mais difíceis de se ocupar—no caso do Rio de Janeiro quase sempre em áreas de morros e baixadas inundáveis (as terras que ‘sobraram’)—as favelas vivem de forma desproporcional impactos climáticos desde seus primórdios. Com isso elas já vêm desenvolvendo respostas e soluções, que devem ser reconhecidas, investidas e replicadas. Só no Rio, temos: “tetos verdes para resfriamento, hortas verticais, cooperativas solares comunitárias, polo de juventudes, quintais produtivos, agricultura urbana e periurbana, sistemas agroflorestais, tecnologias sociais em saneamento ambiental, museus comunitários, rodas de memória intergeracionais, cultivo de ervas, comunidades centradas em pedestres e termos territoriais coletivos para a regularização fundiária.”

2. Introdução de e substituição por solos permeáveis:

O problema da impermeabilização do solo em locais inadequados é particularmente pernicioso no contexto do Rio de Janeiro, onde ‘asfalto’ é sinônimo de desenvolvimento, se tornando um desejo simbólico dos cariocas, principalmente os desinvestidos e estigmatizados. Consequentemente é utilizado como moeda de troca eleitoreira, com investimentos públicos históricos na impermeabilização de solos em áreas alagáveis, sem sistemas de drenagem adequados. Investir em novas

tecnologias de solo de alta qualidade, duráveis, que garantem segurança e facilidade de passagem, porém são permeáveis, se torna urgente.

3. Saneamento adequado, renaturalização dos afluentes e reconexão com a natureza:

Já é bem difundido o dado da OMS de que R\$1 gasto com saneamento poupa R\$4 em saúde¹⁰. Enquanto isso, a prática e ciência de renaturalização de rios está bem evoluída em vários países,¹¹ mostrando diversos impactos positivos para mitigação de enchentes, gestão de águas pluviais, biodiversidade, saúde pública e renexão humana com a natureza.¹² Os custos são grandes, mas as obras são necessárias e o ganho será exponencial, quando os afluentes das cidades brasileiras forem restaurados e seus humanos vizinhos capazes de viver e conviver com sua biodiversidade, vivendo com dignidade, saúde e reconectando com a natureza.

Estes investimentos claros, levantados pelos coletivos da Rede Favela Sustentável em sua pesquisa de Memória Climática das Favelas, se implementados, irão amenizar significativamente os maiores impactos climáticos em nossas cidades: inundações, deslizamentos, secas, ondas de calor e incêndios. Sua realização é urgente.

Referências

United Nations Statistics Division. (2019). **SDG indicators**. Un.org; United Nations. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/goal-11>.

“Carta Aberta de Favelas, Comunidades Tradicionais e Marginalizadas de Todo o Mundo para as Autoridades Globais Presentes na COP30”. (2025). Rede Favela Sustentável. <https://www.favelasustentavel.org/carta-cop>.

“Memória Climática das Favelas”. (2025). Rede Favela Sustentável. <https://www.favelasustentavel.org/memoria-climatica>.

Linha do Tempo. “Memória Climática das Favelas”. (2025). **Rede Favela Sustentável**. linhadotempo.favelasustentavel.org.

Baroni, Amanda. “‘A Gente Tá Caminhando Para o Nosso Fim?’ História e Atualidade dos Cursos d’Água no Complexo da Maré Pintam Retrato da Insistência do Racismo Ambiental e Urgem Por Soluções.” (21 de outubro de 2025) **RioOnWatch**.

“Rios de Janeiro: Um manual dos rios, canais e corpos hídricos da cidade do Rio de Janeiro.” (2020) Rio-Águas.

https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/12762726/4321903/Arte_Livro_Rios_do_Rio_28x28CM_Fechado_Final_Atualizado_Abr_2021_final.pdf.

“Carta Aberta de Favelas, Comunidades Tradicionais e Marginalizadas de Todo o Mundo para as Autoridades Globais Presentes na COP30”, **Rede Favela Sustentável**, <https://www.favelasustentavel.org/carta-cop>.

BNDES Perfis setoriais. Saneamento.
<https://projectshub.bndes.gov.br/pt/setores/Sanitation>.

“Daylighting Rivers: A Hidden Gem of Climate Adaptation.” (January 21, 2025). **City Changers**.
<https://citychangers.org/daylighting-rivers/>.

Verde, Joe. “Unpave Paradise: Community Benefits of Daylighting.” (March 14, 2024). **Happy Eco News**.
<https://happyeconews.com/the-community-benefits-of-daylighting/>.

8 ENERGIA



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

ENERGIA E MEIO AMBIENTE

Autores: André Felipe Simões¹, Flávia Mendes de Almeida Collaço² e João Marcos Mott Pavanelli³

¹ Professor Doutor Associado 3 da Escola de Artes Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH/USP) e do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP). Doutor em Planejamento Energético (PPE/COPPE/UFRJ) e Pós-Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos (PSE/FEM/UNICAMP). Email: afsimoes@usp.br

² Professora Doutora da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Doutora em Ciências (área de Energia) pela USP. E-mail: flavia.collaco@usp.br

³ Professor Doutor da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Doutor em Ciências (área de Sustentabilidade) pela USP. Email: joaomarcos@alumni.usp.br

Sumário Executivo

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção de energia renovável. A proporção de energias renováveis na oferta interna de energia primária no país chega a aproximadamente 50%, a mais alta entre os países do G20. A eletricidade é quase toda produzida de fontes menos poluentes e tipicamente renováveis. Destaca-se, porém, que usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis ainda funcionam como resposta aos problemas de intermitência das renováveis.

Porém, de 2002 a 2023, o setor de energia do Brasil tornou-se mais carbono dependente. Em 2002, quando da publicação do Relatório GEO Brasil 1, o setor energético do Brasil contribuiu com 11,3% das emissões totais e Gases de Efeito Estufa (GEE) do país. Já em 2023, tal percentual aumentou para 18,3%, denotando que o país está na direção contrária à necessária descarbonização em prol do combate às mudanças climáticas e ao aquecimento global.

O nexo entre energia e meio ambiente no Brasil é forte. O país se caracteriza por uma oferta energética tipicamente renovável, porém marcada por impactos ambientais e pressões socioambientais. A sustentabilidade do nexus água-alimento-energia no Brasil depende de o país equilibrar a segurança alimentar interna, a

segurança hídrica, a transição energética justa e a produção agrícola para exportação vis-à-vis pressões socioeconômicas e climáticas.

A metodologia DPSIR indica que o contexto geopolítico internacional aporta ao Brasil uma crescente pressão em prol da transição energética, mas na condição de supridor global de matérias-primas necessárias à transição energética de países desenvolvidos, e de metas autoimpostas pelos países desenvolvidos na direção de tal transição. Forças-Motrizes (Driving Forces) apontam que a economia brasileira, em boa medida, se caracteriza pelo setor de agropecuária com participação em alta no contexto do PIB do Brasil, e pelos setores industrial e de serviços em estabilidade. Cabe mencionar que o crescimento populacional brasileiro também se encontra, contemporaneamente, estável.

As transições energéticas no Brasil se caracterizam por tendências desafiantes. Fontes menos poluentes e modernas têm reproduzido padrões de exploração de fontes tradicionais (fósseis, hidrelétrica). A ampliação da produção de energia renovável (solar e eólica) em larga escala ocasiona, muitas vezes, despossessão de terras e supressão de culturas e de estilos de vida. Políticas e planos de expansão da oferta energética não estão devidamente transversalizados com as noções de justiça energética. O futuro da

energia para motorização no Brasil tende a ser marcado por uma matriz híbrida, com forte presença de biocombustíveis, eletrificação gradual e avanços no emprego do Hidrogênio Verde (H2V). A atenuação de problemas correlatos à intermitência inerente às fontes energéticas solar e eólicas deve priorizar o armazenamento híbrido (hidrelétricas + baterias + H2V), o qual tende a ser menos custoso e mais eficiente do que tão somente a partir de baterias.

Maior grau de conexão entre políticas energéticas e ambientais (particularmente, climáticas) é premente em prol de menores impactos do setor energético ao meio ambiente. Os diversos impactos socioambientais correlatos ao setor

energético do Brasil representam, em boa medida, consequências de padrões históricos estabelecidos pelas usinas hidrelétricas; a atual miríade de externalidades socioambientais negativas não se deve, centralmente, a novas relações causa-efeito, não se deve a novos problemas ambientais decorrentes da produção e do consumo de energia. A justiça ambiental permanece um desafio fulcral para o planejamento energético nacional, exigindo a efetiva participação das populações impactadas nos processos decisórios, a distribuição equitativa dos benefícios e dos impactos dos empreendimentos energéticos, e o fortalecimento de mecanismos de consultas e poderes de veto.

Introdução

A tríplice crise ambiental — composta pelas mudanças climáticas, pela perda de biodiversidade e pela poluição — representa um dos maiores desafios sistêmicos da contemporaneidade. Como destaca Artaxo (2020), essas três dimensões não são apenas simultâneas, mas profundamente interconectadas, compondo um quadro de colapso ambiental que ameaça as bases biofísicas da vida no planeta.

A crise climática acelera a degradação dos ecossistemas, comprometendo a resiliência da biodiversidade, enquanto a poluição — atmosférica, hídrica e do solo — impacta diretamente tanto a saúde humana quanto o funcionamento dos ciclos naturais. A destruição da biodiversidade, por sua vez, reduz a capacidade dos ecossistemas de mitigar os efeitos das mudanças climáticas e de depurar poluentes, criando retroalimentações negativas que intensificam ainda mais a crise. Segundo Artaxo (2020), enfrentar essa tríplice emergência exige abandonar abordagens fragmentadas e desenvolver políticas integradas que reconheçam a inseparabilidade entre saúde planetária, justiça ambiental e sustentabilidade socioeconômica.

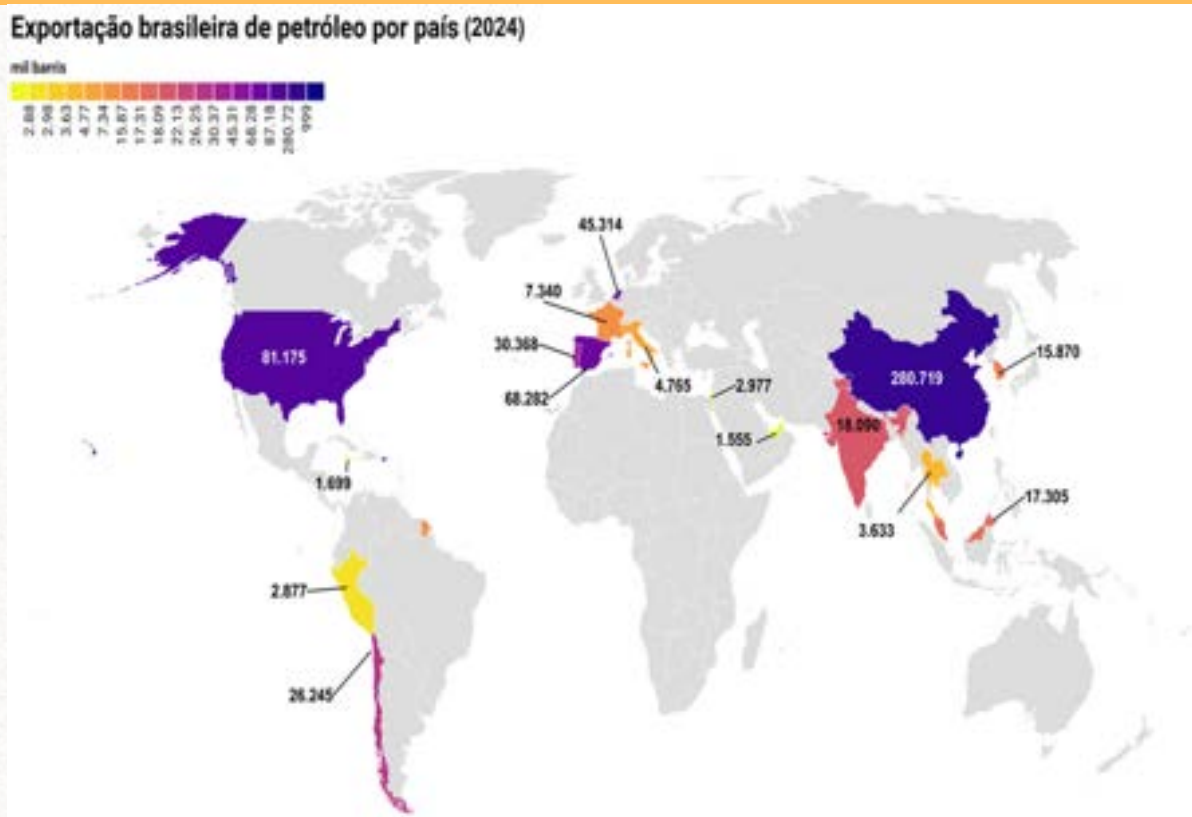
Nesse contexto, discutir a matriz energética brasileira torna-se ainda mais urgente. O Brasil é frequentemente citado como um exemplo mundial no uso de fontes primárias renováveis de energia, devido à elevada participação dessas fontes na sua oferta interna de energia primária. Entretanto, apesar desse protagonismo, é importante ressaltar que quase metade da sua oferta energética ainda é baseada em fontes fósseis

— especialmente petróleo e seus derivados, gás natural e carvão mineral — que, em 2023, representaram 49,5% do total da energia ofertada internamente (EPE, 2024).

Em outras palavras, o país mantém um equilíbrio quase exato entre fontes fósseis e renováveis, uma situação relativamente recente, atingida apenas nos últimos dois anos. Historicamente, a predominância das fontes fósseis foi marcante; e mesmo hoje, o petróleo continua sendo a principal fonte energética da oferta de energia primária do Brasil. Vale destacar que a média mundial de oferta energética proveniente de fontes renováveis é de apenas 14,6% (incluindo a geração hidrelétrica) (EI, 2024), o que torna a situação brasileira particularmente contrastante. No entanto, esse contraste positivo não deve ocultar os desafios persistentes.

No que tange à parcela fóssil, cabe frisar que a maior parte desta oferta energética não renovável se refere à soma de petróleo e seus derivados (35,1%) e gás natural (9,6%), sendo que ambas as fontes energéticas fósseis vêm apresentando tendência de queda na última década na composição da oferta interna de energia, ainda que a produção total de petróleo e gás natural no país venha registrando sucessivos recordes. Frisa-se que, recentemente, fundamentalmente devido à produção petrolífera a partir da camada Pré-Sal, o Brasil se consolidou como um dos principais países exportadores de petróleo do mundo; e exportando tal combustível fóssil para diversos países, conforme evidencia a Figura 8.1. Nesse contexto, destaca-se que, em 2024, o país exportou cerca de 52% de sua produção de petróleo (640 milhões de barris), principalmente para: China, com 44%; Estados Unidos, com 13,7%; e Espanha, com 10,7% (ANP, 2025).

Figura 8.1 - Mapa de exportação de petróleo brasileiro por país de destino da produção nacional (dados de exportação em mil barris/dia)

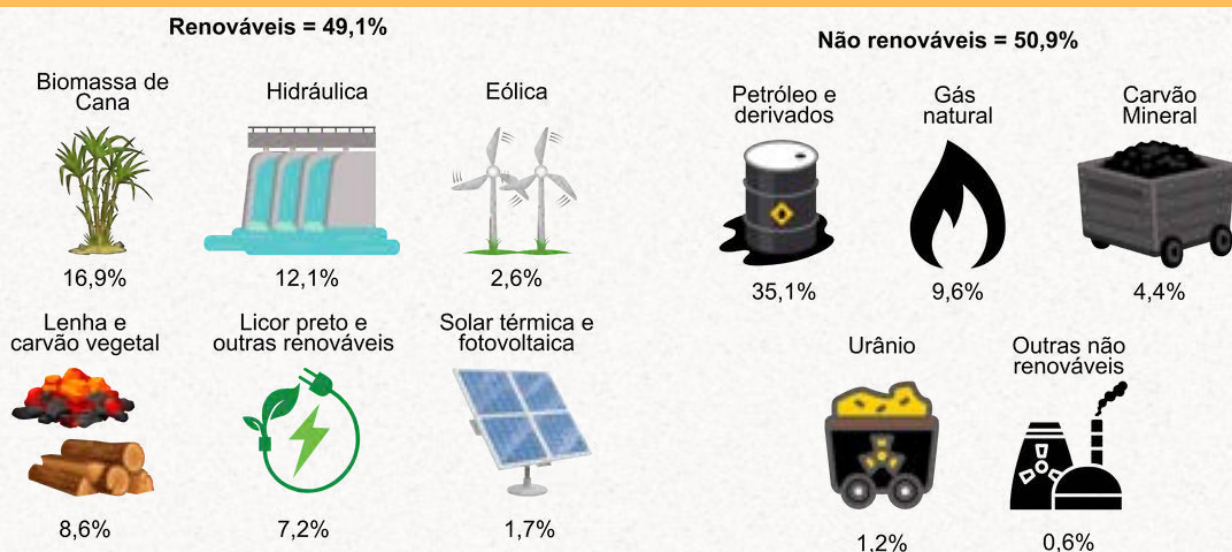


Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da ANP (2025).

Destaca-se, ainda, que, em fevereiro de 2025, a produção de tais energéticos, basicamente devido às atividades de E&P (Exploração e Produção) conduzidas, fundamentalmente, pela Petrobras¹ atingiu o patamar de 4,487 milhões de barris de óleo equivalente por dia (boe/d), sendo 3,488

milhões de barris petróleo por dia, e 158,76 milhões de m³ por dia de gás natural (ANP, 2025). Nesse contexto, a Figura 8.2 explicita a participação de cada fonte energética, renovável e não renovável, na oferta interna de energia do Brasil, em 2023.

Figura 8.2 - Composição percentual para o ano de 2023, por fonte, da oferta interna de energia primária no Brasil



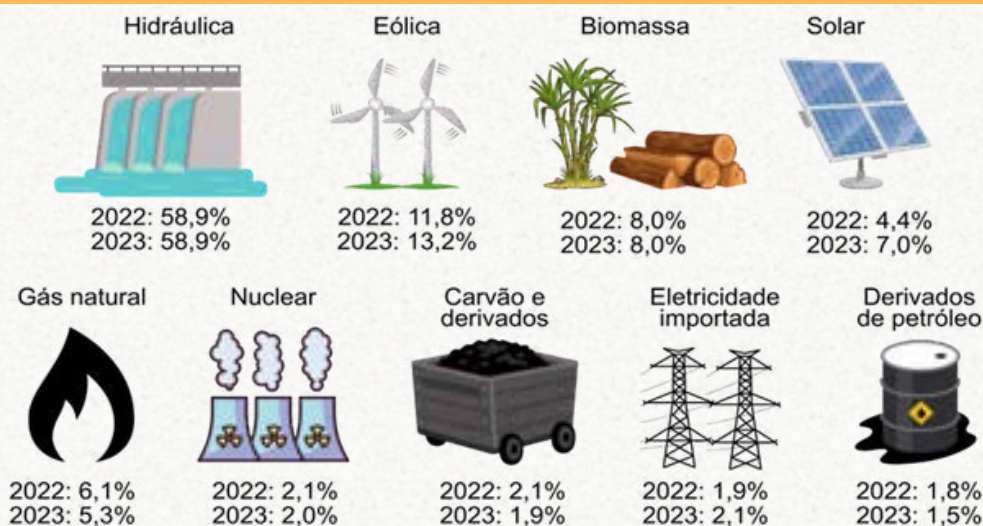
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da EPE (2024).

¹ A Petrobras, atualmente, opera cerca de 90% da produção total de petróleo e gás natural por meio de consórcios com outras empresas, tais como Shell, TotalEnergies, Equinor, PetroRio, 3R Petroleum, PetroChina, Galp, dentre outras (ANP, 2025b).

A participação de fontes renováveis é mais significativa quando tratamos apenas da oferta interna da eletricidade, conforme ilustrado pela Figura 8.3. O percentual é o mais alto entre os países do G20. Destaca-se,

nesse contexto, que foram registradas quedas na participação de todas as fontes fósseis entre 2022 (total produzido de energia elétrica = 69 TWh) e 2023 (total produzido de energia elétrica = 723,2 TWh) (EPE, 2024).

Figura 8.3 - Composição percentual, em 2022 e em 2023, por fonte energética, da oferta interna de eletricidade no Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da ANP (2024).

Tal cenário coloca o Brasil em uma situação confortável quando comparado aos demais países do mundo, tanto aqueles representativos do Norte Global quanto aqueles caracterizadores do Sul Global. De fato, nos últimos anos o país avançou nos principais rankings mundiais de produção de eletricidade a partir de usinas solares fotovoltaicas e de usinas eólicas. Atualmente, o Brasil possui o 6º maior parque de geração por energia solar do mundo, com 53 GW de potência instalada, e o 5º maior parque do planeta em energia eólica, com 33,7 GW de potência instalada (IRENA, 2025; ABSOLAR, 2025). A região do país que mais se destaca nesse contexto, e de modo bastante expressivo, é a Região Nordeste, que responde por 75% da potência instalada, no Brasil, em energia solar, e por 88% da potência instalada, no país, em energia eólica (EPE, 2025a).

Fundamentalmente nos últimos 10 anos, a geração de eletricidade por meio de usinas hidrelétricas, que por décadas sustentaram a renovabilidade da oferta energética nacional, vem perdendo espaço para a geração por usinas solares fotovoltaicas e eólicas. Isto se deveu aos custos elevados associados a

construção de grandes usinas hidrelétricas (UHE) e, principalmente, aos impactos socioambientais, tipicamente de proporções relevantes, inerentes a tais construções, as quais provocaram e provocam conflitos entre empresas do setor energético e a população local impactada. Tal população, em geral, é constituída por indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais da Amazônia, onde se localiza o maior potencial hídrico do Brasil para a instalação das UHE, o qual foi calculado em 100 MW, ou cerca de 50% de potencial hidrelétrico total do país (Junk e De Mello, 1990). O caso da construção do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, no rio Xingu, inaugurado em 2016, é emblemático nesse sentido, também pelo fato de o Brasil ter recebido críticas intensas no exterior.

Apesar de o Brasil, comparativamente à ampla maioria dos países, não ser relevante emissor de GEE por conta de seu sistema energético, devido às elevadas emissões associadas ao desmatamento e à agropecuária, o país posiciona-se entre os dez países que mais emitem GEE no planeta; o país, em 2022, emitiu 1.537, 74 MtCO₂e (Climate Watch, 2025), sendo que, nesse mesmo ano, acima do Brasil, os maiores

emissores de GEE, em ordem crescente, foram: Rússia (1.821,21 MtCO₂e), União Europeia (27) (3.060,91 MtCO₂e), Índia (3.737,4 MtCO₂e), Estados Unidos (5.604,33 MtCO₂e) e China (12.715, 91 MtCO₂e) (Climate Watch, 2025).

Evidentemente, as emissões de GEE chinesas e estadunidenses são proporcionais não apenas às fontes energéticas mais utilizadas nesses países; de fato as emissões de tais países são proporcionais também a seus respectivos colossais consumos energéticos, quando comparados com a ampla maioria dos países (em que se pondere o notável tamanho da população chinesa, que representa cerca de quatro vez a estadunidense). Dada essa diferença em termos de emissões de GEE entre Brasil e Estados Unidos e China, faz justeza questionar a proporcionalidade das responsabilizações pelos impactos ao meio ambiente, assim como a respeito da efetividade dessas responsabilizações serem autodeterminadas pelas partes, o que é visto como o grande trunfo da COP21, realizada em 2015, em Paris, particularmente no que se refere à concepção do Acordo de Paris. Se, por um lado, as NDC² avançaram na ratificação do que fora acordado desde a COP21 acerca da proteção ao clima em níveis nacionais³, por outro permitiu que os estados abandonassem estes compromissos assim que outras prioridades (geopolíticas, econômicas ou mesmo em termos de disputas eleitorais) entrassem nas agendas políticas internas.

Por sua vez, a demanda energética brasileira, e do Sul Global como um todo, precisa ser entendida também pelo prisma da geopolítica. Na periferia do capitalismo, os países representativos do Sul Global

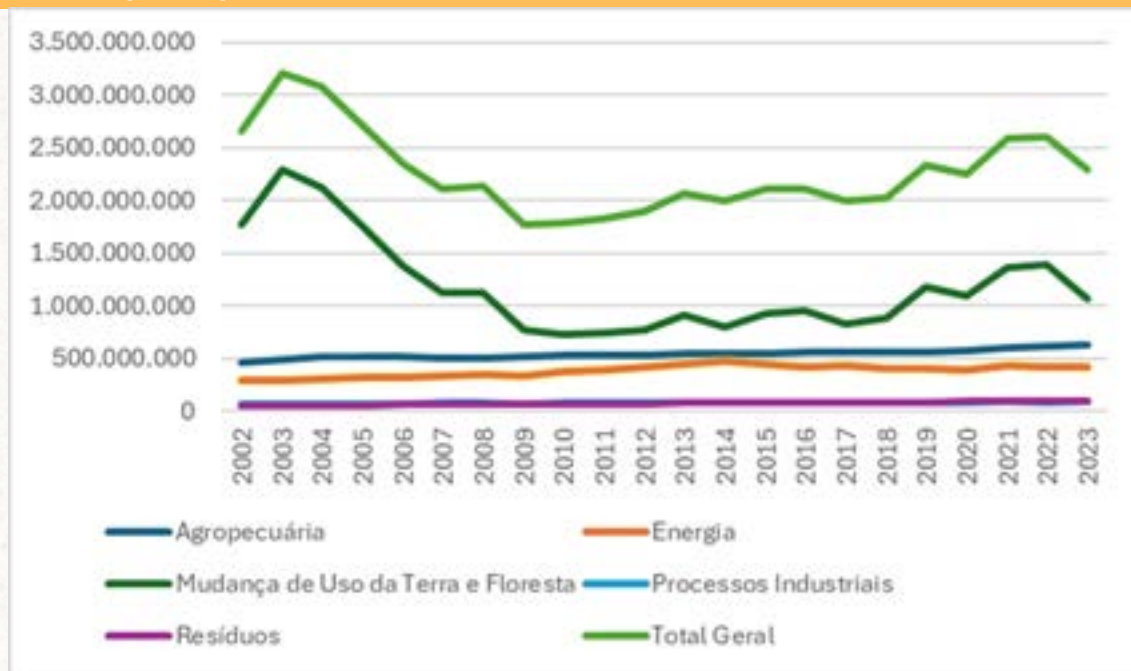
exercem, no que é concernente à divisão internacional do trabalho, a função de exportação de bens primários (commodities de relativamente baixo valor agregado) para países do Norte Global (Fernandes, 1975; Traldi, 2018). Adido à histórica desigual distribuição de renda do Brasil, acaba por implicar em índices agregados, como PIB e produção primária energética, que calculam a intensidade energética de modo imperfeito. Isso significa dizer que muita da energia produzida internamente é enviada para fora, é exportada embutida em produtos primários. Portanto, no caso brasileiro, a análise de dados agregados sobre os usos finais industriais e agropecuários, idealmente, deve considerar tais limitações.

Para fins de complementação deste diagnóstico geral, urge caracterizar a produção e o consumo de energia no Brasil em termos de suas associadas emissões de GEE. Nesse sentido, apresenta-se a Figura 8.4. Destaca-se, pelos dados da Figura 8.4, que, em 2002, quando da publicação do Relatório GEO Brasil 1, a produção e o consumo de energia no Brasil foram responsáveis pela emissão, à atmosfera, de 298.120.476 tCO₂e, o equivalente a 11,3% das emissões totais de GEE pelo país, em 2002. Já no caso do presente Relatório GEO Brasil 2025 (GEO Brasil 2), considerando recentes dados consolidados (ano de 2023), ressalta-se que o setor energético do Brasil foi responsável pela emissão de 420.067.849 tCO₂e, o que representou, em 2023, 18,3%, das emissões brasileiras totais de GEE (SEEG, 2024). Destarte, ao contrário da necessária descarbonização em prol do combate às mudanças climáticas e ao aquecimento global, o setor de Energia do Brasil tornou-se, de 2002 a 2023, mais carbono dependente.

² NDC significa “Contribuições Nacionalmente Determinadas” (Nationally Determined Contributions, em inglês). As NDCs são os compromissos que cada país assume em prol da mitigação das emissões de GEE e, concomitantemente, visando se adaptar aos impactos das mudanças climáticas, como parte do Acordo de Paris. As NDCs são revisadas a cada cinco anos, objetivando o aumento da ambição climática dos países e alinhar as metas com o limite de 1,5 °C de aumento da temperatura média da superfície terrestre comparativamente a era pré-industrial (ou seja, antes de fins do século XVIII).

³ E muito devido ao seu caráter legitimista e focado na autodeterminação e soberania dos estados.

Figura 8.4 - Emissões de Gases de Efeito Estufa pelo Brasil, entre 2002 e 2023, por setores (tCO₂e)



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de SEEG (2024).

Diante de tais considerações, o presente capítulo objetiva, em última instância, caracterizar e analisar as inter-relações entre o setor energético do Brasil e as contemporaneidades representativas da questão socioambiental, considerando, para tanto e em especial, os impactos inerentes à produção e consumo de energia ao meio ambiente brasileiro – o qual é marcado por sua vasta biodiversidade, incluindo a maior extensão de floresta tropical do planeta (ou seja, a Floresta Amazônica), amplas reservas de água doce e toda uma gama de biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e os Pampas) e ecossistemas (tais como os ecossistemas litorâneos Restinga e Manguezal), cada um com especificidades únicas de solo, vegetação, clima, flora e fauna. Frisa-se que este capítulo cotejou, nas análises correlatas às inter-relações entre o setor energético brasileiro e o meio ambiente, as desigualdades socioeconômicas historicamente tão características do Brasil⁴, assim como as especificidades correlacionáveis à energia (produção e, principalmente, consumo) inerentes aos setores energético, residencial, de transporte e industrial do país. Destaca-se

que a rota metodológica adotada no desenvolvimento do presente capítulo baseou-se em pesquisa documental, revisão bibliográfica sistemática e em análises críticas.

Visando o atingimento do objetivo anteriormente citado, o presente capítulo foi estruturado e desenvolvido através das seguintes subseções: 1. Introdução (a presente subseção); 2. Análise da qualidade ambiental do setor energético brasileiro (a próxima subseção, e que se segmenta em 2.1 A Metodologia DPSIR (Driver-Pressão-Estado-Impacto-Resposta) aplicada à qualidade ambiental do setor energético do Brasil; e 2.2 O nexus água-alimento-energia no Brasil); 3. Energia e meio ambiente no Brasil no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; 4. Transformação verde no contexto do setor energético brasileiro (que se segmenta em 4.1 A Intermitência das fontes renováveis modernas; e 4.2 Panorama H₂); 5. Principais estratégias e ações voltadas à redução das emissões de GEE relacionadas à energia nos setores mais demandantes de tal insumo (a qual se subdivide em 5.1 O setor energético brasileiro e perspectivas de mitigação das

⁴ A acentuada desigualdade social típica do Brasil pode ser mais bem compreendida através dos dados da Oxfam, a qual aponta que, no país, os 10% mais ricos concentram quase 59% da renda nacional e os 50% mais pobres detêm uma fatia mínima da riqueza (1% em 2021) (OXFAM Brasil, 2021).

emissões de GEE associadas; 5.2 O uso de energia pelo setor de transporte e perspectivas de mitigação das emissões de GEE associadas; 5.3 O uso de energia pelo setor industrial e perspectivas de mitigação das emissões de GEE associadas; e 5.4 O uso de energia pelo setor residencial e perspectivas de mitigação das emissões de GEE associadas); 6. O setor de energia no Brasil pela perspectiva da justiça ambiental: Análise com foco na necessidade de superação de entraves à Transição Energética Justa; 7 Síntese Analítica; e, por fim, 8. Recomendações prioritárias. Subsequentemente à Subseção 8, apresenta-se a listagem das referências bibliográficas adotadas.

Análise da qualidade ambiental do setor energético brasileiro

A Metodologia DPSIR (Driver-Pressão-Estado-Impacto-Resposta) aplicada à qualidade ambiental do setor energético do Brasil

A metodologia DPSIR se refere, sucintamente, a uma estrutura analítica focada na compreensão das complexas inter-relações entre o meio ambiente e a sociedade, sendo útil especialmente na elaboração de políticas públicas ambientais e em avaliações ambientais. No caso do setor de energia, a metodologia DPSIR pode ser relevante, por exemplo, na concepção ou no aprimoramento de arcabouços jurídicos (novas leis, por exemplo), na definição de políticas e regulamentações e na orientação estratégica de investimentos em tecnologias para fomento das energias renováveis.

Com o intuito de tornar mais dinâmica a visualização da metodologia DPSIR aplicada ao setor energético brasileiro vis-à-vis a qualidade ambiental deste setor, apresenta-se a Figura 8.5, a qual explicita

os elementos centrais deste exercício de aplicação da DPSIR ao setor energético do Brasil.

Figura 8.5 - Esquematisação do exercício de aplicação da metodologia DPSIR ao setor de energia do Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Análise ampliada da aplicação da metodologia DPSIR ao setor energético do Brasil

Cabe frisar, adicionalmente, que em termos de Forças-Motrizes (Driving Forces) poder-se-ia também citar que a economia brasileira, em boa medida, se caracteriza pelo setor de agropecuária com participação em alta no contexto do PIB do Brasil, e pelos setores industrial e de serviços em estabilidade. Outrossim, urge mencionar que o crescimento populacional brasileiro também se encontra, contemporaneamente, estável. Ainda no que tange às forças-motrizes inerentes à metodologia DPSIR, o contexto geopolítico internacional aporta ao Brasil uma crescente pressão em prol da transição energética (mais na condição de supridor global de matérias-primas necessárias à transição energética de países desenvolvidos, ressalta-se) e de metas autoimpostas pelos países desenvolvidos na direção de tal transição; cabe citar, nesse contexto, o acintoso aumento da produção de componentes para implantação de usinas energéticas a partir de fontes renováveis, principalmente chineses, com alta competitividade em relação às fontes fósseis (IRENA, 2024).

No que tange às Pressões (Pressures), cabe destacar, em cenário de médio prazo (entre oito e dez anos, provavelmente), a potencial E&P de petróleo e gás natural em região próxima à Foz do rio Amazonas e

na Margem Equatorial Brasileira. Além disso, nesse mesmo contexto, poder-se-ia mencionar ainda: (a) O armazenamento de gás natural no sul do Estado de Alagoas; (b) O provável aumento do desmatamento no Semiárido brasileiro (Região Nordeste) correlato ao avanço de megaprojetos solares fotovoltaicos e eólicos (principalmente), impactando socioambiental e socioeconomicamente os territórios e suas populações (Traldi, 2018); (c) Conflitos por terra associáveis à expansão de usinas eólicas no Semiárido; (d) Avanço da geração fotovoltaica distribuída capaz de afetar a capacidade de previsibilidade do despacho nacional e dos custos operacionais da rede de distribuição elétrica; (e) A dependência ainda excessiva pela geração de eletricidade a partir das grandes usinas hidrelétricas torna o SIN (Sistema Interligado Nacional) vulnerável a secas e mudanças nos padrões de precipitação (aspectos em mutação devido às mudanças climáticas); (f) Há desafios importantes quanto à sustentabilidade da produção de energia a partir da biomassa (competição com a produção de alimentos e uso excessivo de defensivos agrícolas, por exemplo).

No que se refere ao Impacto (*Impact*), cabe ainda mencionar que a E&P na Margem Equatorial Brasileira pode gerar impactos profundos na população local, bem como aumento das emissões de GEE em nível nacional e global – neste contexto, frisa-se que um cálculo realizado pelo Instituto ClimaInfo, numa análise perpetrada com base em estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024a), aponta que cerca de 4,7 GtCO₂ poderiam ser emitidos à atmosfera, o que representa mais de duas vezes o que todo o Brasil, em 2023, emitiu. E, considerando integralmente a Margem Equatorial, a região no mar entre a costa do Amapá e do Rio Grande do Norte, na qual se localiza a Foz do rio Amazonas, poderiam ser emitidos cerca de 13,5 GtCO₂, patamar de

emissões que representa mais de cinco vezes tudo que o Brasil lançou à atmosfera, em 2023, em termos de CO₂, incluindo as emissões inerentes ao setor de energia e àquelas devido ao desmatamento, o principal vetor explicativo das emissões brasileiras de CO₂ (Frighetto, 2025). Nesse contexto, urge também citar: (a) O avanço das usinas solares e eólicas (*onshore e offshore*) compromete estilos de vida locais, potencialmente promovendo psicopatologias e êxodo rural, além de impactos ao patrimônio sociocultural e arqueológico e de oferecer risco de contaminação e estagnação de lençóis freáticos (TRALDI, 2018; Observatório da Energia Eólica, 2019); e (b) O avanço da geração solar fotovoltaica pode gerar subsídios cruzados que tornem a conta de luz mais cara para pessoas em situação de pobreza.

Em nível de Resposta (*Response*), adicionalmente cabe mencionar a premente necessidade de criação de processos de consultas públicas e, concomitantemente, a importância de se considerar cosmovisões locais alternativas sobre desenvolvimento, alocando, inclusive, eventuais poderes de veto para populações marginalizadas, as que, tipicamente, são as mais impactadas pelos processos de geração/exploração, transmissão e distribuição/transporte de energia. Nesse mesmo contexto, são também prementes as seguintes estratégias: (1) Desenvolver amplo debate envolvendo poder público, universidades e comunidades locais que convirja para um arcabouço institucional próprio para o licenciamento de projetos energéticos renováveis⁵ que ultrapassem 5 MW de potência instalada, e de modo correlato, fiscalizar e penalizar, exemplarmente, o avanço dos megaprojetos eólicos que desmatem o Semiárido; (2) Debater a Resolução Normativa 482 (RN482), que estabeleceu as condições gerais para acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição e

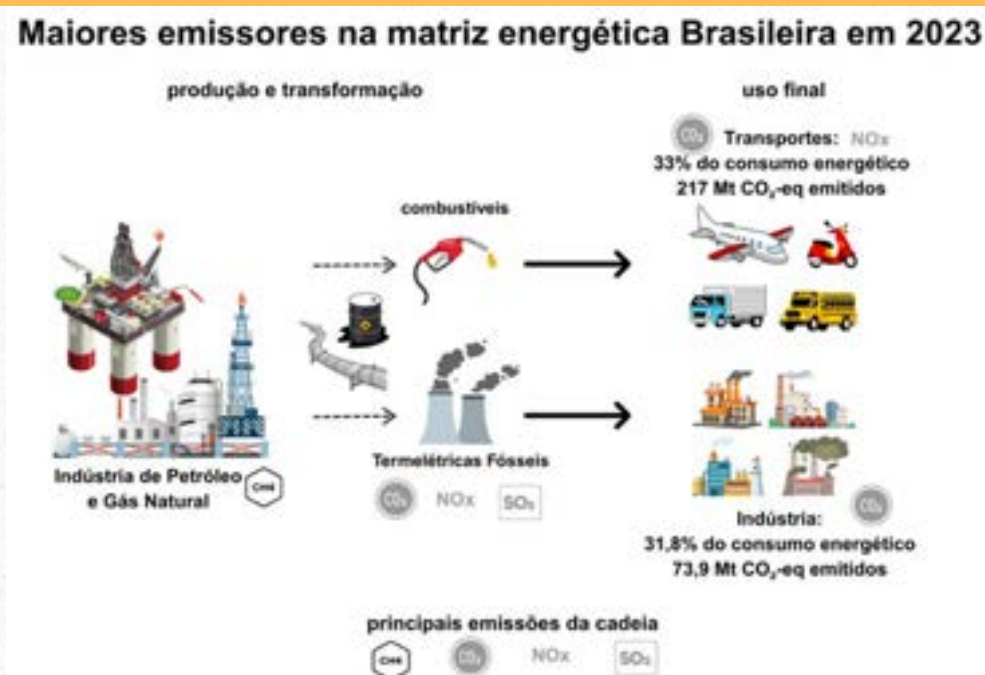
⁵ A partir da aprovação da Lei Geral do Licenciamento Ambiental (LGLA), de nº 15.190/2025, empreendimentos energéticos considerados de baixo e médio impacto (tais como reforços de subestações, pequenas e micro usinas hidrelétricas – PCHs – e determinadas usinas solares fotovoltaicas) tendem a experimentar prazos menores e procedimentos simplificados, reduzindo o tempo de desenvolvimento. Esta Lei foi sancionada pelo Presidente Luiz Inácio Lula da Silva em agosto de 2025, após anos de tramitação, com foco na desburocratização e na uniformização dos procedimentos para a emissão de licenças ambientais no Brasil. O texto final, originado a partir do Projeto de Lei (PL) 2.159/2021, aprovado pelo Congresso Nacional, recebeu 63 vetos presidenciais em prol de fomento à segurança jurídica, proteção ambiental e manutenção dos direitos de povos quilombolas e indígenas. Destaca-se, porém, que uma participação mais intensa (ou mais exclusiva) das próprias empresas responsáveis por empreendimentos energéticos na avaliação do que pode, ou não, ser considerado como de baixo e médio impacto pode vir a gerar dificuldades para atingimento dos objetivos dos vetos presidenciais.

compensação de eletricidade, de modo a repensar as compensações futuras de excedentes energéticos, retendo uma parte proporcional da eletricidade para um fundo social para manutenção dos custos tarifários; (3) Mitigar as externalidades negativas associáveis à intermitência inerente à geração de eletricidade a partir das usinas solares e eólicas por meio de desenvolvimento de tecnologias de armazenagem (baterias) ou de bombeamentos, movidos pelo excedente de renováveis, capazes de reabastecer os reservatórios das hidrelétricas. Nesse sentido, ainda que por enquanto signifiquem experiências tipicamente pontuais, *microgrids*⁶ podem ser muito mais adotados Brasil, afinal viabilizam a integração da eletricidade gerada a partir de usinas solares e eólicas com armazenamento (sistemas térmicos,

baterias, hidrogênio) e geração complementar por meio de diesel de backup, PCHs, biogás ou biomassa, deste modo, *microgrids* operam garantindo continuidade de fornecimento, além de estabilidade de tensão e frequência.

Ampliando a caracterização e análise da qualidade ambiental do setor energético do Brasil, apresenta-se Figura 8.6, que evidencia os principais setores que contribuíram para as emissões de GEE no contexto da oferta energética primária no Brasil. É possível observar que a indústria de petróleo e gás, que mais polui no setor energético, produz combustíveis fósseis para transportes e para as termelétricas, que por sua vez sustentam a produção e atividade industrial. Para que energia fóssil vire trabalho (transporte e produção) foram emitidos 290,9 Mt de CO₂ equivalente em 2023.

Figura 8.6 - Principais setores contribuintes para as emissões de GEE no contexto da oferta energética do Brasil, em CO₂e, relativamente ao ano de 2023



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de EPE (2024).

Quanto ao Estado (*State*), o qual, em última instância, se refere à condição atual do meio ambiente, considerando aspectos físicos, químicos e biológicos (Exemplos: qualidade da água, níveis de poluição do ar, biodiversidade). Nesse contexto, adicione-se a contribuição relevante do Brasil ao avanço das mudanças climática; conforme analisado anteriormente, o país

está entre os dez principais maiores contribuintes ao avanço das mudanças climáticas e a seu mais proeminente fenômeno, o aquecimento global, pelo porte relativamente vultoso de suas emissões de GEE: 2,3 GtCO₂e, em 2023 (SEEG, 2024) – tal cenário se associa a diversas negativas externalidades socioambientais e socioeconômicas à população brasileira e

⁶ *Microgrids* referem-se a pequenos sistemas de distribuição de energia que podem funcionar conectados de forma independente (no chamado “modo-ilha”) ou diretamente conectados à rede elétrica principal.

aos biomas e aos ecossistemas característicos do país. O contraponto a tal quadro, salienta-se, é que houve avanços recentes (2023 e 2024) no combate e no controle ao desmatamento. No entanto, as recorrentes crises hídricas (as quais vêm sendo agravados pelo avanço das mudanças climáticas, que, por sua feita, induz a episódios de seca grave), e medidas legais que fragilizam a condição geral do meio ambiente no país⁷, indubitavelmente, representam retrocessos importantes.

Para além da emissão de poluentes gasosos, particularmente os GEE, o setor energético brasileiro é responsável por toda uma gama de formas de gerar danos ao meio ambiente. Nesse sentido, deve-se

mencionar os impactos ambientais correlatos à poluição térmica e aquática (alteração de temperatura em corpos d'água por usinas hidrelétricas e termelétricas), a geração de resíduos sólidos e tóxicos (cinzas e escórias de termelétricas a carvão mineral ou óleos e lubrificantes utilizados em turbinas e geradores, por exemplo), os impactos diversos aos ecossistemas, o ruído ambiental, os impactos à saúde e a poluição visual, dentre outros. Nesse sentido, visando ampliar a caracterização, análise e compreensão dos impactos diretos e indiretos do setor de energia do Brasil, apresenta-se a Figura 8.7, que esquematiza tais externalidades socioambientais negativas.

Figura 8.7 - Principais origens, composição e impactos das emissões de GEE decorrentes do uso de energia no Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores em uso de Inteligência Artificial, 2025. Nota: Os parâmetros e as premissas definidas em prol da elaboração do infográfico em questão foram desenvolvidos pelos autores do presente Capítulo 7.

Cabe mencionar que os impactos socioambientais apresentados pela Figura 8.7 representam, em boa medida, consequências de padrões históricos estabelecidos pelas usinas hidrelétricas; ou seja, tal miríade de externalidades socioambientais negativas não se deve, centralmente, a novas relações causa-efeito, não se deve a novas tipologias de problemas ambientais decorrentes da produção e do consumo de energia. De

fato, a maioria das principais usinas hidrelétricas do Brasil se relaciona à inundação de áreas extensas, ao desmatamento e perda de habitats, a alterações no regime hídrico, à emissão de GEE (afinal, a decomposição da matéria orgânica submersa libera metano e gás carbônico) e a diversos impactos sociais (conflitos territoriais, desapropriações e prejuízos às formas de vida tradicionais, em particular). Nesse contexto, é possível

⁷E, portanto, fomentam a perda de biodiversidade, que, dentre outras externalidades negativas, relaciona-se a maiores vetores à transmissão de doenças.

menção, por exemplo, que a UHE de Jirau (RO), inaugurada em 2016, alterou a dinâmica do Rio Madeira (impactando, assim, espécies migratórias como o dourado), causou deslocamentos populacionais e impactos sobre comunidades tradicionais; que a UHE de Tucuruí (PA), inaugurada em 1984, formou um dos maiores reservatórios artificiais do mundo (2.850 km²), alagou florestas, causou deslocamento de cerca de 30.000 pessoas, além de ter provocado perda de fauna aquática e de capacidade pesqueira; que a UHE de Balbina (AM), inaugurada em 1989, para gerar relativamente pouca energia elétrica causou o alagamento de uma imensa área de Floresta Amazônica (2.360 km²), o que resultou em perda de biodiversidade, aumento da emissão de metano e deslocamento da comunidade indígena Waimiri-Atöari; ou ainda que a UHE de Belo Monte (PA), inaugurada em 2011, um caso paradigmático mundialmente reconhecido de geração de problemas sociais e ambientais, causou a remoção de milhares de famílias habitantes do Município de Altamira e de municípios vizinhos, alterou o regime do Rio Xingu (afetando, assim, populações ribeirinhas e indígenas em suas capacidades pesqueiras de navegação através do Rio Xingu) e provocou perda de biodiversidade aquática e conflitos socioambientais (Lima, 2022; Johansen et al., 2025).

O nexus água-alimento-energia no Brasil

O nexus em questão refere-se a meios de se caracterizar e analisar as interdependências e inter-relações existentes, ou que podem passar a existir no futuro, entre três setores estratégicos para o desenvolvimento sustentável do país, quais sejam: recursos hídricos, produção e consumo de alimentos, e geração e consumo de energia. No caso do Brasil, o nexus água-alimento-energia, de modo geral, caracteriza-se por pontos positivos fortes e, concomitantemente, por desafios específicos.

O supracitado nexus por ser caracterizado no país pela forte dependência por usinas hidrelétricas (UHE) na composição da oferta interna de eletricidade. As UHE necessitam de grandes áreas alagadas, especialmente quando não são UHEs a fio d'água, as quais não possuem grandes reservatórios e aproveitam a força da correnteza do rio na geração elétrica. Com isto, recorrentemente, ocorre comprometimento de eventual lavoura agrícola, de áreas para pasto e de quaisquer usos do solo, incluindo os modos de vida (*modus vivendi*) das populações locais, as quais, no contexto de construção das UHEs, invariavelmente, têm de ser removidas, o que pode implicar em aumento do êxodo rural e da marginalização populacional em áreas urbanas. A mesma competição por terra vem sendo observada através da espoliação de pequenos proprietários rurais do interior nordestino, particularmente para implementação de novas usinas eólicas. Para além da retirada total de moradores, ainda há problemas com os que (compreensivelmente) se recusam a sair, os quais, dentre outros problemas, são impactados pelo sombreamento constante e pelo contínuo ruído sonoro de operação das pás eólicas, aspectos que afetam a saúde mental, a produtividade agropecuária e a qualidade de vida dessas pessoas (Traldi, 2018). O mesmo quadro é esperado também no caso do avanço da fonte solar fotovoltaica, já sendo possível observar os efeitos deletérios inerentes à competitividade entre geração elétrica e uso de terra para agricultura familiar em países como a Índia, afetando, desproporcionalmente, as mulheres (Stock e Sovacool, 2024).

O nexus água-alimento-energia no Brasil também é emblemático quanto ao uso da terra para produção de biocombustível, especialmente devido às amplas áreas destinadas à produção da cana-de-açúcar, matéria-prima essencial à fabricação do etanol. No Estado de São Paulo, que responde pela maior parte da produção nacional de cana-de-açúcar e de etanol, parte relevante dos cultivos originais (alguns tipos de grãos, leguminosas e frutas) foram deslocados para produção da cana-de-açúcar, e, de modo correlato, para

produção de etanol (Piacente et al., 2022). Nesse contexto, certa perda da qualidade nutricional às populações locais mais socioeconomicamente vulnerabilizadas pode ter ocorrido neste processo, na medida em que determinados alimentos podem ter se tornado mais caros diante da necessidade de transporte a partir de locais de produção eventualmente mais distantes dos locais de consumo. Segundo Bermann (2008), seria impossível para o Brasil optar por substituir todo o seu combustível fóssil por biomassa, dada as escalas de terras agrícolas demandadas, sem contar os defensivos agrícolas que são à base de combustíveis fósseis e, majoritariamente, importados.

No que se refere a outras interdependências do nexus ora em análise, cabe ainda mencionar: (1) Água → Alimento → Energia. A irrigação é vital em determinadas regiões do Brasil. Nesse contexto, eventual falta de água (associada a menos chuvas) reduz a produtividade agrícola e os níveis dos reservatórios das UHE, implicando em redução da produção de eletricidade por tais usinas; (2) Água → Energia. As UHE e o resfriamento das usinas termoeletricas dependem diretamente de disponibilidade hídrica. Assim, uma menor disponibilidade hídrica, aspecto associável ao avanço das mudanças climáticas (e, de modo correlato, ao aumento do aquecimento global), implica em dificuldades na operação destas usinas; (3) Energia → Alimento. A mecanização, o transporte e a produção de insumos agrícolas dependem, fundamentalmente, de energia. Nesse contexto, uma menor produção de energia (particularmente, energia elétrica), invariavelmente, há de impactar a produção de alimentos no país; (1) Energia → Água. O bombeamento e o tratamento de água e esgoto requerem eletricidade. Uma redução na produção de energia elétrica, nesse contexto, tende a implicar em problemas para o fornecimento de água potável à população e, também, quanto à manutenção e ampliação de serviços de saneamento básico.

Energia e meio ambiente no Brasil no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no que se refere à energia estão circunscritos ao ODS 7, que objetiva “Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos” (UN, 2025). O ODS 7, por sua vez, é composto pelos seguintes itens: 7.1) Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia; 7.2) Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global; 7.3) Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética; 7.a) Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia alternativa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e menos poluentes, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa e; 7.b) Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio (UN, 2025).

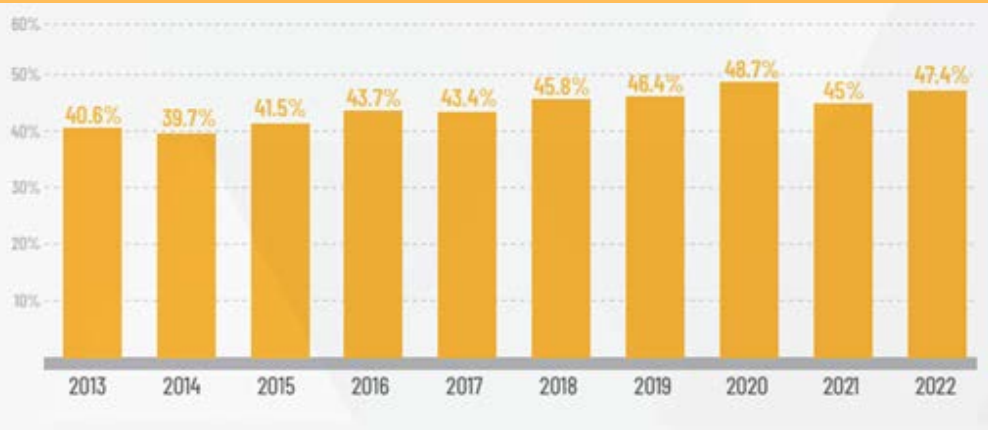
O CSWG - Civil Society Working Group -, anualmente, aponta para o avanço dos ODS, como parte da agenda 2030 para as mudanças climáticas. O relatório do CSWG de 2024 aponta que, no Brasil, nenhum dos objetivos estão sendo cumpridos de maneira satisfatória (CSWG, 2024). Os objetivos 7.1 e 7.2 estão esgotados,

enquanto os objetivos 7.3 e 7.b estão insuficientes, e o 7.a encontra-se em zona de risco (CSWG, 2024).

O Objetivo 7.1 está estagnado, com a universalização do acesso à eletricidade em 99,8% da população, o que representa algo em torno de meio milhão de pessoas permanecem sem acesso a serviços de energia elétrica, principalmente na

Amazônia. Carecem de acesso à energia elétrica, principalmente, as populações rurais marginalizadas, particularmente aquelas composta por indígenas, quilombolas e mulheres negras⁹ (CSWG, 2024). A evolução do Objetivo 7.2. em nível nacional, por sua vez, pode ser observada pela Figura 8.8.

Figura 8.8 - Evolução da participação das fontes renováveis no total da oferta energética brasileira entre 2013 e 2022



Fonte: CSWG (2024).

A intensidade energética, item cotejado pela ODS 7.3, pode ser compreendida como a quantidade de energia gasta para gerar cada unidade de PIB per capita. Como se observa na Figura 8.9, o Brasil vem apresentando ganhos de eficiência ao longo do tempo,

diminuindo a quantidade de energia em MWh necessária para produzir em sua economia, mas ainda parece longe de conseguir reduzir pela metade até 2030, o que significaria cumprir com o ODS 7.3⁹.

⁹ No Brasil é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o IBGE, que, no âmbito da Agenda 2030, a instituição pública que coordena a produção de indicadores para monitorar os 17 ODS no Brasil, além de adaptar as metas globais à realidade brasileira, considerando as desigualdades socioeconômicas regionais. O IBGE também se vincula aos 17 ODS por meio de dados disponibilizados na Plataforma ODS Brasil (uma base interativa com os indicadores nacionais) e através da produção de pesquisas (tal como a PNAD Contínua, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua), censos e estatísticas socioeconômicas. Frisa-se que as análises apresentadas no presente Capítulo 7 a respeito da condição atual da ODS 7 no Brasil consideraram dados da PNAD mais recente do IBGE (2024).

Figura 8.9 – Evolução da Intensidade elétrica no Brasil, em MWh para cada real de PIB per capita, entre 2012 e 2022



Fonte: Adaptado de EPE (2025).

Transformação verde no contexto do setor energético brasileiro

A Intermitência das fontes renováveis modernas

A intermitência das renováveis é um dilema enfrentado, não apenas pelo Brasil, mas por boa parte dos países e regiões que procuram substituir suas fontes fósseis por fontes renováveis modernas. No contexto brasileiro, a intermitência das fontes renováveis modernas, como eólica e solar, se torna um desafio relevante, especialmente diante da rápida expansão dessas fontes na última década.

O Brasil possui um sistema elétrico predominantemente hidrotérmico, com forte presença de usinas hidrelétricas de reservatório; tais usinas historicamente funcionaram como um grande "banco de energia" natural, compensando variações na geração. No entanto, com o envelhecimento dos parques hidrelétricos, restrições

ambientais à construção de novos reservatórios e diante do aumento expressivo da geração eólica (especialmente no Nordeste) e solar (no Sudeste e Centro-Oeste), o sistema começa a enfrentar situações de excesso momentâneo de geração (curtailment¹⁰), correlatamente à necessidade de maior acionamento das usinas termelétricas – as quais são tipicamente caras e emissoras de GEE –, para manter o equilíbrio.

A malha de transmissão nem sempre consegue escoar toda a energia gerada em regiões com alto potencial renovável,

agravando o problema. Além disso, a operação do sistema precisa lidar com a estocasticidade das afluições (variabilidade natural das chuvas que abastecem os reservatórios), que, somado à variabilidade da solar e da eólica, torna o dilema do operador ainda mais complexo. Isso exige investimentos crescentes em flexibilidade, como térmicas de resposta rápida, expansão das interligações, desenvolvimento de mercados de serviços ancilares¹¹ e, futuramente, maior participação de armazenamento em baterias.

Além dos desafios técnicos associados à intermitência das fontes renováveis modernas, o Brasil vive um momento de transformação

¹⁰ O termo *Curtailment* refere-se à redução ou corte da geração de energia elétrica, em geral a partir de fontes renováveis modernas, como solar e eólica, que ocorre quando a rede elétrica não tem capacidade de absorver a eletricidade produzida. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é responsável por determinar esses cortes. O *Curtailment* é necessário para manter o equilíbrio e a segurança do sistema, sendo causado por excesso de produção em relação à demanda, por razões de confiabilidade, limitações da rede de transmissão ou por indisponibilidade de infraestrutura.

¹¹ Serviços ancilares referem-se a funções e atividades complementares ao serviço principal de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que visam garantir a estabilidade, segurança e eficiência do sistema elétrico. Exemplos incluem aspectos essenciais para o funcionamento contínuo do sistema, tais como: controle de frequência, fornecimento de potência reativa para o controle de tensão e a capacidade de autorrestabelecimento de usinas após falhas.

estrutural no setor elétrico, marcado pela privatização da Eletrobras e pela ampliação acelerada do mercado livre de energia. A Eletrobras, enquanto empresa pública, historicamente operava com uma lógica de segurança energética e modicidade tarifária, podendo despachar seus ativos – sobretudo grandes hidrelétricas – com foco no equilíbrio sistêmico, inclusive atuando como uma espécie de "amortecedor" dos custos do sistema.

Com a privatização, seu papel muda: a empresa agora responde primariamente aos interesses dos acionistas, priorizando rentabilidade, o que reduz sua disposição em operar abaixo do custo marginal ou realizar operações benéficas ao sistema, mas não remuneradas diretamente. Paralelamente, a liberalização do mercado fragmenta o setor: os consumidores migram do mercado regulado para o mercado livre, no qual contratam energia diretamente dos geradores, deixando as distribuidoras com sobrecontratação, aumento dos encargos e perda de previsibilidade.

Tal contexto fragiliza o modelo de financiamento de expansão da infraestrutura, que, historicamente, dependia da segurança dos contratos regulados, além de dificultar a compatibilização entre o despacho físico centralizado (coordenado pelo ONS) e os contratos financeiros descentralizados. Na prática, isso intensifica os desafios operacionais, tarifários e de planejamento, potencializando a chamada "espiral da morte" – um ciclo não virtuoso no qual os consumidores que podem deixar o mercado regulado, elevando os custos para quem permanece, pressionando tarifas e gerando mais migração.

Cabe mencionar que as energias solar e eólica, significam, per se, formas de geração de eletricidade bastante adequadas ao país, respectivamente, diante dos abundantes aportes de intensos raios solares e de velocidades dos ventos adequadas típicas no Brasil (velocidades médias anuais entre 6,5 e 9 m/s são consideradas adequadas para se otimizar o desempenho de um parque eólico). A intermitência associada a tais fontes energéticas – ou seja, a variação na geração a depender do Sol e dos ventos –, porém, ainda que o Sistema Interligado Nacional (SIN) seja bem integrado e com mais de 60% da geração advinda das usinas

hidrelétricas, deve ser ao máximo mitigada para que haja maior grau de segurança energética no país.

A redução de problemas associáveis à intermitência associáveis à geração solar e eólica, deve ainda considerar as seguintes estratégias e ações: (1) Armazenamento energético a partir de baterias de lítio para equilíbrio de curto prazo (Exemplo: baterias conectadas a parques solares na Região Nordeste) e seu respectivo descarte e condicionamento ou reciclagem; (2) Usinas reversíveis (bombeamento hidráulico) usam a energia excedente para bombear água para reservatórios, liberando-a posteriormente; (3) Armazenamento químico, que se relaciona à produção de Hidrogênio Verde (H2V) a partir do excedente solar/eólico, que, subsequentemente, pode ser utilizado em usinas térmicas ou no setor de transporte. Frisa-se que no Brasil o armazenamento híbrido (hidrelétricas + baterias + H2V) tende a ser menos custoso e mais eficiente do que tão somente a partir de baterias; (4) Diversificar com maior complementariedade geográfica, afinal as usinas solares geram mais nas regiões Centro-Oeste e Nordeste (principalmente), enquanto as usinas eólicas têm picos produtivos noturnos e é mais forte no litoral nordestino e no Sul. Além disso, a sazonalidade é complementar; assim, os ventos costumam soprar mais na época seca, quando há menos água nos reservatórios. Nesse mesmo contexto, ainda que já esteja havendo investimentos governamentais em "linhões do Nordeste" para integrar solar e eólica ao SIN, urge conectar melhor as regiões por meio de linhas de transmissão de longa distância (HVDC); (5) Complementar com usinas térmicas flexíveis e com biocombustíveis, afinal usinas térmicas a gás natural, biomassa ou gás natural, que são ambientalmente muito melhores do que as usinas térmicas fósseis (menor pegada de carbono e, portanto, menor emissão de CO₂), podem atuar tão somente em horários de baixa geração renovável; (6) Gestão da demanda através, por exemplo, de tarifas diferenciadas que fomentem o consumo de eletricidade nos horários de maior geração a partir das usinas solares e eólicas, de estratégias aplicadas aos setores industrial e comercial visando o deslocamento de cargas flexíveis (bombeamento e refrigeração, por exemplo) para horários com geração

solar/eólica; (7) Previsibilidade e digitalização priorizadas, particularmente por meio de redes inteligentes (smart grids, que permitem controle mais dinâmico e conexão de microgeração distribuída) e pelo aprimoramento de modelos de previsão meteorológica e sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para antecipar a previsibilidade de variações.

Panorama H2

O Brasil tem potencial para tornar-se um relevante produtor de hidrogênio de baixo carbono, dadas suas condições naturais favoráveis e matriz elétrica predominantemente renovável, associada a custos de produção relativamente baixos, especialmente para as fontes hidrelétrica, eólica e solar (Garlet et al., 2024).

Grandes investimentos vêm sendo anunciados nos projetos de geração, especialmente no litoral das regiões Nordeste e Sul do país. Estes projetos localizam-se, majoritariamente, em complexos portuários e industriais (de Oliveira, 2022). Globalmente, há também esforços voltados à pesquisa de fontes naturais de hidrogênio e rotas alternativas de produção — como processos microbianos, eletroquímicos e fotoquímicos, a partir de resíduos orgânicos, biogás, materiais celulósicos e água. A previsão é que esse mercado, globalmente, movimente entre 10 e 12 bilhões de dólares até 2040 (McKinsey, 2021), consolidando-se como uma das grandes apostas da transição energética (Collaço et al., 2024).

A principal rota atualmente utilizada é a reforma a vapor do metano (hidrogênio cinza), responsável por cerca de 95% da produção mundial. Essa técnica é valorizada por sua alta eficiência (entre 70% e 85%) e pela ampla aplicação industrial do hidrogênio, especialmente nas refinarias, na produção de amônia e fertilizantes e em setores como siderurgia e metalurgia (CNI, 2024; GIZ, 2021). No entanto, é uma rota intensiva em emissões: para cada tonelada de hidrogênio produzido, aproximadamente 10 toneladas de CO₂ são lançadas na atmosfera (GIZ, 2021).

É nesse contexto que o hidrogênio verde ganha protagonismo. Sua produção ocorre pela quebra da molécula de água (H₂O), via eletrólise alimentada por energia renovável, sem emissão direta de CO₂. Ainda que o

conceito de “emissão zero” seja, na prática, inatingível quando se considera todo o ciclo de vida (produção, transporte e armazenamento), o H2V representa um avanço significativo frente às alternativas fósseis. Por isso, cresce o uso do termo “hidrogênio de baixo carbono” para designar produções com menor pegada de carbono que o hidrogênio cinza (Morante et al., 2020; Barisano, 2021).

De acordo com a EPE (2025), o custo médio atual de produção de hidrogênio por meio do Reformador a Vapor de Metano (SMR, Steam Methane Reforming) com Captura e Armazenamento de Carbono (CCS, Carbon Capture and Storage) é de cerca de US\$ 2,98/kg H₂, sendo que o CCS responde por aproximadamente 70% desse valor. Sem CCS, o custo do hidrogênio via SMR cai para aproximadamente US\$ 1,19/kg H₂. Já a produção por Gaseificação do Carvão (CG, Coal Gasification) com CCS está em torno de US\$ 3,35/kg H₂, enquanto, sem CCS, o valor é de cerca de US\$ 1,93/kg H₂.

Já com relação a pirólise do metano (CH₄) ou bio-CH₄ é uma tecnologia em desenvolvimento (TRL 3–8) que produz hidrogênio sem emissões diretas de CO₂, já que o carbono é liberado em forma sólida. Como exige o uso de energia limpa, dispensa sistemas de captura e armazenamento de carbono. Apesar da dependência dos preços do gás natural/biometano e da baixa disponibilidade tecnológica, os custos estimados variam entre US\$ 2,2–3,4/kg H₂ no cenário internacional e US\$ 1,5–4,4/kg H₂ no Brasil.

A decomposição termoquímica da biomassa (pirólise e gaseificação) apresenta TRL 5–6 e pode ser considerada comercialmente disponível em média escala. Os custos estimados vão de US\$ 1,2–3,1/kg H₂ (pirólise) e US\$ 0,9–5,2/kg H₂ (gaseificação), dependendo de fatores como tipo de biomassa, tecnologia empregada e aproveitamento dos subprodutos.

A eletrólise da água é a rota mais consolidada (TRL 6–9) e com maior potencial de expansão, mas ainda enfrenta desafios de eficiência e custo. Em 2022, os valores ficaram entre US\$ 3,7–12/kg H₂.

As tecnologias fotolíticas (PEC e fotocatalise) permanecem em estágios iniciais (TRL 3–5), com limitações de eficiência e estabilidade, e

custos ainda acima de US\$ 10/kg H₂. Já a divisão termoquímica da água mostra-se promissora, com eficiência de cerca de 57% e custos entre US\$ 2,2–8,4/kg H₂, mas sua maturidade tecnológica ainda não ultrapassa a validação laboratorial (TRL 4).

As tecnologias de Células de Eletrolise Microbiana (MEC, Microbial Electrolysis Cells) encontra-se em TRL 4, devido a limitações técnicas como: queda no rendimento de H₂ por sumidouros de elétrons indesejados, complexidade na configuração real dos reatores em relação à teórica, necessidade de compreender as interações microbianas para evitar competição e dificuldades em atender padrões de efluentes no uso como tratamento de resíduos. Ainda assim, os custos estimados variam entre US\$ 1,2–6,6/kg H₂.

Já o hidrogênio geológico é classificado pela IEA em TRL 5. Avanços em sensores para prospecção (TRL 7–8) e a possibilidade de aproveitar dados e tecnologias da indústria de petróleo e gás reforçam seu potencial. Contudo, ainda há desafios, como entender sua formação, viabilidade econômica das reservas e formas seguras de extração. O uso in situ poderia contribuir para reduzir impactos ambientais, mitigando indiretamente alterações climáticas e danos à camada de ozônio.

O H₂ oferece uma ampla gama de aplicações. Entre elas, destaca-se a produção de aço verde na siderurgia, substituindo o uso do carvão mineral; a fabricação de amônia verde e fertilizantes de baixa emissão; e o metanol verde, essencial para produtos industriais, como tintas, combustíveis, solventes e eletrônicos. Além disso, o H₂V pode ser empregado em processos de hidrorrefino para remover heteroátomos, como o enxofre, de produtos petroquímicos (Garlet et al., 2024). Mas, a maior transformação trazida pelo H₂V está em seu potencial como portador de energia e combustível promissor para o futuro no setor de transportes. Sendo um vetor energético, isto é, uma substância que gera trabalho mecânico ou calor e desencadeia reações químicas ou físicas, o H₂V pode ser utilizado em veículos movidos por células de combustível.

Embora a eletrificação direta com baterias esteja ganhando popularidade no setor automotivo, essa tecnologia ainda não é viável para modais de grande porte, como caminhões, aviões e navios. Isso ocorre porque a capacidade de armazenamento de energia em baterias é insuficiente para percorrer grandes distâncias sem recarga, além do longo tempo necessário para esse processo. Por outro lado, veículos de transporte de massa têm grande potencial para o uso de hidrogênio, já que as células de combustível são mais eficientes, permitem deslocamentos mais longos com menos necessidade de reabastecimento, e produzem apenas água como subproduto (Gomes, 2023).

Em 2023, a produção global de hidrogênio alcançou cerca de 97 milhões de toneladas, e as emissões correlatas foram significativamente menores do que 900 milhões de toneladas de CO₂, embora a maior parte ainda advenha de fontes fósseis. Destarte, a produção de hidrogênio de baixo carbono (verde ou azul) foi inferior a 1 Mt em 2023, enquanto o hidrogênio "cinza" (gerado a partir de combustíveis fósseis e sem captura de carbono) é o principal responsável pelas emissões. Apesar disso, o hidrogênio de baixo carbono respondeu por apenas 0,7% da demanda total, avançando de forma bastante lenta nas aplicações já existentes. Até dezembro de 2023, a capacidade instalada de eletrolise somava apenas 1.100 MW. Para que o hidrogênio verde avance e substitua o hidrogênio cinza, será necessário ampliar a capacidade de produção de eletrolisadores. Além disso, outros elos da cadeia precisarão se estruturar, como a geração de energia, dessalinização da água, transporte e armazenamento. Em termos de competitividade, o hidrogênio verde ainda apresenta custos superiores às alternativas em diversas aplicações (CELA, 2024).

Em 2024, com a promulgação do Marco Legal do Hidrogênio de Baixo Carbono (Lei nº 14.948), o Governo do Brasil instituiu incentivos econômicos ao setor, como a concessão de subsídios a empresas — em sua maioria multinacionais dos ramos energético, petrolífero e de fertilizantes. Embora o desenvolvimento da cadeia de H₂V

represente uma oportunidade para descarbonizar setores industriais de difícil abatimento, gerar empregos e distribuir renda, há um risco significativo de que os benefícios ao país sejam limitados, diante da atual orientação voltada à exportação do insumo no formato de NH_3 verde. Soma-se a isso o fato de que essa indústria é intensiva em água e energia, podendo pressionar a matriz energética nacional, impactar negativamente os recursos naturais, afetar comunidades no entorno de tais indústrias e levantar questionamentos sobre os ganhos reais para a sociedade brasileira em relação à sua economia produtiva local.

Nesse contexto, a amônia de baixo carbono ganha destaque: por seu papel central na produção de fertilizantes, trata-se de um insumo estratégico para a segurança alimentar. Estudos projetam que, após 2035, o Custo Nivelado da Amônia (LCoA, Levelized Cost of Ammonia), estimado para o Brasil entre US\$ 5,1–69,1/GJ, poderá ser mais competitivo do que tanto a amônia fóssil (US\$ 12,5–62,2/GJ) quanto a amônia de baixo carbono global (US\$ 14–72/GJ) (EPE, 2025 b). Contudo, esse potencial não garante, por si só, benefícios estruturais para o Brasil: se for direcionado apenas à exportação, corre-se o risco de repetir um modelo de especialização produtiva que transfere valor para fora e gera pouco retorno social.

Assim, cabe ao Brasil decidir como irá participar desse mercado: como mero exportador de insumo energético ou como articulador de uma política industrial verde, capaz de transformar competitividade em inovação, inclusão e desenvolvimento econômico e social.

Principais respostas em prol da redução das emissões de GEE relacionadas à energia nos setores mais demandantes por tal insumo

O setor energético brasileiro e perspectivas de mitigação das emissões de GEE associadas

As emissões de GEE inerentes ao setor energético brasileiro, em geral, são mais difíceis de serem abatidas do que aquelas associadas aos setores de mudanças no uso da terra (incluindo o desmatamento) e de agropecuária, os quais, historicamente, respondem pela maior parte das emissões brasileiras de tais gases. E isto na medida em que o Brasil é um país tipicamente exportador de commodities de baixo valor agregado (relativamente a países que se caracterizam mais pela exportação de bens manufaturados). Isso acontece por algumas razões: a) O setor de energia recebe poucos subsídios para a descarbonização; b) Lobbies de indústrias fósseis são consolidados em recursos e expertise ; c) O fato de o Brasil ser um país destaque no mundo por sua oferta primária de energia ser caracteristicamente renovável (cerca de 50%), pode transmitir a falsa impressão de que a descarbonização está acontecendo, quando, na verdade, a maioria dos demais países é que estão negligenciando suas metas; d) *Royalties* do Pré-Sal encerram o potencial de viabilizar políticas públicas municipais socialmente relevantes (por exemplo nas áreas de educação, saúde, iluminação, saneamento, transporte, dentre outras).

Nesse contexto, no caso do Brasil, políticas públicas e privadas devem focar atenções no fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico capaz de oportunizar aos atores diversos envolvidos com o setor energético do

país ainda mais eficazes estratégias e ações indutoras de redução nas emissões de GEE relacionadas a este setor.

Cabe ressaltar que devido às dimensões continentais do Brasil, às especificidades socioculturais e em vista da diversidade de biomas e de ecossistemas caracterizadores do território do país, observa-se amplo espectro de perfis de emissões de GEE dentre as 5 regiões e mesmo dentre as 27 unidades federativas (os 27 estados e mais o Distrito Federal do Brasil); o que, *per se*, aumenta a complexidade de se desenhar uma estratégia multinível de abatimento das emissões pelo setor energético brasileiro. Portanto, políticas climáticas voltadas à redução das emissões de GEE no Brasil devem se voltar, prioritariamente, ao delineamento de estratégias e ações mais tipicamente regionalizadas e, assim, em níveis subnacionais.

A questão dos subsídios aos combustíveis fósseis e o papel de mudanças nos padrões de consumo

Mais amplamente, pode-se afirmar que as estratégias e ações que viabilizem importantes redução das emissões de GEE pelo setor energético do Brasil (ou seja, que induzam à descarbonização deste setor), inexoravelmente, devem cotejar mudanças nos padrões de consumo, o que há de requerer duradouras políticas nacionais e subnacionais (particularmente no que tange à Educação Ambiental e em todos os níveis de ensino público e privado), políticas mais ambiciosas e robustas voltadas à eficiência energética, iniciativas de ampla mitigação dos subsídios à indústria dos combustíveis fósseis atuante no país. Tais subsídios, concedidos principalmente pelo Governo Federal (e, também, por alguns governos estaduais do Brasil), atingiram, em 2023, cerca de R\$ 81,74 bilhões (cerca de US\$ 14,42 bilhões, considerando a cotação do dólar em 29/05/2025), e incluíram renúncias tributárias, gastos diretos e isenções fiscais, abarcando tanto a produção quanto o consumo de petróleo e seus derivados (particularmente, os derivados líquidos, como a gasolina, o óleo diesel e o querosene de aviação), gás natural e carvão mineral.

Frisa-se que tal valor representou, em 2023, cerca de vinte e três vezes mais do que os recursos destinados pelo Governo Federal ao Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e a suas autarquias (INESC, 2024). Este contexto, *per se*, denota a complexidade e os obstáculos¹² correlatos à aceleração da transição energética no Brasil e, conseqüentemente, exprime os desafios associáveis à redução das emissões de GEE pelo setor energético do país.

Neste contexto, frisa-se que no Brasil, em 2023, por meio de subsídios, para cada R\$ 1,00 investidos em energias renováveis, R\$ 4,52 foram investidos na produção e no consumo de combustíveis fósseis; ou seja, em 2023, cerca de 80% de tais subsídios foram destinados às fontes fósseis, e 20% às energias renováveis (INESC, 2024), o que desmistifica a crítica (por parte de alguns atores do setor elétrico nacional, de indústrias de alta intensidade energética e pelo setor de combustíveis fósseis) de que as fontes renováveis no Brasil têm sido exageradamente subsidiadas.

Cabe ressaltar, ainda, que a infraestrutura para a realização da transição energética no Brasil tem sido majoritariamente financiada por bancos públicos de fomento e empresas públicas, particularmente o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), o BNB (Banco do Nordeste do Brasil S. A.), a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), o Sicredi (Sistema de Créditos Corporativos) e o BRDE (Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul). Entre 2014 e 2024, bancos públicos e empresas públicas aportaram R\$ 146 bilhões em projetos de transição energética já em operação ou em desenvolvimento no território brasileiro (ABDE, 2025). A aceleração da transição energética no Brasil, portanto, depende que este tipo de fomento aumente ainda mais e que, paralelamente, ocorra efetivo envolvimento setor privado por meio de financiamento direto.

Desafios associáveis às usinas hidrelétricas

Por sua feita, é muito importante que sejam enfrentados os múltiplos desafios associáveis à construção de novas usinas hidrelétricas

¹² Por exemplo, políticos, especialmente no que se refere ao enfrentamento do poder lobista exercido pela indústria dos combustíveis fósseis junto ao Governo Federal.

(particularmente aquelas com capacidade instalada acima de 30 MW, ou seja, as UHE), que, historicamente, ainda que nos últimos anos tenha sido empregada a relativamente menos impactante tecnologia a fio d'água (que requer pouco ou mesmo nenhum armazenamento de água), respondem no Brasil por toda uma gama de impactos socioambientais às populações locais (ribeirinhos, indígenas e quilombolas, por exemplo), tais como: desmatamento, perda de biodiversidade, alagamento de grandes áreas, redução da atividade pesqueira, perda de navegabilidade dos rios afetados, dentre outros. Frisa-se, ainda, que a decomposição da matéria orgânica nos reservatórios, em quantidades diversas (a depender do tamanho da usina hidrelétrica), libera para a atmosfera o metano (CH_4), um GEE muito mais potente do que o CO_2 no sentido de aumentar o aquecimento global; portanto, reduzir as emissões de GEE pelo setor energético do país também perpassa as emissões de CH_4 decorrentes da construção de UHEs.

Desafios correlatos às energias renováveis não hídricas e outras oportunidades de mitigação das emissões de GEE

Estratégias outras, estas mais dependentes de avanços tecnológicos, incluem a ampliação da produção de eletricidade a partir de usinas solares fotovoltaicas (centralizada e distribuída) e de usinas eólicas *onshore* e *offshore* - neste caso, e até diante do estágio ainda caracteristicamente inicial, o arcabouço regulatório deve ser aprimorado, contemplando, de forma equânime, os interesses de todos os atores envolvidos, particularmente a população local e os setores público e privado. Concomitantemente, o país deve reduzir sua dependência por tecnologias carbono-intensivas, particularmente em nível de

infraestruturas de vida útil mais longa, tais como aquelas correlatas a termelétricas a combustíveis fósseis (carvão mineral, óleo diesel e gás natural) e refinarias de petróleo, e, gradativamente, redirecionar os investimentos de E&P no setor petrolífero para fontes energéticas renováveis.

Oportunidades relevantes para redução das emissões de GEE pelo setor de energia do Brasil devem, também, cotejar: (1) Modernização, via redes inteligentes (*smart grids*), da infraestrutura de transmissão e distribuição de energia visando integrar fontes renováveis (e, assim, mitigando problemas decorrentes de suas intrínsecas intermitências) e minimizar perdas; (2) Aumento da produção de biocombustíveis (notadamente, etanol de primeira geração, etanol de segunda geração¹³ (principalmente em relação ao etanol de primeira geração, por ser menos ambientalmente impactante em seu processo produtivo), biodiesel, diesel verde e HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*, o qual é produzido por meio de aprimoramentos tecnológicos ao diesel verde, e cuja produção e consumo mundial tem se expandido sobremaneira) e de combustíveis sintéticos; (3) Fomento às estratégias Waste-to-Energy (WtE) e Biomass-to-Energy¹⁴; (4) Ampliação de uso da tecnologia de captura e armazenamento de carbono (contemplando avanços científicos e tecnológicos que cotejem requisitos ambientais); (5) Ampliação da produção de Hidrogênio Verde (H_2V) (observando o mercado internacional e as possibilidades de emprego do H_2V na melhoria da qualidade ambiental do parque industrial brasileiro e em prol da descarbonização dos modais de transporte); e (6) Produção de combustíveis sustentáveis de aviação (Sustainable Aviation Fuel – SAF). Cabe ressaltar que diversos estudos, realizados no Brasil e fora do país, apontam que combinar incentivos à migração modal com estratégias de eletrificação tem amplo

¹³ O etanol celulósico, ou etanol de segunda geração (E2G), refere-se a um biocombustível cuja produção se baseia em resíduos da cana-de-açúcar, como o bagaço e a palha, ao invés do caldo da cana, que é a matéria-prima central para produção do etanol de primeira geração. No processo de fabricação do E2G se utiliza biomassa lignocelulósica (lignina, hemicelulose, celulose). Assim, o E2G é menos carbono-intensivo por aproveitar o que antes seria descartado, aumentando, deste modo, a produtividade sem necessidade de ampliação da área para plantio e, concomitantemente, reduzindo a pegada de carbono.

¹⁴ WtE refere-se à conversão de resíduos sólidos urbanos (RSU), industriais ou agrícolas em energia (biocombustíveis, eletricidade, calor). Os processos mais usuais de WtE são gaseificação, digestão anaeróbica, incineração controlada e pirólise. Para além da geração energética, o Waste-to-Energy, que responde por amplo potencial no Brasil (particularmente por meio de resíduos agrícolas, em especial aqueles originados pela produção de cana-de-açúcar), reduz o volume de resíduos destinados a aterros, e, assim, mitiga as emissões de metano (CH_4). Por sua vez, Biomass-to-Energy, já amplamente utilizada no país para produção de bioeletricidade (a partir de palha e do bagaço de cana-de-açúcar), significa a produção de energia com base em materiais orgânicos renováveis, tais como dejetos de animais, óleo de dendê, resíduos agrícolas e florestais, lenha, dentre outros; tal estratégia, capaz de gerar calor, biocombustíveis líquidos (biodiesel e etanol) e eletricidade, pode ser considerada relevante em prol da diversificação da oferta energética do Brasil e com o benefício de atenuar o problema dos RSU.

potencial de mitigar as emissões de GEE relativas ao setor de transporte (IPCC, 2022).

A respeito dos biocombustíveis, destaca-se o Programa RenovaBio, criado em 2017 e que institui a Política Nacional de Biocombustíveis. O RenovaBio significa uma política de Estado em prol da ampliação da eficiência energética e da redução das emissões de GEE pelo setor de transporte. Tal programa, desde que superados os desafios regulatórios ainda existentes, pode vir a significar importante estratégia para redução das emissões de GEE pelo setor de transporte do Brasil. Destarte, o RenovaBio deve ser amplamente fortalecido, e, para tanto, um maior envolvimento do setor privado é desejável.

Energia nuclear

Há, ainda, de se considerar o papel da energia nuclear (fissão nuclear) na mitigação das emissões de GEE pelo uso da energia no Brasil. A despeito de não poder ser considerada como uma fonte energética renovável¹⁵, a energia nuclear induz à mitigação climática já que durante a geração de eletricidade, praticamente não há emissão de CO₂. Nesse contexto, frisa-se que as emissões deste GEE ocorrem na etapa de mineração do urânio, construção das usinas nucleares e transporte. Deve considerar que, de fato, as usinas nucleares, emitem muito menos CO₂ do que as usinas termelétricas fósseis, além de representarem uma fonte energética previsível e estável (desde que acidentes não ocorram, por óbvio). Conforme analisado, a oferta de energia elétrica do Brasil é majoritariamente renovável, portanto, o impacto das usinas Angra 1 e Angra 2 na mitigação de GEE é menor do que naqueles países dependentes do carvão mineral para geração de eletricidade.

No Brasil, a energia nuclear responde por papel importante, em especial no que se refere à segurança energética em períodos de seca; ou seja, quando os reservatórios hidrelétricos estão baixos. Nesse contexto, as usinas Angra 1 e Angra 2 oportunizam menos acionamentos das usinas termelétricas fósseis; e, portanto, se relacionam a menores emissões de GEE pelo setor energético do país.

Conexões entre políticas energéticas e políticas climática

Urge destacar ainda que reduções mais expressivas das emissões de GEE pelo setor energético do Brasil se relacionam, intrinsecamente, com mais conexões e inter-relações entre as políticas (e as prioridades) energéticas e climáticas. Outrossim, todas as estratégias e ações aqui elencadas em prol da mitigação das emissões de GEE (e, assim, voltadas à mitigação das mudanças climáticas e do aquecimento global), direta ou indiretamente, requerem que ocorra no país toda uma mudança paradigmática em termos de muito mais valorização da ciência no seio da população brasileira, afinal a detenção (interna) de *know-how* é *mister* neste processo, inclusive no sentido de combate exitoso ao tão deletério negacionismo científico (e climático), o que tende a viabilizar o desenvolvimento e a implementação de mais eficazes políticas climáticas nacionais e subnacionais; nesse sentido, é fundamental que mais investimentos públicos e privados sejam aportados à produção científica pelo Brasil e, em todos os níveis, à Educação no país. Outro desafio, talvez ainda mais agudo, seja a transposição do conhecimento científico em políticas públicas, incentivos e regulações que sejam efetivas na mitigação de impactos climáticos e conflitos socioambientais.

O uso de energia pelo setor de transporte e perspectivas de mitigação das emissões de GEE associadas

Especificamente no caso do setor de transporte, o principal contribuinte setorial para as emissões de GEE relacionáveis à energia no país (tal setor foi responsável, em 2022, por 33% de tais emissões) (SEEG, 2024), é premente que sejam priorizadas ações voltadas à melhoria da economia de combustível, e que políticas (de âmbito federal, principalmente) foquem na mudança para modais de baixo carbono (prioritariamente, os ônibus e os trens elétricos, a navegação de cabotagem e o transporte por meio de veículos de propulsão humana, em especial a bicicleta), assim como ampliar as sinergias entre a geração energética e os meios de transporte. No caso dos ônibus elétricos, deve haver ampliação do

¹⁵ Afinal o urânio, matéria-prima essencial para a operação das usinas nucleares de Angra 1 e Angra 2, é recurso natural finito na crosta terrestre; portanto, o urânio é um recurso natural não renovável.

financiamento para infraestruturas de recarga e redução de impostos. Além disso, um arcabouço regulatório mais consistente e incentivos econômicos tendem a ampliar o uso no país de tecnologias avançadas de motores flex-fuel e híbridos.

Ressalta-se, ainda, que o objetivo de redução das emissões de GEE devido ao consumo de energia pelo setor de transporte também deve priorizar o fortalecimento do PROBIODIESEL, o Programa Nacional de Biodiesel (o qual foi lançado, pelo Governo Federal, em 2002), e dos recentemente lançados Programa Nacional de Hidrogênio (o PNH₂, instituído, em 2022, pelo Governo Federal e que objetiva fortalecer o mercado e a indústria do H₂ enquanto vetor energético no Brasil) e a “Lei do Combustível do Futuro”, que entrou em vigor por força da Lei 14.993/2024, e que visa o aumento da mistura de biodiesel e de etanol, respectivamente, no diesel e na gasolina, e que, de modo mais amplo, almeja a substituição dos combustíveis fósseis tipicamente empregados nos transportes rodoviário, marítimo e aéreo por combustíveis alternativos não carbono-intensivos. Portanto, a Lei do Combustível do Futuro representa um mecanismo com potencial para fomento à descarbonização da matriz de transportes e da mobilidade no Brasil.

intensivo de água e a contaminação por agrotóxicos, além da perda de biodiversidade. Em termos sociais, a expansão da produção para atender à demanda internacional muitas vezes acarreta conflitos fundiários, concentração de terras, expulsão de comunidades tradicionais e condições precárias de trabalho, especialmente no corte de cana. No plano econômico, o setor é marcado por forte volatilidade de preços, dependência de subsídios e vulnerabilidade a flutuações do mercado externo, além de promover um modelo de desenvolvimento agroexportador que nem sempre se traduz em benefícios locais. Esses efeitos levantam questionamentos importantes sobre a real sustentabilidade da cadeia dos biocombustíveis, especialmente em contextos como o brasileiro (Gilio et al., 2024).

O futuro da energia para motorização no Brasil

Muito provavelmente, o futuro da energia para motorização no Brasil há de ser marcado por uma matriz híbrida, com forte presença de biocombustíveis, eletrificação gradual e avanços no emprego do H₂V. Neste sentido, destaca-se, o Brasil, dispõe de robustas opções: etanol, biodiesel¹⁶, HVO, hidrogênio, eletricidade ou biometano. Além disso, políticas públicas como MOVER¹⁷ (Programa

¹⁶ Há de se ressaltar que existem limites técnicos e físicos associáveis a se misturar biocombustíveis em combustíveis fósseis. Tais limites são correlatos a problemas de corrosão e de compatibilidade mecânica, exigências de desempenho e de emissões, diferenças químicas, riscos nas etapas de armazenamento e transporte. Portanto, estabeleceu-se no Brasil e em outros países usuais de tal procedimento, este teto (máximo de mistura) é de 14% de biodiesel no diesel, e de 30% de etanol na gasolina (ANP, 2025).

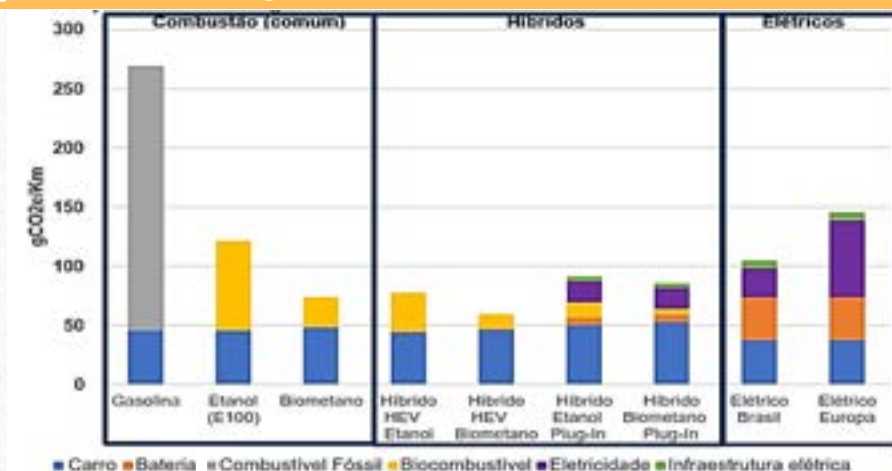
¹⁷ O Programa MOVER, criado pela Lei Federal 14.902 de 2024, é uma política industrial de fomento à industrialização, é uma iniciativa do governo brasileiro, liderada pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), que visa descarbonizar os veículos, impulsionar a inovação e a sustentabilidade na indústria automotiva nacional. O programa oferece incentivos fiscais para empresas que investem em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e produção de veículos mais eficientes e menos poluentes, como elétricos e híbridos, e cria o conceito de “IPI Verde”, que reduz impostos para veículos com menor emissão de carbono. O MOVER prevê limites mínimos de reciclagem na fabricação dos veículos e a criação do IPI Verde, um sistema no qual quem polui menos paga menos imposto. O Mover prevê um total de R\$ 19,3 bilhões de créditos financeiros entre 2024 e 2028, que podem ser usados pelas empresas para abatimento de impostos federais em contrapartida a investimentos realizados em P&D e em novos projetos de produção.

Mobilidade Verde e Inovação), Combustível do Futuro, PLANTE¹⁸ (Plano Nacional de Transição Energética), PAC Verde¹⁹ e o RenovaBio²⁰ têm o potencial de alicerçar e articular adequadamente as tecnologias e as ações em prol de fomentar, concomitantemente, renovabilidade energética e descarbonização.

A despeito da obviedade intrínseca, urge frisar que os veículos elétricos (BEV), durante seu uso, diretamente, não emitem GEE. Porém, é necessário considerar o ciclo energético completo associável a esse tipo de veículo, particularmente quando se observa que nem sempre os BEV são mais eficientes, em termos de emissões de CO₂ e, do que os veículos com motorização tradicional (à gasolina ou a diesel). Há de se considerar, também, as emissões de GEE associáveis à mineração de metais essenciais ao BEV, tais como cobre, lítio e cobalto, assim como as emissões de GEE

decorrentes do tipo de usina energética que gerou a eletricidade supridora dos BEV; se for, por exemplo, uma forma de geração mais tipicamente vinculável a uma usina termelétrica a carvão mineral, podem ser elevadas as efetivas emissões de CO₂ e de determinado BEV (Gauto et al., 2023; Gilio et al., 2024). No caso do Brasil, devido à ampla participação de fontes renováveis na oferta total de energia elétrica (87%, em 2022, segundo a EPE, 2024), os BEV emitem menos CO₂ e do que aqueles em circulação, por exemplo, na Europa, tal como evidenciam os dados da Figura 8.10. No entanto, caso ocorram maiores acionamentos de usinas termelétricas fósseis, por exemplo aquelas a carvão mineral em operação na Região Sul do Brasil, em alguma medida o fator de emissão do SIN, a depender da composição da oferta energética, pode aumentar, tornando os veículos elétricos menos ambientalmente atraentes ao país.

Figura 8.10 - Comparativo de emissões (ciclo completo) de diferentes tipos de motorização e fontes energéticas



Fonte: Gilio et al. (2024) a partir de Gauto et al. (2023).

¹⁸ O PLANTE é o plano de ações de longo prazo do governo brasileiro para concretizar os objetivos da Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o qual visa uma matriz energética mais sustentável, com baixa emissão de carbono. O PlanTE busca alinhar esforços para a descarbonização da economia, atrair investimentos na economia verde, gerar empregos e combater a pobreza energética, com foco em recursos naturais renováveis, tais como: energia solar (Sol), energia eólica (ventos), ventos biomassa e hidrogênio verde (H2V). O PLANTE foi concebido quando o CNPE (Conselho Nacional de Política Energética), em 24 de agosto de 2024, criou o PNTE.

¹⁹ O "PAC Verde" refere-se à incorporação de projetos de sustentabilidade e transição energética no Novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Brasil, focado em investimentos para um desenvolvimento mais ecológico, incluindo energias renováveis, mobilidade sustentável, urbanização de favelas, gestão de resíduos e proteção ambiental, visando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável. O "PAC Verde" foi lançado, pelo Governo Federal, em 11 de agosto de 2023.

²⁰ O RenovaBio é uma política de Estado que reconhece o papel estratégico dos biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene, segunda geração, entre outros) na oferta primária de energia do Brasil no que se refere à sua contribuição para a segurança energética, a previsibilidade do mercado e a mitigação de emissões dos gases causadores do efeito estufa no setor de combustíveis. Com isso, os biocombustíveis viabilizam uma oferta de energia cada vez mais sustentável, competitiva e segura. A Política Nacional de Biocombustíveis, ou RenovaBio, foi estabelecida, após sanção da lei Nº 13.576/17, que definiu metas de descarbonização relacionadas ao uso de biocombustíveis. O RenovaBio é composto por três eixos estratégicos: 1) Metas de Descarbonização; 2) Certificação da Produção de Biocombustíveis; e 3) Crédito de Descarbonização (CBIQ). Cabe ainda citar que os principais objetivos do RenovaBio são: (a) Atendimento aos compromissos inerentes ao Acordo de Paris; (b) Aliar eficiência energética e redução de emissões ao longo do ciclo de vida; (c) Promover a produção e uso de biocombustíveis; e (d) Proporcionar a previsibilidade da participação dos biocombustíveis no mercado. O RenovaBio, que, de fato, significa importante arcabouço regulatório em prol da descarbonização do setor energético do Brasil, vem enfrentando dificuldades, principalmente por haver momentos em que a oferta de CBIQs não acompanha a demanda criada pelas metas, além de relatos de inadição por parte de distribuidoras (não comprarem créditos necessários). Isso gera falta de previsibilidade e problemas operacionais na bolsa de CBIQs. Outrossim, os créditos de descarbonização (CBIQs) têm apresentado forte oscilação e, em alguns momentos, preços elevados, o que pressiona o custo das distribuidoras e pode repercutir no preço final do combustível ao consumidor (NEVES e DUTRA, 2024).

O uso de energia pelo setor industrial e perspectivas de mitigação das emissões de GEE associadas

No que tange ao setor industrial, que respondeu, em 2022, por expressivos 32% das emissões de GEE relacionadas à energia no Brasil (SEEG, 2023), é mister substituir amplamente o carvão mineral e o óleo combustível por eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, biogás e biomassa, assim como modernizar equipamentos e processos industriais de alto consumo energético e carbono-intensivos. Nesse contexto, também é oportuno implementar programas voltados à gestão energética, tais como sistemas de cogeração mais eficientes e o Procel Indústria (o Procel é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica e foi criado em 2000, tendo sido amplamente reformulado em 2016).

Adicionalmente, nesse contexto, também é relevante adotar estratégias de economia circular e de reuso de matérias, aumentar o reaproveitamento de resíduos industriais (particularmente no caso da indústria do cimento, na siderurgia e na produção de papel/celulose), aprimorar e mensurar a eficiência industrial relacionável a métricas de carbono, e adotar processos voltados à descarbonização em todas as etapas produtivas e à captura e armazenamento de carbono (CCS/CCUS) em setores industriais com emissões de processo (refino, química e cimento, por exemplo). Há de se ressaltar, porém, que o CCS/CCUS enfrenta diversos obstáculos econômicos (custos, competitividade), regulatórios (marcos indefinidos ou frágeis), sociais (aceitação por parte de movimentos ambientalistas, em especial) e técnicos (energia, armazenamento, complexidade).

O uso de energia pelo setor residencial e perspectivas de mitigação das emissões de GEE associadas

No que se refere ao setor residencial, responsável, em 2022, por 10,7% das emissões de GEE associadas à energia no Brasil (SEEG, 2023), é crucial a redução no consumo energético com vistas a se atenuar a carga sobre o Sistema Interligado Nacional (SIN), particularmente em períodos de seca e, portanto, de menor geração hidrelétrica.

Nesse contexto, as mais relevantes estratégias para abatimento das emissões de GEE pelo consumo de energia nas residências brasileiras combinam mudanças de comportamento, dispositivos inteligentes (smart plugs, timers e sensores) e tecnologias eficientes (em prol de lâmpadas, chuveiros elétricos, condicionadores de ar, ferros de passar roupa e geladeiras mais eficientes), assim como a adoção de determinadas políticas públicas, como aquelas voltadas à redução de custos para instalação de aquecedores solares (por exemplo por meio de mais subsídios para a energia solar fotovoltaica residencial) e de biodigestores (para geração de energia para cocção, e com o cobenefício da gestão sustentável de resíduos) em comunidades socioeconomicamente vulnerabilizadas.

Ainda no que tange ao setor residencial, deve-se criar e implementar estratégias e ações visando tornar mais eficiente e acessível o mercado cativo de eletricidade, aquele no qual os consumidores residenciais (além de consumidores de baixa tensão e pequenos comércios) compram energia exclusivamente das distribuidoras locais (ENEL e Light, por exemplo). Afinal, tanto a distribuidora, que fatura via tarifa volumétrica (quanto mais kwh consumido maior o faturamento) como nos seus mercados cativos, onde o preço da eletricidade é fixado e não negociável, também os consumidores, têm menos estímulos para adotar soluções como a eficiência e a autoprodução energética, comparativamente aos grandes consumidores que adquirem energia elétrica do mercado livre (grandes indústrias e comércios, em especial). Portanto, uma revisão na composição das parcelas A (compra de energia das distribuidoras) e B (custo da distribuição) nas tarifas de eletricidade, bem como incentivos para remuneração por eficiência e não consumo, podem induzir à redução das emissões de GEE. Além disso, os consumidores residenciais de eletricidade no Brasil são mais vulneráveis a crises hídricas do que os grandes consumidores do mercado livre (no qual os consumidores negociam diretamente com geradores ou com comercializadores de energia); e isto pelo fato de o SIN ser amplamente dependente de usinas hidrelétricas, o que acarreta em aumento de

bandeira tarifária do mercado cativo durante os períodos de seca. Embora seja possível observar mercados energéticos cativos mais competitivos, como o caso estadunidense, ainda assim, as tarifas continuam volumétricas, incentivando a venda de kwh como principal modo de aumentar o faturamento das distribuidoras.

O setor de energia no Brasil pela perspectiva da justiça ambiental: Análise com foco na necessidade de superação de entraves à Transição Energética Justa

No seio da militância socioambiental estadunidense da década de 1970, surge a justiça ambiental, uma ideia e uma práxis contra a desigualdade de distribuição dos impactos ecológicos da atividade humana pela população. Com a intensificação dos debates acerca deste tema, a justiça ambiental adentrou o meio acadêmico, onde foram iniciados os esforços para sistematizar seus princípios e métodos. A partir desta dupla frente, a justiça ambiental reivindica justiça social e equidade no uso da terra e na exploração de recursos naturais (recursos energéticos, recursos florestais, recursos minerais e recursos hídricos, por exemplo).

Fundamentalmente, a preocupação da justiça ambiental é com o tratamento equitativo dos cidadãos em relação às externalidades positivas e negativas correlatas a questões ambientais, assim como o envolvimento da população nos processos de regulações ambientais e de

tomada de decisão de políticas (Heffron, 2018).

Uma definição bastante precisa sobre a justiça ambiental é aquela desenvolvida por Herculano (2002), que a define como conjunto de princípios que asseguram que nenhum grupo de pessoas, sejam grupos étnicos, raciais ou de classe, suporte uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas de operações econômicas, de políticas e programas federais, estaduais e locais, bem como resultante da ausência ou omissão de tais políticas.

Uma análise transversal a respeito da justiça ambiental no Brasil evidencia que, a despeito de determinadas políticas de governo (tal como o Plano de Transformação Ecológica, criado, em 2023, pelo Ministério da Fazenda e que coteja o eixo Transição Energética) ou de iniciativas lideradas pela sociedade civil (tais como o MAB, o Movimento dos Atingidos por Barragens, e a Rede Brasileira de Justiça Ambiental), histórica e presentemente, há uma séria de casos de violações deste conceito, particularmente no que se refere a violações dos direitos dos povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais, tais como ribeirinhos, caiçaras, pescadores artesanais ou quebradeiras de coco babaçu (Mendes, Sampaio e Collaço, 2025).

Neste contexto, destaca-se que, em 2024, cerca de 1,2 milhão de pessoas ainda não possuíam conexão com a rede elétrica (Agência Gov, 2025). Tal contingente de pessoas ainda não atingidas por estratégias e ações de universalização do acesso à energia elétrica (como o Programa Luz para Todos, uma política pública criada, em 2003, pelo Governo Federal e que retirou da exclusão elétrica cerca de 17,5 milhões de pessoas no Brasil), majoritariamente, são habitantes da Amazônia Legal, que, paradoxalmente, respondeu, em 2021, através das UHE lá instaladas e em operação, pela geração de 27% da energia elétrica no Brasil (EPE, 2024); e é na Amazônia Legal que diversos municípios dependem de sistemas isolados movidos a óleo diesel, o que implica em fornecimento energético de alto custo, intermitente e mais poluente, ampliando, assim, a distribuição desigual das externalidades energéticas (IDEC, 2024).

Destarte, tipicamente no Brasil o acesso à energia, em boa medida, por ser compreendido como fonte de desigualdade socioespacial. Tal como aponta estudo conduzido por Lazaro e Soares (2024), enquanto na Região Sudeste há relativamente baixa independência energética, a Região Nordeste se destaca em segurança energética, ainda que tal aspecto positivo se relacione a crescentes impactos socioambientais correlatos a usinas hidrelétricas em operação na região e à implementação de novos empreendimentos de energias renováveis. Por sua feita, as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste apresentam melhores níveis de equidade energética do que as regiões Norte e Nordeste. Tais achados indicam a necessidade de políticas energéticas, nacionais e subnacionais, que coadunem, em nível regional, governança e dimensões socioeconômicas, de modo que seja fomentada uma transição energética efetivamente justa no país (Lazaro e Soares, 2024).

Em 2023, 12,7 milhões de famílias brasileiras (cerca de 15,2% dos domicílios brasileiros) ainda cozinhavam exclusivamente com lenha ou carvão vegetal (IBGE, 2025). Além disso, cerca de 10 mil famílias, em sua maioria pescadores e indígenas, tiveram que abandonar suas casas devido à inundação de 512 quilômetros quadrados para a construção do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, no rio Xingu (Bermann, 2012). Tal contexto, per se, exemplifica algumas das alarmantes injustiças ambientais relacionadas ao sistema energético brasileiro.

Cabe mencionar que à época do lançamento do Relatório Geo Brasil 1²¹ (intitulado GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil), ou seja, há cerca de 23 anos, aproximadamente 24 milhões de brasileiros utilizavam lenha ou carvão mineral para

cozimento. Este dado advém da PNAD/IBGE 2002, que apontava que, em 2001, cerca de 28% dos domicílios no país ainda faziam uso da lenha como principal combustível para preparo de alimentos, principalmente em áreas rurais e em regiões mais socioeconomicamente vulnerabilizadas do Brasil. Não descabidamente, portanto, o Relatório Geo Brasil 1, de 2002, enfatizava a importância da substituição da lenha e do carvão vegetal em prol de eficiência energética e objetivando mitigar problemas à saúde humana, afinal, especial em ambientes fechados (poluição indoor), fogões a lenha são extremamente prejudiciais à saúde.

Estudos diversos comprovam a desigualdade de capacidades em relação à energia no Brasil. Destarte, no país os mais pobres sofrem mais com os efeitos da poluição do ar; as populações indígenas e as comunidades ribeirinhas são as mais afetadas pela instalação de infraestruturas para geração hidrelétrica (em especial, devido à necessidade de deslocamento de consideráveis contingentes humanos para construção das represas), solar e eólica; e, se pode dizer que a população, em especial os menos favorecidos socioeconomicamente, tem dificuldade em se manifestar nos processos decisórios sobre projetos energéticos, seja por falta de espaço em veículos de imprensa ou pelo lobby exercido junto a governos (nos níveis federal, estadual e municipal) por empresas do setor energético (Bermann, 2012; Zhouri, 2014; Costa e Goldbaum, 2017; Frate et al., 2019; Lozornio e Simões, 2022; Relatório Luz, 2024).

Como exemplos mais específicos de casos de ausência de justiça ambiental no setor energético brasileiro, poder-se-ia mencionar: (1) A exploração de uma mina de cobre, no Município de Craíbas, em Alagoas, tem causado conflitos com as comunidades indígenas Karapotó, Tingui Botó e Kariri-

²¹ A respeito do Relatório “GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil” (ou seja, o Relatório GEO Brasil 1), acessível a partir de acesso ao endereço eletrônico “https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site_cnia/geo_brasil_2002.pdf”, cabe mencionar que havia ênfase na conservação de energia, ainda que com foco prioritário na energia elétrica e, quase que exclusivamente, através de ações do PROCEL, um Programa do Governo Federal, lançado em 1985, e cuja sigla significa “Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica” e que é focado no fomento ao uso eficiente da energia elétrica e no combater o seu desperdício. A sua principal ferramenta é o Selo Procel, uma etiqueta que sinaliza quais eletrodomésticos e equipamentos mais econômicos e eficientes estão disponíveis no mercado, permitindo que o consumidor faça escolhas mais ambientalmente conscientes. O relativamente discreto foco do Relatório “GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil” em estratégias e iniciativas voltadas à redução do consumo de combustíveis fósseis no Brasil e, também, na necessidade de diversificação da oferta energética do país (ou, em terminologia contemporânea, na necessidade de se realizar uma transição energética justa), em boa medida, se deve a ainda não plena disseminação no seio da população brasileira e mundial sobre as consequências das mudanças climáticas e do aquecimento global. De fato, em 2002, a acurácia científica em relação às causas e quanto aos impactos das mudanças climáticas era tipicamente menor, comparativamente à atualidade (IPCC, 2022). Destarte, o supracitado Relatório “GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil”, compreensivelmente, pouco incisivamente aborda as energias solar fotovoltaica e eólica.

Xokó – tais comunidades vem relatando a ausência de consulta e impactos ambientais (tal como rachaduras em residências) (Mapa de Conflitos, 2025); (2) A Construção do Sistema de Transmissão Gralha Azul, no Paraná, vem enfrentando oposição por parte de comunidades indígenas, quilombolas e tradicionais devido a impactos ambientais, como a derrubada de (árvores) araucárias, e em vista da ausência de consulta prévia (Mapa de Conflitos, 2025); (3) O Complexo Eólico Canudos II, na Bahia, vem recebendo críticas diversas por partes de comunidades tradicionais de fundo e fecho de pasto (caracterizadas pela criação de animais soltos e em terras coletivas – ou seja, pasto em mata nativa –, pela coleta de frutos e pela pequena produção agrícola), as quais relatam impactos à fauna local (como à arara-azul-de-lear), destruição da vegetação nativa e invasão de territórios tradicionais – em 2022, 60 organizações da sociedade civil denunciaram este projeto ao Alto Comissariado das Nações Unidas para os Direitos Humanos (ACNUDH), frisando os impactos socioambientais negativos e a ausência de consulta prévia (Mapa de Conflitos, 2025); e (4) Considerando dados atualizados até setembro de 2024, há, no país, 426 blocos contratados em operações de E&P de petróleo e gás natural, sendo 282 terrestres e 144 marítimos (EBC, 2024) - tais atividades afetam, em níveis diversos, 56 Terras Indígenas (TI), o que representa 28% do total das TI do Brasil (Instituto Internacional Arayara 2024).

Apesar do entendimento sobre a necessidade da urgência da transição energética, o Brasil tem se caracterizado por importante expansão de projetos de exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural, geração energética e transporte de derivados de petróleo e gás natural; tais projetos, frequentemente, expõem as minorias étnicas à degradação ambiental e, concomitantemente, ampliam a exclusão energética. Em boa medida se insere neste contexto a proposta de E&P de petróleo e gás natural, liderada pela Petrobras e por diversas companhias petrolíferas multinacionais, em região relativamente próxima da Foz do Rio Amazonas (a cerca de 500 km) e na Margem Equatorial Brasileira,

ainda que seja possível, neste caso, fazer a ressalva de que numa eventual reestruturação dos royalties em prol de fundos soberanos ampliados, provavelmente parte do histórico déficit socioeconômico das regiões Norte e Nordeste seria mitigado.

Uma medida em prol da justiça ambiental e, concomitantemente, na direção da eficiência energética e da transição energética justa no Brasil refere-se à necessidade de gradativo descomissionamento das usinas termelétricas a combustíveis fósseis instaladas no país. Corroborando para esta recomendação, estudo realizado pela ONG Instituto de Energia e Ambiente, publicado em dezembro de 2024 (IEMA, 2024), que explicitou que, em 2023, as 67 termelétricas fósseis (movidas a carvão mineral, óleo diesel ou gás natural) conectadas ao SIN emitiram 17,9 MtCO₂, valor superior às emissões de CO₂ geradas pela mais populosa (11 milhões de habitantes) e economicamente relevante (10,3% do PIB do Brasil, em 2019) cidade do país, qual seja, São Paulo, que, no mesmo ano, emitiu 14,5 MtCO₂ (IEMA, 2024; SEEG, 2024). A resiliência das termelétricas a combustíveis fósseis no seio da oferta energética nacional deve-se, centralmente, à alegada (por parte dos stakeholders do setor energético brasileiro) busca por maior segurança energética (correlatamente à crise hídrica de 2001 e à intermitência inerente às usinas fotovoltaicas e eólicas) e ao forte lobby da indústria do gás natural e do carvão mineral atuante no Congresso Nacional, no Senado Federal e em assembleias legislativas estaduais de estados com marcante presença de usinas termelétricas fósseis (IEMA, 2024).

Sob a égide de tais considerações, a transição energética justa no caso do Brasil, invariavelmente, deve seguir três princípios: justiça (ambiental, social, econômica e energética), democracia participativa e inclusão social, a qual, no contexto da energia, podemos alcinhar como inclusão energética no meio urbano e em comunidades remotas. E, de modo mais amplo, para o setor energético brasileiro como um todo, a efetiva inserção da componente justiça ambiental requer o delineio ou o aprimoramento de políticas energéticas públicas e privadas que considerem como prioritário o respeito aos direitos dos povos indígenas, quilombolas e

das comunidades tradicionais, viabilizando, deste modo, a efetiva participação nos processos decisórios das populações impactadas (ou com potencial de serem impactadas); outrossim, é fundamental que haja distribuição justa das externalidades positivas e dos impactos vinculáveis a empreendimentos de geração energética.

Complementarmente, cabe mencionar exemplos brasileiros de boas práticas de participação comunitária e de soluções em nível de compensação mais equitativa que podem ser exitosas no âmbito da almejada transição energética justa. Neste contexto, poder-se-ia citar o Decreto 11.659/2023, um mecanismo de compensação financeira, que modifica os percentuais de repasse da CFEM²² visando garantir que municípios impactados pela atividade de mineração ou por infraestrutura mineral (barragens de rejeitos, minerodutos e ferrovias, por exemplo) recebam uma parcela dos recursos (ou seja, não mais somente os municípios produtores hão de receber uma parcela de tais recursos). Esse decreto, em última instância, objetiva dobrar o impacto social desses recursos, disponibilizando-os para investimentos em educação, saúde, saneamento e segurança dos municípios que, essencialmente, sofrem os impactos diretos da mineração. Nesse mesmo contexto, urge também citar os Editais do Fundo Brasil²³ (“Fortalecendo Soluções de Povos Indígenas, Comunidades e Trabalhadoras/es rumo à Justiça Climática e à Transição Justa” e “Transição Justa e Trabalho Digno”), os quais fomentam iniciativas embrionadas nas próprias comunidades, tais como: bancos de sementes, cozinhas comunitárias, energia solar comunitária, agroecologia, pontos de

trabalho local, participação em espaços de decisão ou ainda reforços da organização comunitária.

Nesse sentido, também é possível mencionar as iniciativas conduzidas pela Revulusolar²⁴, uma organização que atua em comunidades de baixa renda e promovendo cooperativas de energia solar, capacitação e autogestão, que, por exemplo, no caso da cooperativa de energia solar da Babilônia, na cidade do Rio de Janeiro, contou com apoio das famílias locais e participação direta da comunidade, inclusive quanto a apoio técnico. E ainda cabe citar: (a) O Programa de Infraestrutura Comunitária (Projeto Saúde & Alegria²⁵, em Alto Tapajós, no Pará), que já beneficiou cerca de 2.700 pessoas e que visa a instalação de sistemas solares fotovoltaicos em aldeias indígenas, a melhoria do acesso a serviços básicos, em particular o abastecimento de água potável com emprego de energia solar; (b) Palma Solar²⁶, no Ceará, uma iniciativa baseada na participação das mulheres, baseia-se em economia solidária focada em energia solar comunitária e solidária, e conta com o envolvimento de instituições locais (IFCE – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará –, Banco Palmas e comunidades locais) – o objetivo é beneficiar famílias de baixa renda por meio da redução nos valores das contas de luz; e (c) Projeto Boa Vista Sustentável²⁷ (Território Quilombola, Barcarena, Pará), focado na implementação de painéis solares fotovoltaicos em residências e centro comunitário, objetivando fomento à democratização do acesso à energia, aumento de autonomia local e redução de custo.

²² A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais – CFEM –, foi estabelecida pela Constituição Federal de 1988.

²³ O Fundo Brasil (<https://www.fundobrasil.org.br/conheca-o-fundo-brasil/>), instituído oficialmente em 2006, é uma fundação independente, sem finalidades de lucro, criada por ativistas que objetiva fortalecer as organizações da sociedade civil na luta por direitos humanos.

²⁴ Informações adicionais podem ser obtidas por meio de acesso ao seguinte endereço eletrônico: revulusolar.org.br.

²⁵ Informações adicionais podem ser obtidas por meio de acesso ao seguinte endereço eletrônico: saudeealegria.org.br.

²⁶ Informações adicionais podem ser obtidas por meio de acesso ao seguinte endereço eletrônico: <https://www.trabalho.ce.gov.br/2025/04/25/palma-solar-seminario-apresenta-iniciativa-de-fornecimento-de-energia-solar-comunitaria-e-solidaria-em-fortaleza/>.

²⁷ Informações adicionais podem ser obtidas por meio de acesso ao seguinte endereço eletrônico: <https://www.barcarenasustentavel.org/conexoes-sustentaveis/projetos-cbe/projeto-social-boa-vista-sustentavel/>.

Considerações finais

A oferta energética brasileira é reconhecida internacionalmente pela expressiva participação de fontes renováveis em sua composição, que atingiu 50,5% da oferta interna de energia primária em 2023, índice amplamente superior à média mundial de 14,6%. Entretanto, a outra metade da oferta energética nacional ainda é composta por fontes fósseis, sobretudo petróleo e gás natural, cuja produção e exportação expandem-se, impulsionadas principalmente pela produção a partir da camada Pré-Sal. Na produção de eletricidade, o Brasil apresenta uma oferta majoritariamente renovável (89%, em 2023), com predomínio de hidrelétricas, eólicas e solares. Entretanto, a rápida expansão das renováveis modernas trouxe desafios para o planejamento energético, tais como: a intermitência das fontes, impactos socioambientais deletérios, conflitos territoriais e pressões sobre estilos de vida tradicionais e rurais que afetam desproporcionalmente comunidades tradicionais, indígenas e quilombolas.

O país enfrenta dificuldades para avançar nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7), com estagnação principalmente no acesso universal à energia e insuficiência nos ganhos de eficiência energética. As transições energéticas brasileiras têm sido marcadas por profundas desigualdades regionais e sociais, evidenciadas tanto na exclusão energética de populações vulneráveis quanto na distribuição desigual dos impactos negativos dos grandes projetos. Políticas públicas como o PROINFA²⁸, PROCONVE²⁹, RenovaBio, o Marco Legal do Hidrogênio de Baixo Carbono e incentivos à geração distribuída, de fato, buscam mitigar as emissões de gases de

efeito estufa (GEE), mas o volume de subsídios destinados às fontes fósseis ainda supera amplamente os subsídios voltados às renováveis.

A justiça ambiental, por sua vez, permanece um desafio fulcral para o planejamento energético nacional, exigindo a efetiva participação das populações impactadas nos processos decisórios, a distribuição equitativa dos benefícios e dos impactos dos empreendimentos energéticos, e o fortalecimento de mecanismos de consultas e poderes de veto. Para que as transições energéticas sejam justas no Brasil e voltadas a práticas de mitigação dos impactos da expansão energética, inclusive de fontes renováveis, se faz necessária a integração entre políticas sociais, energéticas e climáticas, além da desagregação regional para estratégias de descarbonização, financiamento público que foque em renováveis e não em fósseis e, sobretudo, o respeito aos direitos das populações indígenas, quilombolas e tradicionais.

Os desafios são amplos e complexos no que tange a tornar efetivamente sustentáveis as inter-relações entre o setor de energia e o meio ambiente. Nesse contexto, no caso do Brasil é mister que o planejamento energético integre mais amplamente as especificidades das agendas ambientais nacionais e globais; nesta segunda perspectiva, urge frisar que tal integração deve focar, em particular, as metas brasileiras expressas no âmbito do Acordo de Paris (ou seja, a NDC brasileira) e do Marco Global da Biodiversidade de Kunming-Montreal, do qual o Brasil, desde 2022, é signatário.

Destarte, os nexus entre energia e meio ambiente no Brasil são fortes, afinal o país se caracteriza por uma oferta energética tipicamente renovável, porém ainda marcada por significativas pressões ambientais; nesse sentido, as mais importantes são:

²⁸O PROINFA, ou Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, foi um programa governamental brasileiro instituído em 2002 pela Lei nº 10.438 para diversificar a matriz energética nacional e impulsionar o uso de energias renováveis, como eólica, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). O programa teve um papel importante no desenvolvimento do mercado de energias renováveis no Brasil, fomentando a indústria nacional, a geração de empregos e o avanço tecnológico. Atualmente, a gestão dos contratos do PROINFA é feita pela ENBPar (Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A.).

²⁹O PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) é uma política brasileira criada em 1986 pelo CONAMA para reduzir as emissões de poluentes de veículos automotores, estabelecendo limites de emissões e impulsionando o desenvolvimento tecnológico e o uso de combustíveis mais limpos no país. O programa é dividido em fases, como as Fases L (veículos leves) e P (veículos pesados), que impõem normas cada vez mais restritivas para as montadoras, que precisam adaptar os veículos para atender aos padrões.

* *Mudanças Climáticas e Segurança Energética.* Nesse contexto, mais destacadamente urge mencionar que alterações no regime de chuvas afetam o funcionamento das usinas hidrelétricas, induzindo a mais acionamento (maior uso) das usinas termelétricas fósseis (a carvão mineral, óleo diesel e gás natural), aumentando, assim, as emissões de GEE pelo Brasil. Outrossim, eventos climáticos extremos, particularmente secas prolongadas, pressionam o SIN;

* *Energia e Justiça Climática.* Frequentemente, grandes projetos energéticos (usinas hidrelétricas, solares e eólicas) afetam comunidades tradicionais sem a necessária consulta prévia. Além disso, de modo correlato, tem se constatado racismo ambiental e desigualdade no acesso às energias renováveis.

* *Hidrelétricas*, que representam uma forma de geração baseada em fonte energética renovável, mas com impactos socioambientais relevantes. O benefício energético para o Brasil, associável a este tipo de geração é que as hidrelétricas garantem de 55% a 60% da demanda por eletricidade no país e com baixa emissão de GEE. Por outro lado, há importantes impactos ambientais correlatos ao alagamento de grandes áreas, alteração de ecossistemas aquáticos e perda de biodiversidade. Há, subsequente a tal contexto, o potencial estabelecimento de conflitos socioambientais que afetam, sobremaneira, povos indígenas, quilombolas, comunidades ribeirinhas;

* *Bioenergia e Biocombustíveis*, os quais, em termos de benefício energético e sob a égide do etanol de cana-de-açúcar e do biodiesel, reduzem a dependência externa por combustíveis fósseis (óleo diesel e gasolina, em especial) e têm menores pegadas de carbono. Por sua vez, em termos de impactos ambientais, urge destacar que a expansão da monocultura da cana-de-açúcar e da soja pode induzir a mais desmatamento indireto, uso intensivo de agrotóxicos e degradação do solo. Cabe ainda mencionar, que a queima da palha de cana-de-açúcar prejudica a qualidade do ar em regiões produtoras;

* Desmatamento e uso da terra ligados ao setor energético. A este respeito, frisa-se que lenha e carvão vegetal ainda são muito utilizados como energéticos pelo setor industrial, particularmente na siderurgia e no subsetor de cerâmica. Neste sentido, cabe destacar que o desmatamento ilegal para extração de lenha e produção de carvão vegetal contribui, notadamente, para a perda de biodiversidade e para o aumento das emissões brasileiras de CO₂;

* Combustíveis fósseis e o Pré-Sal, cujo benefício energético se associa à produção de petróleo e gás natural, fortalecendo, assim, a economia e a segurança energética do país. Há, porém, nesse contexto, revezes ambientais expressivos, tais como o risco de vazamento e acidentes (offshore), a contribuição para o aumento das emissões de GEE pelo Brasil, dificultando o atingimento das NDC do país perante o Acordo de Paris. Nesse mesmo contexto, é possível citar que a expansão da infraestrutura para transporte de combustíveis fósseis se relaciona a uma maior pressão aos ecossistemas terrestres e aquáticos.

* Energia Solar e Eólica, cujas externalidades ambientais positivas se relacionam ao fato de serem formas de geração de eletricidade a partir de fontes energéticas primárias renováveis (Sol e ventos, respectivamente), e, assim, auxiliam na descarbonização do setor energético e, mais amplamente, da economia brasileira. Há, no entanto, impactos ambientais associáveis a conflitos de uso da terra (particularmente no caso de usinas eólicas no Semiárido e de usinas solares em áreas agricultáveis), degradação de habitats, impacto visual, potencial impacto para rotas migratórias de pássaros (usinas eólicas), além de desafios técnicos e econômicos correlatos ao descarte de painéis solares fotovoltaicos no final da vida útil.

Cabe ainda destacar que, na medida em que o Brasil é dos mais socioeconomicamente desiguais países do mundo e que a pobreza energética é manifestação da injustiça ambiental (e, portanto, também da injustiça climática), a necessária maior integração entre políticas energéticas e ambientais, fundamentalmente, deve contemplar estratégias e ações voltadas à redução da pobreza e da miséria no Brasil.

Recomendações prioritárias

Na forma de tópicos, a seguir, são elencadas as ações mais urgentes em prol da redução de problemas ambientais, socioambientais e socioeconômicos associáveis ao setor energético do Brasil:

- * Criação e/ou aprimoramento de regulações específicas voltadas à implementação e operação de usinas eólicas (*onshore* e *offshore*) e de usinas solares centralizadas;

- * Transições energéticas para fontes menos poluentes e modernas (particularmente, solar e eólica) têm reproduzido no Brasil padrões de exploração de fontes tradicionais (fósseis, hidrelétrica), ocasionando, muitas vezes, despossessão de terras e supressão de culturas e de estilos de vida. Assim, com sentido de urgência, políticas e planos de expansão da oferta energética têm de passar a ser devidamente transversalizados com as noções de justiça energética;

- * Fortalecimento das entidades da sociedade civil e fiscalizatórias do meio ambiente (IBAMA e ICMBio, em nível federal; e as Secretarias Estaduais de Meio Ambiente e os órgãos ambientais municipais, em nível subnacional);

- * Aumento da participação independentemente e informada das populações mais diretamente afetadas por grandes empreendimentos energéticos;

- * Criação de fundos soberanos com os excedentes do Pré-Sal, com foco na substituição gradativa dos combustíveis fósseis;

- * Políticas públicas e privadas devem focar atenções no fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico capaz de oportunizar aos atores diversos envolvidos com o setor energético do país ainda mais eficazes estratégias e ações indutoras de redução nas emissões de GEE;

- * No que se refere ao nexus água-alimento-energia, é premente o desenvolvimento de políticas públicas intersetoriais na medida em que há,

notadamente, carência de planejamento articulado do nexus;

- * O fortalecimento do nexus água-alimento-energia depende do aumento da eficiência no uso da água na agricultura, expansão de energias renováveis não hídricas (solar e eólica, em particular), reuso de água em cidades, redução de perdas (tanto de alimentos quanto de água e energia), além de incentivo à bioeconomia;

- * É fundamental estabelecer amplo debate envolvendo poder público, universidades e comunidades locais que convirja para um arcabouço institucional próprio para o licenciamento de projetos energéticos renováveis que ultrapassem 5 MW de potência instalada, e, de modo correlato, fiscalizar e penalizar o avanço dos megaprojetos eólicos que desmatem o Semiárido;

- * A redução de problemas associáveis à intermitência associáveis à geração solar e eólica, deve priorizar as seguintes estratégias e ações: (1) Armazenamento energético a partir de baterias de lítio para equilíbrio de curto prazo (Exemplo: baterias conectadas a parques solares na Região Nordeste) e seu respectivo descarte e condicionamento ou reciclagem; (2) Usinas reversíveis (bombeamento hidráulico) usam a energia excedente para bombear água para reservatórios, liberando-a posteriormente; (3) Armazenamento químico, que se relaciona à produção de Hidrogênio Verde (H2V) a partir do excedente solar/eólico, que, subsequentemente, pode ser utilizado em usinas térmicas ou no setor de transporte;

- * Políticas climáticas voltadas à redução das emissões de GEE no Brasil devem se voltar, prioritariamente, ao delineamento de estratégias e ações mais tipicamente regionalizadas e, assim, em níveis subnacionais;

- * Reduções mais expressivas das emissões de GEE pelo setor energético do Brasil se relacionam, intrinsecamente, com mais conexões e inter-relações entre as políticas (e as prioridades) energéticas e climáticas;

- * No caso do setor de transporte, o principal contribuinte setorial para as emissões de GEE relacionáveis à energia no país, é fundamental que sejam priorizadas

ações voltadas à melhoria da economia de combustível, e que políticas (de âmbito federal, principalmente) foquem na mudança para modais de baixo carbono (prioritariamente, os ônibus e os trens elétricos, a navegação de cabotagem e o transporte por meio de veículos de propulsão humana, em especial a bicicleta), assim como ampliar as sinergias entre a geração energética e os meios de transporte;

✱ No caso do setor industrial, a mitigação das emissões de GEE deve priorizar a ampla substituição do carvão mineral e do óleo combustível por eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, biogás e biomassa, assim como modernizar equipamentos e processos industriais de alto consumo energético e carbono-intensivos; também é oportuno implementar programas voltados à gestão energética, tais como sistemas de cogeração mais eficientes;

✱ No que se refere ao setor residencial, é crucial a redução do consumo energético com vistas a se atenuar a carga sobre o Sistema Interligado Nacional (SIN), particularmente em períodos de seca e, portanto, de menor geração hidrelétrica. Nesse contexto, as mais relevantes estratégias para abatimento das emissões de GEE combinam mudanças de comportamento, dispositivos inteligentes

(*smart plugs*, *timers* e sensores) e tecnologias eficientes, assim como a adoção de políticas públicas voltadas à redução de custos para instalação de aquecedores solares e de biodigestores (para geração de energia para cocção, e com o cobenefício da gestão sustentável de resíduos) em comunidades socioeconomicamente vulnerabilizadas;

✱ Para o setor energético brasileiro como um todo, a efetiva inserção da componente justiça ambiental requer a elaboração ou o aprimoramento de políticas energéticas públicas e privadas que considerem como prioritário o respeito aos direitos dos povos indígenas, quilombolas e das comunidades tradicionais, viabilizando, deste modo, a efetiva participação nos processos decisórios das populações impactadas (ou com potencial de serem impactadas); é também fundamental que haja distribuição justa das externalidades positivas e dos impactos vinculáveis a empreendimentos de geração energética;

✱ É mister que o planejamento energético integre mais amplamente as especificidades das agendas ambientais nacionais e globais; nesta segunda perspectiva, tal integração deve focar, em particular, as metas brasileiras expressas no âmbito do Acordo de Paris (ou seja, a NDC brasileira) e do Marco Global da Biodiversidade de Kunming-Montreal.

Referências

- ABDE – Associação Brasileira de Desenvolvimento. (2025). **Notícias**. <https://abde.org.br/noticias/>
- ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. (2025). **Nossas notícias**. <https://www.absolar.org.br/noticias/>
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). (2025a). **Anuário estatístico 2024**. <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2025>
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). (2025b). **Boletim mensal de produção de petróleo e gás natural: Fevereiro de 2025**. <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivos-bmppgn/2025/fevereiro.pdf>
- Agência GOV. (2025). **Luz para todos recebe maior volume de investimentos desde sua criação**. <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202407/primeiro-semester-de-2024-registra-o-maior-investimento-no-luz-para-todos-desde-a-criacao-do-programa>
- Barisano, D. (2021). Green hydrogen through biomass gasification. **Energia, Ambiente e Inovazione**, 1, 101–106. <https://www.eai.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=1222>
- Bermann, C. (2008). Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**, 60(3), 20–29.
- Bermann, C. (2012). O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: A autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, 15(1), 5–23.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia (MME). (2023). **Programa Nacional do Hidrogênio: Plano de trabalho trienal 2023–2025**. Brasília: MME. <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>
- Carramillo, M. P., Pavanelli, J. M. M., de Almeida Collaço, F. M., Marques, T. C. A., Roberto, S. S., & Siqueira, A. M. Q. (2024). When energy transition does not meet energy poverty mitigation: The case of Ceará State in Brazil. In L. L. B. Lazaro, S. de A. Neiva & E. Serrani (Eds.), **Energy poverty, justice and gender in Latin America**. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-80068-9_4
- CELA. (2024). **Índice LCOX Brasil: Custo nivelado de hidrogênio verde e de amônia verde no Brasil (edição de agosto de 2024)**. https://cela.com.br/wp-content/uploads/2024/08/20240811_LCOX_Publico-novo.pdf
- Climate Watch. (2024). **Greenhouse gas emissions by sector**. <https://www.climatewatchdata.org/>
- Collaço, F. M. de A., Soares, A. A., Peixoto, E. N., & de Azevedo, D. C. S. (2024). **Atlas do hidrogênio verde no Brasil**. Fortaleza: Editora Universidade Federal do Ceará.
- Costa, D. F., & Goldbaum, M. (2017). Contaminação química, precarização, adoecimento e morte no trabalho: Benzeno no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 22(8), 2681–2692.
- Civil Society Working Group for the 2030 Agenda (CSWG). (2024). **Brazil and the 2030 Agenda: Civil society spotlight report 2024**. Brasília: GT Agenda 2030. <https://gtagenda2030.org.br/wp-content/uploads/2024/07/rl-2024-english.pdf>
- De Oliveira, R. C. (2022). **Panorama do hidrogênio no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) (2021). **Mapeamento do setor de hidrogênio brasileiro: Panorama atual e potenciais para o hidrogênio verde**. https://energypartnership.com.br/fileadmin/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2g.pdf
- Empresa Brasil de Comunicação (EBC). (2024, setembro 5). ANP registra patamar recorde de áreas de exploração de óleo e gás. **Agência Brasil**. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-09/anp-registra-patamar-recorde-de-areas-de-exploracao-de-oleo-e-gas>
- Energy Institute (EI). (2024). **Statistical review of world energy (73rd ed.)**. <https://www.energyinst.org/statistical-review>

Energy Institute (EI). (2025). **Energy transition tracker**. <https://www.energyinst.org/statistical-review/energy-transition-tracker>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2022). **Hidrogênio cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural (Nota Técnica EPE/DPG/SPG/01/2022)**. Brasília: EPE.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2024a). **Caderno de meio ambiente e energia do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2024**. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2024>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2024b). **Balanco energético nacional 2024: Ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2025a). **Balanco energético nacional 2025: Ano base 2024 – Relatório síntese**. Rio de Janeiro: EPE.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2025b). **Anuário estatístico de energia elétrica 2025**. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2025c). **Nota técnica EPE/DEA/SEE/014/2025: Roadmap tecnológico de hidrogênio**. [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-899/Roadmap%20H2%20-%20EPE-PTI%20-%20Tecnologia%20\(VF\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-899/Roadmap%20H2%20-%20EPE-PTI%20-%20Tecnologia%20(VF).pdf)

Fernandes, F. (1975). **Capitalismo dependente e classes sociais na América Latina (2ª ed.)**. São Paulo: Zahar.

Frate, C. A., Brannstrom, C., de Moraes, M. V. G., & Caldeira-Pires, A. A. (2019). Procedural and distributive justice inform subjectivity regarding wind power: A case from Rio Grande do Norte, Brazil. **Energy Policy**, 132, 185–195.

Frighetto, M. (2025, julho 9). O impacto para o clima da exploração de petróleo na Foz do Amazonas. **Deutsche Welle/ECO A UOL**. <https://www.uol.com.br/ecoa/noticias/deutsche-welle/2025/07/09/o-impacto-para-o-clima-da-exploracao-de-petroleo-na-foz-do-amazonas.htm>

Garlet, T. B., Savian, F. de S., Ribeiro, J. L. D., & Siluk, J. C. M. (2024). Unlocking Brazil's green hydrogen potential: Overcoming barriers and formulating strategies to this promising sector. **International Journal of Hydrogen Energy**, 49, 553–570.

Gauto, M. A., Carazolle, M. F., Rodrigues, M. E., Abreu, R. S., & Pereira, G. A. G. (2023). Hybrid vigor: Why hybrids with sustainable biofuels are better than pure electric vehicles. **Energy for Sustainable Development**, 76, 101261.

Gilio, L., Borges, P., Jank, M. S., & Ribeiro, P. H. C. (2024). **A bioenergia tropical na transição energética global**. BioComForest. <https://biocomforest.com.br/a-bioenergia-tropical-na-transicao-energetica-global/>

Heffron, R. J. (2018). The application of distributive justice to energy taxation utilizing sovereign wealth funds. **Energy Policy**, 122, 649–654.

Herculano, S. (2002). Riscos e desigualdade social: A temática da justiça ambiental e sua construção no Brasil. I **Encontro da ANPPAS**. https://www.professores.uff.br/seleneherculano/wp-content/uploads/sites/149/2017/09/Riscos_v4_e_desigualdade_social.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2024). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – 3º Trimestre 2024**. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/17270-pnad-continua.html>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2025). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – Principais resultados, abril 2025**. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html>

Instituto de Defesa do Consumidor (IDEC). (2024). **No escuro da floresta: Situação de exclusão energética na Amazônia Legal e lacunas nas políticas públicas de acesso à energia**. https://idec.org.br/pdf/Idec_Relatorio-Exclusao-Energetica-nos-SISOL.pdf

International Energy Agency (IEA). (2024). **Global hydrogen review 2024**. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>

Instituto de Energia e Ambiente (IEMA). (2024). **4º inventário de emissões atmosféricas em usinas termelétricas: Geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias**. https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2024/12/4-inventario-ute-iema-2024_V4.pdf

Instituto de Estudos Socioeconômicos (INESC). (2024). **Monitoramento de subsídios às fontes fósseis e renováveis (7ª ed.)**. https://inesc.org.br/wp-content/uploads/2024/10/estudo-7ed-subsidio-fosseis_renovaveis.pdf

Instituto Internacional Arayara. (2024). **Regressão energética: Relatório**. <https://arayara.org/wp-content/uploads/2024/06/Relatorio-Coalizao-Energia-Limpa.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). **Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report**. Cambridge University Press.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2025). **Energy transition outlook 2025**. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Outlook>

Johansen, I. C., Reis, V., Mandai, S. S., & Moran, E. F. (2025). O impacto das hidrelétricas na Amazônia. **Ciência Hoje**, 417. <https://cienciahoje.org.br/artigo/o-impacto-das-hidreletricas-na-amazonia/>

Junk, W. J., & de Mello, J. A. S. N. (1990). Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, 4(8).

Lazaro, L. L. B., & Soares, R. S. (2024). The energy quadrilemma challenges: Insights from the decentralized energy transition in Brazil. **Energy Research & Social Science**, 113, 103533.

Lima, D. T. (2022). **Usina hidrelétrica UHE no Brasil: Geração de energia e impactos ambientais** [Monografia de graduação, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira]. <https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4997/1/DIMAS%20TEIXEIRA%20LIMA%20Mono.pdf>

Lozornio, E. J. C., & Simões, A. F. (2022). Social, environmental and economic externalities related to wind energy projects on the Isthmus of Tehuantepec. **Journal of Management and Sustainability**, 12(1), 169–187.

Mapa de Conflitos. (2025). *Injustiça ambiental e saúde no Brasil*. Fundação Oswaldo Cruz. <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/>

Mendes, E. D., Sampaio, R. J. S., & Collaço, F. M. de A. (2025). Justice or just plans? Reviewing the energy transition strategy of Brazil's Ceará state. **Energy Research & Social Science**, 119, 103865.

McKinsey. (2021). **Green hydrogen: An opportunity to create sustainable wealth in Brazil and the world**. <https://www.mckinsey.com/br/en/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo>

Morante, J. R., Andreu, T., García, G., Guilera, J., Tarancón, A., & Torrell, M. (2020). **Hidrógeno – Vector energético de una economía descarbonizada**. Fundación Naturgy. https://www.researchgate.net/publication/355477614_Hidrogeno_Vector_energetico_de_una_economia_descarbonizada

Neves, F. N. C., & Dutra, L. E. D. (2025). **Nota técnica sobre o programa Renovabio e o mercado dos Cbios**. https://andcbrasil.com.br/storage/2025/04/Nota_Tecnica_RenovabioCbio_FNCNeLEDD_assinado_28129_assinado.pdf
Oxfam Brasil. (2021). **Pesquisa Nós e as desigualdades 2021**. <https://affemg.com.br/blog/pesquisa-nos-e-as-desigualdades-2021-oxfam-brasil>

Pavanelli, J. M. M., Soares, R. S., Siqueira, A. M., Collaço, F. M. de A., Lázaro, L. L. B., & Bermann, C. (2024). The context and evolution of distributed generation in the São Paulo Macrometropolis. In **Environmental governance of the São Paulo Macrometropolis: Perspectives on climate variability** (pp. 281–299). Springer.

Piacente, F. J., Silva, V. C., & de Armas, O. F. (2022). Evolução da produção agrícola canavieira na região noroeste do estado de São Paulo: Fases de expansão e crise no setor e seus impactos no uso da terra entre 2000 e 2013. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 60(1), e228194.

Relatório Luz – Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030. (2024). **VIII Relatório Luz**. Gestos – Soropositividade, Comunicação e Gênero. <https://gtagenda2030.org.br/relatorio-luz/relatorio-luz-2024/>

Stock, R., & Sovacool, B. (2024). Blinded by sunspots: Revealing the multidimensional and intersectional inequities of solar energy in India. **Global Environmental Change**, 84, 102796.

United Nations (UN). (2025). **The SDG report 2025**. Department of Economic and Social Affairs. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/>

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). (2023). **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970–2022)**. https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/11/Relatorio-SEEG_gases-estufa_2023FINAL.pdf

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). (2024). **Relatório analítico 12: Emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1970–2023)**. Observatório do Clima. <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). (2025). **Danos nacionais**. <https://seeg.eco.br/dados/>

Traldi, M. (2018). Os impactos socioeconômicos e territoriais resultantes da implantação e operação de parques eólicos no semiárido brasileiro. **Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, 22(589), 1–34.

Zhour, A. (2014). Mapping environmental inequalities in Brazil: mining, environmental conflicts and impasses of mediation.

Como reduzir os impactos da energia em seu ciclo de vida?



Cristiane Lima Cortez¹

¹Professora do Centro Universitário FAAP e Consultora em sustentabilidade da Fecomercio SP.

Todas as atividades humanas e produtivas requerem energia. Assim, sua produção e consumo estão entre os principais motores do desenvolvimento socioeconômico, mas também figuram como grandes fontes de pressão sobre o meio ambiente e a sociedade. Reduzir esses impactos é um dos grandes desafios da atualidade - talvez o maior - considerando o aquecimento global e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do ciclo produtivo e de consumo de energia.

O ciclo de vida da energia abrange todas as fases envolvidas na geração, transporte, armazenamento e uso. Isso inclui desde a extração de petróleo, mineração de carvão e produção de biocombustíveis, até a fabricação de painéis solares, turbinas eólicas e baterias, além da infraestrutura de transporte, transmissão e distribuição. Seja qual for o tipo de energia, em cada uma dessas etapas, há riscos de emissão de GEE, degradação ambiental, uso intensivo de água e solo, além de impactos sobre comunidades locais e trabalhadores.

Reduzir os impactos desse ciclo exige uma abordagem integrada, baseada em três frentes principais: diversificação da matriz energética com fontes renováveis, aumento da eficiência energética e adoção de critérios socioambientais ao longo de toda a cadeia produtiva.

O Brasil já possui uma matriz elétrica de baixa emissão de GEE, em comparação a outros países – com forte presença de hidrelétricas, biomassa, solar e eólica. O grande desafio está nos combustíveis fósseis usados para a movimentação de cargas e pessoas num país de dimensão continental, que não fez uma opção por transportes eletrificados sobre trilhos.

Contudo, a oportunidade para os biocombustíveis líquidos (etanol, biodiesel, diesel verde, bioquerosene de aviação) e gasosos (biogás e biometano) substituírem diesel, gasolina, querosene de aviação e gás natural é real. É necessário fomentar as tecnologias avançadas de produção de biocombustíveis que vem sendo pesquisadas

e desenvolvidas há anos no território nacional, para que o País seja um exemplo de transição energética. Ainda, o uso de resíduos orgânicos como matéria-prima é uma excelente opção para resolver outro problema do país, o saneamento básico.

A transição energética brasileira deve priorizar tecnologias que combinem baixo carbono com responsabilidade socioambiental, podendo ser replicada em outros países com clima e condições de desenvolvimento econômico semelhantes, alavancando a bioeconomia, e a geração de riqueza.

Outro ponto de destaque é a riqueza do subsolo brasileiro, permitindo a mineração, por exemplo, de lítio, cobalto e outros minerais críticos para baterias e sistemas renováveis, a qual deve ser realizada com controle ambiental, transparência e participação das comunidades afetadas. O mesmo vale para o descarte de painéis solares, turbinas e baterias, que precisam ser incluídos em sistemas de logística reversa e reciclagem visando que os impactos no pós-consumo sejam também mitigados.

É fundamental ainda que a expansão das energias renováveis não reproduza desigualdades sociais. A geração distribuída, com painéis solares em residências de baixa renda, cooperativas de energia e comunidades quilombolas ou indígenas, constitui uma ferramenta poderosa de justiça energética, promovendo inclusão e autonomia.

Para que a transição energética seja realmente sustentável e regenerativa, é preciso garantir que todos os elos da cadeia estejam alinhados com critérios ambientais, sociais e de governança (ESG).

A transição energética brasileira deve priorizar tecnologias que combinem baixo carbono com responsabilidade socioambiental. Ainda, é possível investir em pesquisa e inovação para o desenvolvimento de novas fontes, como o hidrogênio verde, uma estratégia para setores difíceis de descarbonizar, como o transporte pesado e

a indústria de base e de fertilizantes – vital para um país agrícola.

A eficiência energética é um pilar estratégico, pois a melhor opção de energia ainda é aquela que não precisa ser gerada. Aperfeiçoar a eficiência no uso da energia na indústria, comércio, serviços e setor residencial, é uma forma eficaz de reduzir impactos sem comprometer o bem-estar. Isso inclui desde o uso de equipamentos mais eficientes, como geladeiras, motores e ar-condicionado, até o planejamento urbano que favoreça o transporte coletivo e a redução da demanda por deslocamentos motorizados.

No setor público, programas de eficiência energética em escolas, hospitais e edifícios governamentais podem gerar economia de recursos e inspirar o setor privado. A regulamentação e os incentivos fiscais para produtos e edificações sustentáveis também são ferramentas importantes.

Reduzir os impactos da energia em seu ciclo de vida é essencial para enfrentar as mudanças climáticas, preservar a biodiversidade e promover o desenvolvimento sustentável no Brasil. O país tem vantagens naturais e tecnológicas para liderar a transição energética, desde que integre inovação, inclusão social e respeito ao meio ambiente em sua política energética, que deve ser robusta, calcada na ciência e viabilidade técnico-econômica, que ofereça energia a um preço justo para todos os brasileiros e que seja implementada do início ao fim, não importando o governo que esteja liderando o País. O desafio é grande, mas os benefícios para as próximas gerações serão ainda maiores.

Cristiane Moutinho Coelho¹

Elisângela Medeiros de Almeida²

Glaucé Maria Lieggio Botelho³

Heloisa Borges Bastos Esteves⁴

¹Analista de Pesquisa Energética/EPE

²Superintendente de Meio Ambiente/EPE

³Superintendente Adjunta de Meio Ambiente/EPE

⁴Diretora de Petróleo, Gás e Biocombustíveis/EPE

O setor energético é essencial para o desenvolvimento econômico e social, mas sua expansão envolve inevitáveis impactos socioambientais. Reduzir tais impactos ao longo do ciclo de vida da energia — da extração de recursos naturais ao descomissionamento de infraestruturas — é um desafio central para governos, empresas e sociedade. Nesse contexto, o planejamento energético de longo prazo desempenha papel decisivo, pois permite antecipar riscos, orientar escolhas tecnológicas e alinhar investimentos com critérios de sustentabilidade.

O planejamento energético brasileiro envolve diferentes etapas e horizontes temporais, em que a segurança energética deve estar alinhada à sustentabilidade, considerando a variável socioambiental desde as fases iniciais até a execução dos projetos. Esse esforço é materializado em instrumentos de planejamento que conciliam segurança energética, equidade social e preservação ambiental. Dessa forma, a minimização de impactos na produção e exploração, geração, transporte e transmissão, consumo e descomissionamento é parte da equação do processo decisório, que busca compatibilizar a expansão da infraestrutura energética com a conservação ambiental e o desenvolvimento social.

Para a geração de energia hidrelétrica, por exemplo, a etapa inicial é marcada pelo estudo de inventário hidrelétrico, que define a divisão de quedas para uma bacia hidrográfica. A análise busca, por meio da comparação das alternativas, minimizar impactos socioambientais negativos e potencializar benefícios socioambientais. Ao

final do estudo, é realizada a Avaliação Ambiental Integrada (AAI), que examina os efeitos cumulativos e sinérgicos do conjunto de aproveitamentos previstos no inventário, permitindo uma visão estratégica da implantação das hidrelétricas na bacia.

Já no caso da transmissão de energia, os estudos iniciais envolvem a elaboração de relatórios que procuram evitar interferências em áreas protegidas e regiões com alta sensibilidade socioambiental, ao mesmo tempo em que se identifica possíveis restrições à implantação da linha de transmissão, e que influenciam diretamente em custos e prazos. Essa abordagem preventiva é essencial para reduzir riscos durante o licenciamento ambiental, principalmente durante a fase de construção.

Na exploração e produção de petróleo e gás natural, destaca-se o Estudo Ambiental de Área Sedimentar (EAAS). Esse estudo classifica as áreas como aptas, não aptas e em moratória, ou seja, avalia quais áreas são adequadas ou inadequadas para as atividades, além de oferecer recomendações ao licenciamento ambiental. Com essa abordagem, o EAAS contribui para a redução de conflitos locais e de riscos de investimento, além de desonerar o processo de licenciamento ambiental.

Por fim, nos estudos indicativos de gasodutos e oleodutos, a análise socioambiental orienta a definição de traçados referenciais. Novamente, evitam-se áreas protegidas e de alta sensibilidade, além do mapeamento de restrições socioambientais que possam afetar a viabilidade dos futuros projetos.

Esses instrumentos setoriais alimentam o Plano Nacional de Energia (PNE), que

orienta a estratégia de longo prazo, e o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), que avalia as perspectivas de médio prazo. Ambos incorporam questões como mudanças climáticas, inclusão social, justiça energética e transição justa. O planejamento de longo prazo é, assim, a instância que conecta decisões setoriais ao objetivo maior de reduzir impactos ao longo de todo o ciclo de vida da matriz energética brasileira..

À medida que o planejamento avança para horizontes de curto prazo e projetos específicos, as análises socioambientais tornam-se mais detalhadas. No licenciamento ambiental a estratégia é garantir a implantação sustentável de projetos de geração de energia, linhas de transmissão e dutos, equilibrando as necessidades energéticas e econômicas com a proteção social e ambiental. Estudos de impacto ambiental aprofundam a avaliação de impactos propondo medidas que evitem, mitiguem ou compensem os impactos negativos. E no final da vida útil, ou seja, no descomissionamento da infraestrutura, a reciclagem e reutilização de componentes de painéis fotovoltaicos e pás de turbinas eólicas, por exemplo, são essenciais para evitar o acúmulo de resíduos e a necessidade de novas extrações de recursos.

O planejamento brasileiro também vem incorporando novas abordagens, como a metodologia para seleção de áreas destinadas à geração de energia eólica offshore, que considera critérios sociais e ambientais desde a etapa inicial. Tecnologias emergentes como captura e armazenamento de carbono (CCS), a análise da resiliência do sistema energético e a agenda de pobreza e justiça energética reforçam que reduzir impactos envolve não apenas mitigar danos ambientais, mas também garantir acesso democrático à energia no Brasil.

Mais do que uma exigência legal, a incorporação da dimensão socioambiental no ciclo de vida da energia é condição para garantir segurança, equidade e resiliência em um contexto de transição energética. O desafio do Brasil, nas próximas décadas, será continuar a aprimorar essas ferramentas, conciliando expansão do setor

com conservação ambiental e inclusão social, de modo a assegurar que a energia seja, cada vez mais, vetor de desenvolvimento sustentável.

9 INDÚSTRIA



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

QUALIDADE AMBIENTAL NA INDÚSTRIA BRASILEIRA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA UMA TRANSIÇÃO JUSTA E CIRCULAR

Autores: Raphael de Jesus Campos de Andrade e Mônica Cavalcanti Sá de Abreu
Universidade Federal do Ceará

Laboratório de Estudos em Competitividade e Sustentabilidade – LECoS

Sumário Executivo

Os principais desafios da transição, como a dependência de práticas produtivas lineares, os altos índices de emissões setoriais e as desigualdades regionais limitam a capacidade de adaptação da indústria nacional. Foi utilizada a metodologia DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact, Response), que organiza a análise em Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas, para mapear esses desafios e propor soluções. Os modelos industriais vigentes geram externalidades ambientais significativas, como degradação de ecossistemas, contaminação de recursos hídricos e emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que ampliam vulnerabilidades sociais e econômicas. Embora presentes desde os anos 2000, esses impactos ganharam maior visibilidade e intensidade a partir da década de 2010, quando se tornaram mais evidentes em função da combinação entre expansão de cadeias extrativas, pressões internacionais por descarbonização e episódios críticos como os desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019).

A convivência entre práticas ambientalmente inovadoras e padrões produtivos ainda fortemente lineares evidencia grandes desigualdades setoriais e regionais, que urge a necessidade de ação estratégica

integrada entre governo, setor produtivo e sociedade civil. Essa ambivalência se manifesta inicialmente na configuração territorial do parque produtivo. A concentração geográfica da indústria nas regiões Sudeste e Sul, com polos especializados embora gerem economias de escala, aprofundam desigualdades regionais e criam vulnerabilidades sistêmicas.

A defasagem tecnológica constitui um desafio estrutural. Aproximadamente 68% das indústrias de transformação ainda operam com tecnologias convencionais, enquanto, apenas 23% incorporaram elementos da Indústria 4.0 em seus processos produtivos. Essa disparidade tecnológica se reflete na digitalização desigual, ou seja, 45% das grandes empresas possuem sistemas integrados de gestão, comparado a apenas 12% das pequenas e médias empresas. A automação industrial, presente em 34% dos estabelecimentos, concentra-se principalmente nos setores automotivo, siderúrgico e petroquímico, deixando amplos segmentos da indústria com baixo nível de modernização. Há também baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento.

A indústria nacional também começa a enfrentar pressões crescentes por parte de novos regimes regulatórios internacionais. O Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM, na sigla em inglês), da

Introdução

A consolidação da gestão ambiental industrial no Brasil não ocorreu de forma súbita, mas foi resultado de um processo histórico marcado por crescente conscientização social, pressões internacionais e conflitos decorrentes da expansão industrial nas décadas de 1970 e 1980. Nesse contexto, a construção de um arcabouço legal se tornou a resposta institucional necessária para equilibrar crescimento econômico e preservação ambiental. Apresentar a evolução das principais leis e regulações permite compreender como se estruturaram as bases jurídicas e institucionais que moldaram a atuação da indústria brasileira frente aos desafios da sustentabilidade. Assim, o que se segue organiza uma linha do tempo normativa que destaca os marcos mais relevantes desse processo.

A institucionalização da gestão ambiental industrial brasileira teve seu marco inicial com a promulgação da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) em 31 de agosto de 1981 (Lei nº 6.938/81). Esta lei estabeleceu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e instrumentos cruciais como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA). A Constituição Federal de 1988, promulgada em 5 de outubro, fortaleceu este alicerce ao consagrar em seu artigo 225, o direito ao “meio ambiente ecologicamente equilibrado como bem de uso comum do povo” (Brasil, 1988). Este avanço constitucional impulsionou a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em fevereiro de 1989, que unificou a gestão ambiental federal e sistematizou o licenciamento industrial. A década de 1990 consolidou os fundamentos

regulatórios com a regulamentação da PNMA pelo Decreto nº 99.274, em 6 de junho de 1990, e culminou com a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605) em 12 de fevereiro de 1998, que introduziu a responsabilização penal por danos ambientais industriais (Brasil, 1997).

O início dos anos 2000 marcou uma fase de institucionalização e primeiros acordos setoriais, com a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) em 2000, estabelecendo a regulação do uso industrial de recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água na indústria (Brasil, 2000). O primeiro acordo setorial de logística reversa foi implementado em 2002 para embalagens de agrotóxicos, servindo como modelo para acordos posteriores. A Lei de Gestão de Florestas Públicas (11.284/2006) regulamentou a exploração florestal para a indústria através de concessões florestais sustentáveis, enquanto a Lei de Saneamento Básico de 2007 estabeleceu a regulação de efluentes industriais e sua integração com sistemas municipais de tratamento. A Política Nacional sobre Mudança do Clima Lei nº 12.187, promulgada em 2009, constituiu a primeira lei climática nacional, estabelecendo metas de redução de emissões industriais. A promulgação da Lei nº 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), consolidou os princípios da responsabilidade compartilhada, logística reversa e hierarquia na gestão de resíduos (Brasil, 2010). Esta política representou uma inflexão decisiva na abordagem da sustentabilidade industrial, estabelecendo as bases legais para a economia circular no país, conforme apresentado na figura 9.1. O Código Florestal de 2012 (Lei nº 12727) complementou este arcabouço, regulamentando o uso florestal pela indústria e estabelecendo mecanismos de compensação ambiental e reserva legal.

Figura 9.1 - Evolução da qualidade ambiental na indústria e seus marcos regulatórios na linha do tempo



Fonte: Brasil, 2024.

Paralelamente, a década de 2010 foi marcada por eventos que transformaram profundamente a percepção sobre a responsabilidade ambiental industrial. O rompimento da barragem de Fundão da Samarco em Mariana/Minas Gerais, em 2015, constituiu o maior desastre ambiental industrial do país, resultando na criação da Fundação Renova com recursos de R\$ 38 bilhões para reparações (Fundação Renova, 2023). Esse desastre oferece uma oportunidade única de aplicação do modelo DPSIR para examinar como forças motrizes, pressões, estados, impactos e respostas se articulam em contextos de colapso socioecológico. Em 2019, ocorreu o desastre de Brumadinho, com o rompimento da barragem Córrego do Feijão da Vale, causando 270 mortes e estabelecendo a necessidade de um novo marco regulatório de segurança de barragens. O desastre de Maceió, causado pela mineração inadequada de sal-gema pela Braskem por mais de 40 anos, emergiu como outro caso emblemático dos riscos da atividade industrial irresponsável. Desde 2019, cerca de 60.000 pessoas foram forçadas a abandonar suas comunidades devido ao afundamento do solo e rachaduras em mais de 14.000 imóveis em cinco bairros da capital alagoana (Jurema, 2024). Os passivos da empresa relacionados ao desastre alcançaram R\$ 34 bilhões, evidenciando os custos sociais e econômicos da negligência ambiental corporativa (Valor International, 2025). Estes desastres catalisaram mudanças regulatórias significativas e intensificaram o debate sobre a responsabilidade corporativa, contribuindo para uma maior consciência sobre a necessidade de práticas industriais verdadeiramente sustentáveis.

A década de 2020 trouxe novos marcos regulatórios que sinalizam uma aceleração da transição sustentável. O Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) estabeleceu a universalização do tratamento de esgoto até 2033, impactando significativamente a gestão de efluentes industriais. O Marco Temporal dos Resíduos Sólidos e regulamentado por diversos decretos, como o Decreto nº 11.043/2022, que instituiu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) determinou o fim dos lixões até 2024, aumentando a pressão para destinação adequada de resíduos industriais. A Estratégia Nacional de Economia Circular, estabelecida pelo Decreto 11.044 de 2023, constituiu o primeiro plano nacional de economia circular, definindo metas setoriais de circularidade. O Plano Nacional de Economia Circular, em consulta pública em 2024, estabelece metas quantitativas por setor e cronograma de implementação até 2050. Este contexto de transformação e contradições torna fundamental uma análise sistemática da sustentabilidade industrial brasileira que considere tanto os avanços conquistados quanto os desafios persistentes. A justiça ambiental é outro ponto central na institucionalização da política ambiental brasileira. Populações indígenas, quilombolas e periféricas são desproporcionalmente expostas aos riscos ambientais, como no caso da contaminação por óleo em mais de 3.000 km do litoral nordestino em 2019, ou pelo mercúrio nos peixes da Amazônia, afetando segurança alimentar e modos de vida (Fundação Oswaldo Cruz, 2020) e demandam políticas públicas inclusivas.

Nesse contexto, as próximas seções aprofundarão o exame do setor industrial brasileiro a partir de três eixos principais. Em primeiro lugar, será apresentado o Modelo

DPSIR Aplicado ao Contexto Industrial Brasileiro, destacando como forças motrizes, pressões, estados, impactos e respostas se manifestam em diferentes cadeias produtivas. Em seguida, serão discutidos os Desafios e Oportunidades que emergem desse cenário, evidenciando tanto os entraves históricos quanto as possibilidades estratégicas de uma transição justa, circular e de baixo carbono. Por fim, nas Considerações Finais, será feita uma síntese crítica dos achados, ressaltando as implicações para a política pública, a governança ambiental e o futuro da indústria nacional.

Modelo DPSIR Aplicado ao Contexto Industrial Brasileiro

O modelo DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact, Response), desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) organiza a análise de problemas ambientais complexos em cinco dimensões interligadas, permitindo compreender as relações causais entre atividades humanas e seus efeitos

ambientais e socioeconômicos (GEO, <https://www.unep.org/geo/>). As Forças Motrizes englobam fatores institucionais e socioeconômicos que moldam essas atividades; as Pressões se referem aos efeitos diretos sobre o meio ambiente; o Estado diz respeito às condições atuais dos sistemas naturais e sociais; os Impactos tratam das consequências sobre ecossistemas, economia e bem-estar humano; e as Respostas compreendem as ações coletivas voltadas à mitigação dos problemas diagnosticados.

A seguir, cada dimensão do modelo DPSIR é examinada no contexto da sustentabilidade industrial brasileira e seus desafios e oportunidades na transição para um modelo circular e de baixo carbono. A figura 9.2 sumariza as principais questões que serão tratadas ao longo desse capítulo. Essa representação busca evidenciar as relações causais entre os elementos do sistema produtivo e suas consequências ambientais e sociais, oferecendo uma base estruturada para a compreensão da complexidade da transição rumo à economia circular e à descarbonização. Ao sistematizar as dimensões centrais do modelo DPSIR no contexto brasileiro, este mapa também estabelece o referencial conceitual que orienta a análise do caso do rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG, apresentado nos quadros como um exemplo dessas dinâmicas em um contexto de colapso socioambiental.

Figura 9.2– Modelo DPSIR aplicado à indústria brasileira



Fonte: elaborado pelos autores.

2.1 Forças motrizes da transformação industrial brasileira

A trajetória da indústria brasileira combina fatores históricos e conjunturais que atuam em diferentes escalas. Um dos mais relevantes é a desindustrialização das últimas quatro décadas, refletida na queda da participação da indústria de transformação no PIB de 33% para 15% e no emprego industrial de 27% para 14% (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Intensificada pela abertura comercial dos anos 1990, a valorização cambial e a dependência de commodities, essa dinâmica enfraqueceu a capacidade nacional de agregar valor e inovar, comprometendo a competitividade frente a países como China e Coreia do Sul, que mantiveram políticas industriais ativas, forte investimento em inovação e coordenação estratégica entre Estado e setor produtivo (Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2022). Outro fator estruturante é a heterogeneidade do parque industrial. Pequenas e médias empresas, que representam 99% dos estabelecimentos e cerca de 47% do PIB industrial, enfrentam grandes obstáculos para adotar práticas sustentáveis, ao contrário das grandes corporações, que possuem maior

capacidade de investimento (Confederação Nacional da Indústria, 2024).

A perda de complexidade produtiva é evidente através de indicadores de redução histórica: a participação de produtos de alta tecnologia nas exportações industriais brasileiras caiu de 12% em 2000 para apenas 9% em 2024, enquanto países como México ampliaram sua participação de 15% para 19% no mesmo período (Folha de S. Paulo, 2024), conforme apresentado na figura 9.3. O Índice de Complexidade Econômica do Brasil declinou da 56ª posição em 2000 para a 71ª em 2022, refletindo a simplificação da estrutura produtiva nacional (Observatory Of Economic Complexity, 2024). O investimento nacional em pesquisa e desenvolvimento permanece limitado — 1,2% do PIB, ante média de 2% na OCDE (Folha de S. Paulo, 2024) —, constituindo um fator diretamente relacionado à perda de complexidade produtiva. A redução dos investimentos empresariais em P&D, que caíram de 0,6% do PIB em 2015 para 0,4% em 2023, compromete o desenvolvimento de soluções tecnológicas adaptadas ao contexto local e limita a capacidade de inovação necessária para a transição sustentável (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024).

Figura 9.3 – Complexidade tecnológica e investimento em P&D


Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024.

O envelhecimento populacional brasileiro constitui uma força motriz negativa para a produtividade industrial. A população em idade ativa (15-64 anos) atingiu seu pico em 2022 e iniciará declínio a partir de 2025, enquanto a população acima de 65 anos crescerá de 10,9% em 2024 para 25,5% em 2060 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023), conforme dados apresentados na figura 9.4. Essa transição demográfica reduz a oferta de mão de obra industrial e eleva os custos previdenciários e de saúde, pressionando a competitividade setorial. A idade média dos trabalhadores industriais aumentou de 35 anos em 2010 para 39 anos em 2023, com tendência de envelhecimento mais acentuada em setores tradicionais como têxtil e metalurgia (Relação Anual de Informações Sociais, 2023). Simultaneamente, a redução da população jovem limita a renovação de competências técnicas e a adaptação a novas tecnologias, criando desafios adicionais para a modernização produtiva.

A urbanização acelerada e a expansão da classe média intensificaram os desafios ambientais através do aumento descontrolado da geração de resíduos.

Em 2023, o Brasil gerou cerca de 80 milhões

de toneladas de resíduos sólidos urbanos — 1,047 kg por pessoa por dia (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024) —, volume que cresce mais rapidamente que a capacidade de tratamento adequado. Apesar do avanço da consciência ambiental, ainda predomina o modelo linear de produção e consumo, caracterizado pelo desperdício de recursos, obsolescência programada e baixas taxas de reutilização, configurando um padrão insustentável de desenvolvimento urbano-industrial. A precariedade do setor informal de reciclagem evidencia as limitações estruturais do modelo de gestão de resíduos brasileiro. Embora os catadores de recicláveis sejam responsáveis por cerca de dois terços do material reciclado no país, com mais de 281 mil trabalhadores reconhecidos e cerca de 3 mil cooperativas ativas, essa economia circular de base social opera com baixa institucionalização, ausência de proteção social adequada e condições de trabalho frequentemente insalubres (Bouvier & Dias, 2021; Brasil, 2024). A dependência excessiva do trabalho informal para viabilizar a reciclagem nacional revela a fragilidade dos sistemas formais de gestão de resíduos e a insuficiência de políticas públicas estruturantes.

Figura 9.4 – Transição demográfica industrial



Fonte: IBGE, 2023.

A fragmentação das cadeias globais de valor, acelerada por conflitos comerciais, pandemia e tensões geopolíticas, representa uma oportunidade estratégica para o fortalecimento do mercado doméstico brasileiro (McKinsey Global Institute, 2024). Essa reconfiguração mundial favorece estratégias de "near shoring" e "friend shoring" que privilegiam fornecedores regionais e países com estabilidade institucional (World Trade Organization, 2023). Para capturar esses investimentos, o Brasil necessita se orientar por inovação sustentável, posicionando-se competitivamente em setores emergentes como mineração de terras raras, produção de hidrogênio verde e manufatura de componentes para energias renováveis. A combinação entre recursos naturais abundantes, matriz energética limpa e capacidade industrial instalada confere ao país vantagens comparativas significativas nessa nova configuração produtiva global. A crescente demanda global por minerais estratégicos para a transição energética — como lítio, nióbio e terras raras — abre oportunidades para agregar valor com inovação e sustentabilidade, desde que seja superada a lógica extrativista e se invista em etapas de refino, tecnologia de materiais e produção de componentes avançados (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2023).

O Brasil possui potencial significativo para desenvolver cadeias produtivas completas desses minerais críticos, transitando da

exportação de matérias-primas brutas para a oferta de produtos industrializados de alto valor agregado, posicionando-se como fornecedor estratégico de tecnologias limpas para o mercado global. A matriz elétrica brasileira, majoritariamente renovável (88,2% em 2024, segundo o Ministério de Minas e Energia, 2025), oferece uma base favorável à descarbonização. Apesar das restrições em P&D, o país conta com centros de excelência e iniciativas colaborativas, como incubadoras, parcerias público-privadas e programas de fomento à inovação verde (Financiadora de Estudos e Projetos, 2024).

Quadro 9.1 - Forças motrizes do colapso: a gênese do desastre do rompimento da barragem de Fundão

Lógica econômica e financeira

O rompimento da barragem de Fundão em 5 de novembro de 2015 não foi um evento aleatório, mas o desfecho previsível de um arranjo sistêmico forjado por forças motrizes econômicas, institucionais e culturais. Na base desse sistema estava a lógica extrativista da Samarco, sustentada pelas corporações Vale e BHP Billiton, que priorizavam a maximização da produção em detrimento da segurança operacional (Abreu & Andrade, 2019). A pressão por resultados financeiros de curto prazo criou incentivos perversos que subordinam considerações de segurança aos imperativos de rentabilidade. A Samarco operava sob lógica voltada à maximização de valor para os acionistas, optando por expandir a produção em detrimento de investimentos em segurança.

Quadro 9.1 - Forças motrizes do colapso: a gênese do desastre do rompimento da barragem de Fundão

Essa dinâmica foi intensificada pelo boom das commodities dos anos 2000, que ampliou a pressão por produtividade e postergou investimentos estruturais.

Falhas regulatórias e institucionais

Falhas estruturais na fiscalização, baixa articulação federativa e assimetrias técnicas entre órgãos públicos e agentes privados favoreceram a captura regulatória e a diluição de responsabilidades (Abreu & Andrade, 2022). A dependência estrutural da mineração, como pilar do modelo exportador de commodities, limitou a capacidade estatal de exercer controle efetivo. A fragmentação da governança ambiental acentuou esse quadro. A sobreposição de competências e a ausência de protocolos claros de coordenação resultaram em lacunas de fiscalização. O licenciamento ambiental tornou-se procedimento burocrático voltado mais à aprovação de projetos do que à avaliação rigorosa de riscos, sem mecanismos efetivos de participação social.

Dimensões socioculturais

Do ponto de vista sociocultural, a tecnocracia mineradora se impôs como regime de verdade, subordinando saberes locais e marginalizando as comunidades atingidas. Essas forças motrizes, caracterizadas por dependências históricas, assimetrias estruturais e ciclos de negação institucional incapazes de aprender com seus próprios alertas, criaram um ambiente propício à crise que se abateu sobre a bacia do Rio Doce.

Fonte: elaborado pelos autores.

2.2. Pressões exercidas pelo modelo industrial nos sistemas socioecológicos

Num contexto marcado pela predominância da economia linear caracterizada pela lógica “extrair-produzir-descartar”, as pressões derivadas do modelo industrial brasileiro refletem as forças motrizes previamente analisadas e se manifestam de forma interligada nos planos climático, hídrico, atmosférico, territorial, sanitário, cultural, socioeconômico e institucional. No plano climático, a indústria respondeu por cerca de 22% das emissões brutas de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil em 2023, totalizando 511,3 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, com maior contribuição dos setores de energia e processos industriais (Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2024). Essas emissões não apenas agravam a crise climática, como comprometem a qualidade do ar por meio da liberação de material particulado e de dióxidos de enxofre (SO_x) e nitrogênio (NO_x), afetando a saúde pública e os ecossistemas (Agência Brasil, 2024). Regiões como Cubatão, apesar de melhorias desde os anos 1980, ainda demandam atenção (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2024). As pressões hídricas são igualmente significativas. Setores como papel

e celulose, petróleo, química e siderurgia consomem grandes volumes de água em regiões frequentemente afetadas por escassez hídrica, além de lançarem efluentes contaminantes em corpos d'água. Na mineração, a biodiversidade, por sua vez, é gravemente afetada em áreas sensíveis, como o Quadrilátero Ferrífero, com perda de habitats e modos de vida locais (Instituto Prístino, 2024). Eventos como os rompimentos de barragens de Fundão em Mariana/MG (2015) e Brumadinho/MG (2019) resultaram respectivamente em 50 e 9 milhões de metros cúbicos de rejeitos, causando danos ambientais e sociais profundos (Ministério Público Federal, 2016). O colapso em Maceió/AL por extração de sal-gema afetou mais de 60 mil pessoas e provocou passivos estimados em R\$34 bilhões (Jurema, 2024). A mineração ilegal de ouro na Amazônia resultou no despejo de mais de 2,3 mil toneladas de mercúrio desde 1994, com impactos tóxicos sobre o ar, a água e a saúde de comunidades locais (Fundação Oswaldo Cruz, 2018).

Ademais, a intensificação dos riscos climáticos tem levado o parque industrial brasileiro a adotar práticas que, em si mesmas, configuram novas pressões sobre o

meio ambiente. No Rio Grande do Sul, por exemplo, o gerenciamento emergencial das operações industriais diante da elevação do risco de inundações em 2023 e 2024 resultou em descargas extraordinárias de efluentes, movimentação acelerada de estoques e maior uso de áreas de contenção temporária, ampliando o potencial de contaminação de solos e águas. Processos de transporte e armazenagem, diante das interrupções de rodovias, ferrovias e do Porto de Rio Grande, também se tornaram mais intensivos em consumo energético e emissões, constituindo pressões logísticas adicionais. Paralelamente, a adaptação regulatória requerida às empresas — como revisões de licenciamento e investimentos em planos de contingência — implicou aumento no volume de monitoramento, relatórios e readequações operacionais, o que representa pressões administrativas e institucionais permanentes sobre a indústria gaúcha (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024).

No Sudeste, a redução da disponibilidade hídrica entre 2021 e 2024 intensificou pressões relacionadas ao uso industrial da água. A necessidade de garantir a continuidade produtiva levou empresas a ampliar a captação subterrânea, adotar tecnologias de reúso e recorrer a fontes alternativas de abastecimento, resultando em pressões adicionais sobre aquíferos e sistemas municipais de distribuição. Entre

2021 e 2023, o consumo industrial foi reconfigurado por meio de racionamentos compulsórios e de investimentos em eficiência hídrica, que, embora tenham reduzido a demanda líquida, também intensificaram processos de tratamento e recirculação, com maior consumo energético associado (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024). Essas pressões hídricas são sintetizadas na Figura 9.5, que ilustra a intensificação das demandas industriais sobre os recursos de abastecimento em contextos de escassez.

As limitações da matriz hidrelétrica em 2021 levaram à intensificação de pressões energéticas. A dependência crescente de termelétricas elevou a intensidade carbônica da produção industrial em cerca de 15%, reforçando pressões emissoras no setor (Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2024). Ao mesmo tempo, indústrias foram submetidas a restrições formais de captação, que estimularam investimentos em tecnologias de economia de água e alterações em processos produtivos. Essas adaptações, além de representar custos de cerca de R\$ 2,8 bilhões em setores estratégicos, implicaram mudanças tecnológicas que, por si mesmas, constituem novas pressões ambientais, especialmente na fase de transição (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2023).

Figura 9.5 – Crise hídrica e energética (2021-2024)



Fonte: ANA, 2024; FIESP, 2023; ONS, 2024; SABESP, 2024.

O modelo industrial linear também impõe pressões territoriais e sanitárias. A disposição de rejeitos minerais ocupa vastas áreas, implicando riscos ambientais contínuos (Agência Nacional de Mineração, 2023). No âmbito dos resíduos sólidos urbanos, 41,5 % são destinados a lixões ou vazadouros, o que intensifica a contaminação e provoca emissões de metano (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). A taxa global de reciclagem permanece baixa (8,3 %), embora certos materiais, como papel (66,9 %) e alumínio (100 %), sejam exceções (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024; Instituto Prístino, 2024). Além disso, pressões culturais e mercadológicas envolvendo a obsolescência programada, o consumo de descartáveis e o modelo de fast fashion (i.e., moda rápida) geram resíduos de difícil reaproveitamento e sobrecarregam a gestão de resíduos sólidos urbanos. Por outro lado, transformações culturais e demográficas têm impulsionado mudanças estruturais nesse cenário. A difusão da economia do compartilhamento e o protagonismo ambiental das novas gerações estimulam novos padrões de consumo e modelos produtivos baseados em serviços, uso eficiente de recursos e bem-estar socioambiental (World Economic Forum, 2022). A coleta informal de recicláveis, embora precária, responde por dois terços da reciclagem nacional (Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2023), revelando um paradoxo entre a exclusão social e a funcionalidade ambiental que exige políticas inclusivas.

Na perspectiva institucional, a pressão internacional por ação climática, estimulada pelo Acordo de Paris e pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) — especialmente os ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) — se traduz em exigências crescentes sobre o setor industrial brasileiro, pressionando-o a reduzir emissões, adequar cadeias produtivas e internalizar padrões globais de sustentabilidade (Organização das Nações Unidas, 2023). Nesse mesmo sentido, o Mecanismo de Ajuste de Carbono na

Fronteira (Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM), instituído pela União Europeia, representa uma pressão comercial direta sobre a indústria brasileira ao impor tarifas proporcionais à intensidade carbônica dos produtos exportados, criando condicionantes adicionais de competitividade e forçando a incorporação de critérios ambientais em estratégias de inserção internacional (Comissão Europeia, 2023).

Quadro 9.2 - Pressões sistêmicas que antecederam o rompimento da barragem de Fundão

Operação

A barragem de Fundão operava próxima ao limite autorizado, com complexidade geotécnica crescente não acompanhada por atualizações metodológicas. Alertas como trincas e escorregamentos foram minimizados por decisões corporativas que optaram por manter a produção e postergar a adoção de medidas estruturais. A pressão produtiva intensificou-se entre 2008 e 2014, quando a Samarco expandiu sua produção de 16,5 para 30,5 milhões de toneladas anuais. Essa aceleração não foi acompanhada por investimentos em segurança, gerando descompasso entre capacidade produtiva e gestão segura de rejeitos industriais.

Institucional

A fiscalização era episódica, com escassez de pessoal, formação técnica defasada e ausência de protocolos de emergência articulados. Como apontam Gomes et al. (2017), a inércia e a falta de comunicação entre agências refletiam a prioridade dada à exploração minerária em detrimento da proteção ambiental. A ausência de um marco regulatório específico para barragens de rejeitos deixava a regulação dependente de normas genéricas, enquanto a coordenação federativa era deficiente.

Comunicação

A circulação de informações entre técnicos, órgãos reguladores e comunidades era limitada e descoordenada, dificultando diagnósticos compartilhados. A Samarco controlava o fluxo de informações, restringindo o acesso de agentes públicos e

Quadro 9.2 - Pressões sistêmicas que antecederam o rompimento da barragem de Fundão

da sociedade a dados essenciais. Essas pressões, somadas, corroeram os mecanismos de contenção e aprendizado institucional, estreitando as margens de manobra e dificultando respostas eficazes. O desastre resultou da convivência prolongada com um arranjo frágil, permissivo e fragmentado, que colapsou sob o peso de suas próprias contradições.

Fonte: elaborado pelos autores.

Desafios para a mudança do Estado da indústria brasileira

A convivência entre práticas ambientalmente inovadoras e padrões produtivos ainda fortemente lineares evidencia a necessidade de ação estratégica integrada entre governo, setor produtivo e sociedade civil. Essa ambivalência se manifesta inicialmente na configuração territorial do parque produtivo. A concentração geográfica da indústria nas regiões Sudeste e Sul, com polos especializados — como mineração (MG e PA), petroquímica (BA) e papel e celulose (Centro-Sul) — embora gerem economias de escala, aprofundam desigualdades regionais e criam vulnerabilidades sistêmicas (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023). Paralelamente, a defasagem tecnológica constitui um desafio estrutural. Aproximadamente 68% das indústrias de transformação ainda operam com tecnologias convencionais, enquanto, apenas 23% incorporaram elementos da Indústria 4.0 em seus processos produtivos (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Essa disparidade tecnológica se reflete na digitalização desigual, ou seja, 45% das grandes empresas possuem sistemas integrados de gestão, comparado a apenas 12% das pequenas e médias empresas (Confederação Nacional da Indústria, 2024). A automação industrial, presente em 34% dos estabelecimentos, concentra-se principalmente nos setores automotivo, siderúrgico e petroquímico, deixando amplos segmentos da indústria com baixo nível de modernização (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2024).

A defasagem tecnológica reflete diretamente na subutilização da capacidade produtiva. A indústria brasileira opera com taxa de utilização de 76%, evidenciando desperdício de recursos e limitações estruturais do setor. As disparidades setoriais são consideráveis, enquanto, a indústria alimentícia mantém 82% de utilização, a metalurgia 69%, e a

têxtil com 71% (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024). Essa subutilização reflete tanto a retração da demanda interna quanto a perda de competitividade externa em diversos segmentos industriais. Paralelamente, o perfil de qualificação da força de trabalho industrial apresenta limitações que comprometem a modernização produtiva: 38% dos trabalhadores possuem ensino médio completo, 28% limitam-se ao ensino fundamental, 22% alcançaram o ensino superior e apenas 12% possuem pós-graduação (Relação Anual de Informações Sociais, 2023). O envelhecimento da força de trabalho, com idade média de 39 anos e tendência crescente em setores tradicionais como têxtil e calçadista, pode comprometer a renovação de competências necessárias para a transição tecnológica. A participação feminina na indústria, restrita a 32% e concentrada principalmente nos setores de alimentos, têxtil e farmacêutico, indica a persistência de barreiras estruturais que limitam o aproveitamento do potencial humano disponível.

As limitações estruturais se estendem ao sistema de financiamento industrial. A dependência excessiva de recursos próprios (68% dos investimentos) revela as fragilidades do sistema financeiro em apoiar o desenvolvimento industrial, onde o financiamento bancário (23%) e o mercado de capitais (9%) permanecem insuficientes (Banco Central do Brasil, 2024). O acesso ao crédito apresenta disparidades significativas, onde 89% das grandes empresas possuem linhas de crédito ativas, e apenas 34% das micro e pequenas empresas têm acesso regular ao sistema financeiro (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, 2024). Agravando esse cenário, o prazo médio de financiamento industrial de 4,2 anos mostra-se inadequado para investimentos de longo prazo, enquanto, as taxas elevadas — variando entre 8,5%

(grandes empresas) e 24,7% (microempreendimentos) ao ano — dificultam significativamente a modernização produtiva

(Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2024), conforme apresentado na figura 9.6.

Figura 9.6 – Financiamento e acesso ao crédito



Fonte: BCB, 2024; BNDES, 2024; SEBRAE, 2024.

No plano externo, a indústria nacional também começa a enfrentar pressões crescentes por parte de novos regimes regulatórios internacionais. O Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM, na sigla em inglês), da União Europeia, prevê a aplicação de tarifas sobre importações com base na intensidade de carbono dos produtos. Isso obriga países exportadores a comprovar suas emissões e, se necessário, pagar pela diferença em relação aos padrões europeus (Comissão Europeia, 2023). A medida afeta diretamente setores como siderurgia, cimento, alumínio e fertilizantes, exigindo maior rastreabilidade e transparência nas cadeias produtivas brasileiras. Em contrapartida em 2024, a matriz energética da indústria brasileira atingiu 64,4% de participação de fontes renováveis (Confederação Nacional da Indústria, 2024), o que confere vantagens competitivas significativas a segmentos de alta intensidade energética. O setor de alumínio, por exemplo, apresenta uma pegada de carbono aproximadamente 60% inferior à média global e elevadas taxas de

reciclagem: 97% para latas e 56% no consumo doméstico (Associação Brasileira do Alumínio, 2024). No setor de cimento, a intensidade de emissões é 11% menor do que a média mundial (564 kg CO₂/t frente a 634 kg/t), resultado do uso de adições minerais e combustíveis alternativos (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina, 2021). A cadeia de papel e celulose opera com autossuficiência energética baseada em biomassa, mantendo 9 milhões de hectares de florestas plantadas e 5,9 milhões de hectares preservadas. No total, essas áreas são responsáveis pelo armazenamento de mais de 4 bilhões de toneladas de CO₂, configurando um importante ativo ambiental na agenda climática nacional (Indústria Brasileira de Árvores, 2024).

Com efeito, a inserção limitada da indústria brasileira em cadeias globais de valor evidencia sua posição periférica no comércio internacional: apenas 23% das empresas industriais participam diretamente de cadeias globais como fornecedoras, 34% atuam como subfornecedoras e 43% operam exclusivamente no mercado doméstico

(Confederação Nacional da Indústria, 2024). A dependência de importações é considerável, com o conteúdo importado representando 13,2% do valor agregado da produção industrial, concentrado principalmente em componentes eletrônicos (67%), produtos químicos finos (45%) e equipamentos de precisão (38%), revelando deficiências na capacidade nacional de produzir insumos estratégicos (Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2024).

Mesmo com infraestrutura e capacidade industrial disponíveis, o país ainda carece de sistemas robustos de monitoramento para viabilizar a transição para uma economia circular. A escassez de dados sobre geração, tratamento e destinação de resíduos limita diagnósticos confiáveis e a formulação de políticas públicas eficazes. O SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa, coordenado pelo Observatório do Clima, oferece estimativas detalhadas por setor e unidade federativa, mas com defasagem temporal de até dois anos (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, 2024). O SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, enfrenta lacunas de cobertura e inconsistências nos dados reportados por estados e municípios (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). Além disso, faltam inventários específicos de resíduos industriais e indicadores padronizados de circularidade.

A crescente demanda global por hidrogênio verde representa uma oportunidade transformadora para a indústria brasileira (Agência Internacional de Energia, 2024). Com potencial eólico e solar entre os maiores do mundo, o país pode se tornar um dos principais produtores globais de hidrogênio verde, atendendo tanto o mercado doméstico quanto a crescente demanda internacional, especialmente europeia e asiática (Empresa de Pesquisa Energética, 2024). Em síntese, a indústria brasileira reúne condições estruturais promissoras — como matriz energética limpa e experiências bem-sucedidas —, mas enfrenta lacunas em inovação, governança, financiamento,

informação e formação de recursos humanos. Superá-las exige uma ação coordenada entre governo, setor privado e sociedade civil, com compromisso com a justiça socioambiental e o desenvolvimento local sustentável.

Quadro 9.3 - Estado do sistema: colapso sistêmico da Bacia do Rio Doce

Rompimento da Barragem de Fundão

O rompimento instaurou um novo estado para o sistema socioecológico da bacia do Rio Doce, marcado por degradação ambiental estrutural, ruptura de modos de vida e desorganização institucional. A onda de rejeitos da barragem de Fundão percorreu cerca de 663 km até o oceano Atlântico, devastando cursos d'água, matas ciliares e comunidades ribeirinhas. A magnitude do evento transformou profundamente as condições ambientais, sociais e econômicas de uma região habitada por mais de 3 milhões de pessoas (FERNANDES et al., 2016). A biodiversidade foi severamente afetada, com impactos sobre espécies endêmicas e comprometimento de corredores ecológicos. A lama soterrou habitats aquáticos e terrestres, alterando de forma permanente a estrutura dos ecossistemas. Estudos posteriores indicaram extinção local de espécies de peixes e redução significativa da biodiversidade aquática em trechos extensos do rio. A qualidade da água deteriorou-se de modo persistente, com presença de metais pesados que inviabilizaram usos múltiplos e atividades tradicionais como pesca e agricultura.

Colapso Socioambiental

Concentrações elevadas de ferro, manganês e alumínio comprometeram o abastecimento humano, a irrigação e a dessedentação animal. Comunidades locais perderam casas, vínculos territoriais e meios de subsistência, passando a depender de auxílios emergenciais. O distrito de Bento Rodrigues, com cerca de 600 habitantes, foi completamente destruído, exigindo o deslocamento permanente da população. A pesca, central à cultura e economia locais, tornou-se inviável. Para os povos indígenas Guarani e Tupinikim, o impacto extrapolou a materialidade: o Rio Doce, entidade sagrada,

Quadro 9.3 - Estado do sistema: colapso sistêmico da Bacia do Rio Doce

foi profanado. Como documentam Abreu e Andrade (2024), houve violação ontológica de um elemento essencial da cosmologia e das práticas espirituais desses povos. A confiança pública na governança ambiental entrou em colapso. A Fundação Renova, criada pelo Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), foi criticada por sua baixa representatividade e controle indireto das empresas. A ausência de dados de linha de base e os dissensos científicos dificultaram a avaliação dos danos e limitaram a resposta da ciência. Esse novo estado sistêmico configura um "presente prolongado": uma suspensão do futuro marcada por instabilidade crônica, desconfiança e injustiça ambiental permanente. As comunidades atingidas vivem em liminaridade, sem conseguir reconstruir suas vidas nem retornar à normalidade anterior ao desastre.

Fonte: BCB, 2024; BNDES, 2024; SEBRAE, 2024.

A Dimensão dos impactos do modelo industrial brasileiro

Os impactos da indústria brasileira — tanto os derivados do modelo linear quanto os resultantes da transição sustentável — configuram-se, simultaneamente, como pressões externas e como efeitos internos de práticas produtivas tradicionais, manifestando-se de forma interdependente nas dimensões ambiental, econômica e social. Quando negativos, tais impactos contribuem para o agravamento da chamada tríplice crise planetária — mudança climática, perda de biodiversidade e poluição — reconhecida pelas Nações Unidas como uma emergência sistêmica global que se retroalimenta: o aquecimento global acelera a

extinção de espécies; a degradação dos ecossistemas compromete a regulação climática; e a poluição intensifica ambos os processos, ameaçando a estabilidade ecológica e o bem-estar humano (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2024). Por outro lado, os impactos positivos abrem espaços para soluções integradas, como a adoção de práticas de economia circular que permitem reduzir emissões, minimizar a extração de recursos naturais e conter a poluição. Nesse cenário, propõe-se compreender o setor industrial brasileiro como vítima e agente dessa crise, a fim de orientar sua transformação rumo à sustentabilidade, revelando os elementos que constituem os custos do modelo vigente e os benefícios da reestruturação para práticas circulares e de baixo carbono.

A emissão de GEE associada aos setores industriais de energia e processos produtivos representou, em 2023, aproximadamente 22% das emissões brutas do Brasil, totalizando cerca de 511 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2024), conforme apresentado na figura 9.7. Polos industriais continuam apresentando níveis elevados de material particulado e gases tóxicos, afetando a qualidade do ar, a saúde da população e os custos do Sistema Único de Saúde (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022). A baixa incorporação de critérios ambientais, como certificações, rastreabilidade e produção limpa, limita a competitividade da indústria brasileira nos mercados internacionais. A ausência de uma cultura voltada à sustentabilidade dificulta o acesso a financiamentos verdes, restringe a inserção em cadeias globais e reduz a resiliência frente a crises (Confederação Nacional da Indústria, 2024).

Figura 9.7 – Emissões industriais e impactos na saúde pública



Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2024; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022.

Entre 2013 e 2022, cerca de 745 mil postos de trabalho formais foram extintos, com impactos mais acentuados nas regiões Norte e Nordeste (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Essa retração compromete a capacidade regional de inovação e a difusão de tecnologias sustentáveis, aprofundando desigualdades socioeconômicas e fragilizando as economias locais. A taxa de reciclagem urbana no Brasil segue baixa, em torno de 8,3%, refletindo perdas significativas de materiais reutilizáveis e energia (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). Esse índice evidencia a ineficiência estrutural do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, que prioriza a destinação em aterros sanitários — muitas vezes já sobrecarregados — em detrimento de estratégias de recuperação de valor, como a triagem, a compostagem e a reintegração produtiva de materiais recicláveis (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022; Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2023).

A ausência de infraestrutura adequada, aliada à falta de políticas consistentes de logística reversa e à

exclusão de catadores das cadeias formais, restringe a capacidade do país de transformar resíduos em recursos e consolidar uma economia verdadeiramente circular (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020; Instituto Prístino, 2023). Além disso, a baixa articulação entre municípios, setor privado e cooperativas de reciclagem limita a escala e a efetividade das ações, aprofundando desigualdades regionais na gestão de resíduos e desperdiçando oportunidades de geração de renda, inclusão social e mitigação ambiental (Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2022; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2021).

A expansão de atividades industriais sobre áreas naturais tem provocado a fragmentação de ecossistemas e a perda de biodiversidade. A degradação de áreas de vegetação nativa também acelera processos de erosão e escassez hídrica. No Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, a pressão exercida pela mineração sobre paisagens sensíveis compromete funções ecológicas fundamentais, como a regulação hídrica, a polinização e o controle de pragas (Instituto

Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2022). Também os vazamentos de petróleo, como o ocorrido em 2019 no litoral do Nordeste brasileiro, causaram danos duradouros à pesca artesanal e à maricultura, afetando cerca de 3.000 km de costa (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2020). A exposição prolongada

a poluentes industriais está relacionada ao aumento de doenças respiratórias, cardiovasculares, neurológicas e diversos tipos de câncer, sobretudo em populações vulneráveis (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022). Em Itaituba (PA), foram registrados efeitos neurológicos severos em crianças expostas ao mercúrio presente na água e nos peixes (Fundação Oswaldo Cruz, 2023).

Quadro 9.4 - Impactos interdependentes: a reação em cadeia da perversidade

Impactos ambientais e sociais

Revelaram uma estrutura de retroalimentação negativa, em que efeitos ambientais, sociais, econômicos e institucionais se interconectam, perpetuam e amplificam mutuamente. Essa dinâmica demonstra que desastres industriais não geram apenas danos pontuais, mas desencadeiam processos de degradação prolongados no tempo e no espaço, criando vulnerabilidades e aprofundando injustiças ambientais. No plano ambiental, houve perda significativa de biodiversidade, contaminação persistente do solo e da água, além da degradação de manguezais e zonas costeiras. A pluma de rejeitos que atingiu o oceano Atlântico alterou a qualidade da água em aproximadamente 100 km² ao redor da foz do Rio Doce. Sedimentos contaminados depositados no fundo marinho continuam a ser remobilizados pelas correntes oceânicas, mantendo a contaminação ativa anos após o evento.

Impactos econômicos

A estimativa de custos de reparação saltou de R\$ 20 bilhões em 2016 para R\$ 132 bilhões em 2024, refletindo a complexidade crescente da crise e a escalada de passivos não resolvidos. Economias locais colapsaram, e a substituição de formas autônomas de subsistência por mecanismos de assistência comprometeu a reprodução social nos territórios afetados. Populações vulneráveis — indígenas, pescadores e pequenos agricultores — sofreram desproporcionalmente. Além das perdas materiais, enfrentaram sofrimento simbólico, rupturas espirituais e desestruturação de redes de pertencimento. As mulheres, em especial, assumiram sobrecargas no cuidado das famílias, enquanto perdiam suas fontes tradicionais de renda. A própria governança da reparação se tornou produtora de impactos. A lentidão nos processos de indenização, a fragmentação dos canais de escuta e a ausência de participação efetiva geraram um sistema disfuncional e contestado.

Fonte: elaborado pelos autores.

Necessidade de respostas estratégicas para promover uma transição justa e circular

As respostas brasileiras às pressões e impactos do modelo industrial vêm se consolidando por meio de políticas públicas, inovações tecnológicas, iniciativas empresariais, instrumentos econômicos e ações da sociedade civil. Ainda que desiguais, essas respostas delineiam uma transição em curso para um modelo industrial mais sustentável, circular e de baixo carbono, sustentada por formas emergentes de governança multisetorial, articulação

interministerial e crescente mobilização de recursos e capacidades. A governança multinível é um componente fundamental para enfrentar os desafios complexos relacionados à sustentabilidade industrial, ao articular diferentes esferas de governo — federal, estadual e municipal — com setores sociais diversos, como empresas, academia e organizações da sociedade civil (Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2018). Esse arranjo federativo adquire contornos ainda mais relevantes em países continentais como o Brasil, onde a descentralização da política ambiental conferida pela Constituição

de 1988 atribui competência concorrente aos entes federados. Na prática, isso significa que União, estados e municípios compartilham responsabilidades de legislar, fiscalizar e executar ações de proteção ambiental, exigindo cooperação permanente para evitar sobreposição normativa, lacunas de regulação e desigualdades regionais.

Essa abordagem, estruturada nos princípios de democracia, cooperação e efetividade, parte do reconhecimento de que os problemas ambientais ultrapassam fronteiras administrativas e demandam respostas coordenadas em múltiplas escalas. Experiências como a da Região Metropolitana de São Paulo, que mantém sistemas avançados de monitoramento e licenciamento ambiental por meio da CETESB e do CONSEMA, demonstram a relevância da coordenação intergovernamental na gestão da qualidade do ar e dos recursos hídricos em contextos fortemente industrializados (Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo, 2023). O Rio Grande do Sul tem avançado em políticas de economia circular, como a Resolução CONSEMA nº 500/2023, que estabelece diretrizes para a logística reversa de embalagens com participação de fabricantes e catadores (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, 2023). Em resposta às inundações de 2023 e 2024, que atingiram mais de 90% dos municípios, o Estado Gaúcho criou o Gabinete de Crise Climática (Decreto nº 57.609/2024) e lançou o Plano Rio Grande, focado na reconstrução e resiliência territorial. As medidas incluem revisão de planos diretores, redimensionamento da infraestrutura urbana, critérios climáticos em financiamentos e articulação com recursos federais e internacionais para habitação, mobilidade, saneamento e adaptação climática. Esses exemplos ilustram como políticas subnacionais — estaduais e metropolitanas — têm assumido protagonismo ao lidar com vulnerabilidades específicas de seus territórios, ao mesmo tempo em que pressionam a esfera federal por integração de agendas e recursos.

Em Minas Gerais, os desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) motivaram a intensificação da regulação sobre a

atividade minerária e o fortalecimento de instrumentos de justiça ambiental. A criação da Agência Nacional de Mineração (ANM) em 2017 e a reestruturação dos órgãos estaduais de fiscalização expressam medidas institucionais adotadas com esse fim. A promulgação da Lei nº 14.066/2020 introduziu novos critérios para o controle e a responsabilização de barragens, incluindo exigências mais rigorosas de segurança, transparência e participação social (BRASIL, 2020). Entre os desdobramentos técnicos, destacam-se a proibição de novos alteamentos a montante, o descomissionamento de estruturas existentes, a adoção de processos de mineração a seco e o uso de rejeitos como insumo na produção de concreto e outros materiais de construção. Nesse contexto, também se destaca o projeto-piloto do Serviço Geológico do Brasil (SGB), iniciado em 2023, voltado à recuperação de minerais críticos — como lítio, terras raras e nióbio — a partir do reaproveitamento de rejeitos. A iniciativa compreende o mapeamento de áreas com potencial mineral, o desenvolvimento de tecnologias de separação e parcerias com centros de pesquisa, com o objetivo de viabilizar sua aplicação em escala industrial (Serviço Geológico do Brasil, 2023). Aqui se observa um exemplo claro da governança multinível: a tragédia de alcance local desencadeou respostas normativas no nível federal e ações regulatórias reforçadas no nível estadual, em diálogo com pressões internacionais relacionadas à mineração sustentável.

Em âmbito municipal, o fortalecimento dos Sistemas Municipais de Meio Ambiente (SISMUMA) tem promovido políticas que articulam ordenamento urbano e sustentabilidade industrial. Municípios como Porto Alegre, Curitiba e Belo Horizonte avançaram na criação de distritos industriais sustentáveis, mecanismos locais de regulação e iniciativas voltadas à economia circular, como compras públicas verdes e simbiose industrial. A agenda das "cidades circulares" emerge como vetor promissor de integração entre inovação urbana e transição ecológica. Não obstante, a eficácia da governança multinível depende da existência de mecanismos estruturados de coordenação interjurisdicional, como os consórcios

intermunicipais e os comitês de bacias hidrográficas. Os consórcios têm viabilizado soluções regionais para a destinação de resíduos industriais e a logística reversa, como no caso da Grande São Paulo. Essa governança ampliada tem sido crucial para integrar os catadores de materiais recicláveis às políticas públicas, promovendo inclusão social e ampliando a circularidade dos sistemas produtivos (Movimento Nacional dos

Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2023). A institucionalização de conselhos tripartites, com representação de entes federativos, sociedade civil e setor produtivo, reforça a natureza deliberativa da governança multinível, criando canais formais de accountability (i.e. prestação de contas) e legitimidade. A figura 9.8 ilustra um arranjo multinível para promoção da economia circular.

Figura 9.8 - Arranjo multinível para promoção da economia circular



Fonte: Brasil, 2024.

A atuação dos mais de 281 mil catadores formalmente reconhecidos (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023), organizados em cooperativas e associações, representa um avanço nesse sentido, embora os acordos setoriais para embalagens, eletroeletrônicos e medicamentos permaneçam insuficientes diante do volume de resíduos. Além disso, apesar de iniciativas como o apoio à reconversão econômica de regiões dependentes de carvão mineral indicarem transformador, muitas comunidades continuam expostas a riscos ambientais sem retorno proporcional dos benefícios da industrialização (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). Os comitês de bacia representam um modelo inovador de gestão participativa da

água, reunindo representantes do poder público, usuários e sociedade civil para decisões consensuais sobre alocação e proteção dos recursos hídricos. A cobrança pelo uso da água tem se mostrado eficaz ao internalizar externalidades e financiar medidas de recuperação ambiental (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023). Esse instrumento evidencia o potencial dos arranjos federativos cooperativos: embora instituído pela União, é operacionalizado por colegiados estaduais e municipais, demonstrando a natureza policêntrica da governança ambiental.

Planos setoriais para descarbonização também estão sendo elaborados em diálogo com segmentos como siderurgia, cimento e mineração, conforme apresentado na figura 9.9.

A indústria tem mobilizado inovações tecnológicas. Na siderurgia, avança a adoção de rotas com hidrogênio verde e maior uso de sucata. O uso de carvão vegetal de florestas plantadas já representa 12% da produção de aço (Instituto Aço Brasil, 2024). No setor cimenteiro, metas até 2050 incluem maior uso de adições minerais, combustíveis alternativos e tecnologias de captura e armazenamento de carbono (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2024). No setor químico, destacam-se a simbiose industrial em Camaçari e a produção de plástico verde a partir de etanol. No plano normativo, o Brasil tem adotado instrumentos de governança e financiamento voltados à

transição sustentável. A Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), instituída pelo Decreto nº 12.082/2024 e coordenada pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (BRASIL, 2024), é o marco mais recente dessa agenda. A ENEC criou o Fórum Nacional de Economia Circular, reunindo ministérios, agências, empresas, cooperativas, sindicatos, academia e sociedade civil na elaboração do Plano Nacional de Economia Circular. Essa estratégia articula-se com o Plano de Transformação Ecológica (Ministério da Fazenda) e o Plano Clima (Ministério do Meio Ambiente), promovendo coerência política.

Figura 9.9 – Planos setoriais para descarbonização



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2024; Serviço Geológico do Brasil, 2023; Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2024.

A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) avança com acordos de logística reversa que envolvem fabricantes e varejistas na responsabilidade pós-consumo de embalagens, eletroeletrônicos e medicamentos (Ministério do Meio Ambiente, 2024). Tais mecanismos têm ampliado a capilaridade da coleta, fortalecido cooperativas e revelado o potencial das parcerias público-privadas na estruturação de

cadeias circulares. Em complemento, instrumentos econômicos vêm sendo desenvolvidos para fomentar a transição. O governo federal prepara a implementação de um mercado regulado de carbono, que estabelecerá limites de emissões e permitirá a comercialização de créditos. Paralelamente, o mercado voluntário de carbono continua em expansão. O BNDES lançou o Fimem Economia Circular, linha de crédito destinada a projetos empresariais com foco em

circularidade, e ampliou o Fundo Clima, voltado ao financiamento de infraestrutura resiliente e tecnologias de baixo carbono (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2024). A Finep criou o programa I.AM.Verde, voltado à descarbonização industrial por meio de chamadas públicas para inovação tecnológica em setores estratégicos (Financiadora de Estudos e Projetos, 2024). O setor empresarial adota metas cada vez mais ambiciosas, como neutralidade de carbono, redesign de embalagens, uso de reciclados e emissão de green bonds. Startups oferecem soluções em refil, rastreamento de resíduos e economia compartilhada, enquanto plataformas de reuso e revenda ganham força entre consumidores urbanos, sinalizando mudanças culturais em curso.

Embora a educação voltada à economia circular ainda avance de forma incipiente, observa-se uma movimentação institucional progressiva. Na qualificação profissional, o SENAI lidera a Jornada de Descarbonização, capacitando indústrias para medir emissões e implementar melhorias. Universidades e institutos federais têm criado cursos voltados à economia circular, gestão de resíduos e energias renováveis. A cooperação internacional também fortalece a transição brasileira, com financiamento do Fundo Amazônia (Noruega e Alemanha), transferência tecnológica e participação em iniciativas como Mission Innovation, Clean Energy Ministerial, G20, BRICS e OCDE, posicionando o Brasil como referência emergente no Sul Global. Eventos como o World Circular Economy Forum (WCEF), sediado em São Paulo em 2025, ampliam o alcance das boas práticas.

Barreiras como a fragmentação normativa, a assimetria de capacidades institucionais entre entes federativos, as limitações técnicas e orçamentárias em governos subnacionais, a dependência de tecnologias externas e a dificuldade de alinhamento entre políticas

setoriais e ambientais dificultam a universalização das práticas sustentáveis. O financiamento ainda é restrito e os sistemas de monitoramento carecem de abrangência, padronização e atualização. Ainda assim, as condições para o avanço são favoráveis. A articulação entre governo, empresas e sociedade civil se intensifica; os marcos regulatórios se expandem; os mercados sustentáveis crescem; e a transição justa começa a ganhar centralidade. A experiência brasileira demonstra que o fortalecimento institucional — com ênfase na cooperação federativa, transparência decisória e accountability — é viável e necessário, sendo determinante para a construção de uma governança ambiental efetiva, inclusiva e orientada à transformação sustentável da indústria. Mantidos os investimentos, a cooperação institucional e o engajamento social, o Brasil poderá consolidar um novo paradigma de desenvolvimento industrial regenerativo, justo e competitivo internacionalmente.

Nesse sentido, cabe enfatizar que as políticas subnacionais e os arranjos intergovernamentais ocupam papel decisivo na transição em curso. Estados e municípios, ao implementarem planos de descarbonização, fundos climáticos e consórcios para gestão de resíduos, ampliam a capilaridade das políticas nacionais e produzem inovações institucionais que retroalimentam o nível federal. Essa dinâmica evidencia a essência da governança multinível, na qual diretrizes federais encontram-se com iniciativas locais, ora em sinergia, ora em tensão, gerando um campo fértil de pactuação e aprendizagem interjurisdicional. A superação das assimetrias entre entes federativos exige mecanismos permanentes de coordenação e financiamento, capazes de garantir que a transição sustentável ocorra de maneira equitativa em todo o território, evitando que desigualdades regionais se aprofundem e fortalecendo a legitimidade de um pacto federativo orientado à sustentabilidade.

Quadro 9.5 - Respostas ao desastre: governança colaborativa, barreiras sistêmicas e redes sombrias de resistência

Respostas das empresas e do governo

A criação da Fundação Renova pelo TTAC, em março de 2016, buscou estruturar um arranjo multissetorial de reparação, mas enfrentou críticas por seu desenho assimétrico, baixa legitimidade e controle empresarial. O acordo foi firmado sem participação efetiva das comunidades atingidas e da sociedade civil, sendo apresentado como pacto técnico entre empresas e poder público. Diante dessas limitações, emergiram formas alternativas de enfrentamento.

Mecanismos de governança colaborativa

Destacam-se as "redes sombrias" articuladas por povos indígenas, como os Guarani e Tupinikim, que mobilizaram saberes ancestrais, lideranças comunitárias e práticas de resistência cultural (Abreu & Andrade, 2024). Essas redes passaram a disputar a legitimidade sobre os rumos da recuperação, atuando fora dos canais oficiais. Operando com estratégias diversificadas, essas redes engajaram-se na mobilização de lideranças, articulação com movimentos sociais, acionamento de instâncias internacionais de direitos humanos e formulação de narrativas alternativas. Demonstraram notável capacidade de auto-organização, construindo diagnósticos próprios e propondo soluções autônomas.

Participação social

A sociedade civil também desempenhou papel relevante. Ministérios Públicos, comitês populares, universidades e imprensa atuaram como instâncias de pressão e vigilância, promovendo revisões nos acordos e reivindicando a substituição da Fundação Renova. A experiência do rompimento da barragem de Fundão evidencia que a reparação de desastres industriais é um processo político, marcado por disputas sobre desenvolvimento, formas de conhecimento e poder. Construir respostas efetivas demanda reconhecimento dessas dimensões e criação de arranjos institucionais voltados à justiça, participação e transformação estrutural.

Fonte: elaborado pelos autores.

Desafios e Oportunidades

Alinhamento do modelo industrial Brasileiro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

O alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 pode orientar a transição da indústria brasileira rumo a modelos mais sustentáveis. O ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) é particularmente central nesse processo, diante da necessidade brasileira de reverter a desindustrialização e fomentar cadeias produtivas sustentáveis. A Nova Indústria Brasil (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, 2024) se alinha à Meta 9.2 ao buscar elevar a participação da indústria no PIB com base em tecnologias limpas e

digitalização. No plano ambiental, a Meta 9.4, que visa modernizar a indústria e tornar seu uso de recursos mais eficiente, encontra expressão concreta no setor de cimento, cuja intensidade de carbono está abaixo da média global e cujo objetivo é dobrar o uso de combustíveis alternativos até 2050 (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2023).

O ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) orienta diretamente os esforços para uma economia circular. Setores como papel e celulose ilustram avanços na integração entre uso eficiente de recursos e conservação ambiental, em consonância com a Meta 12.2. No entanto, contrastes persistem evidenciando assimetrias na capacidade de implementação da logística reversa (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2023; Associação Brasileira do Alumínio, 2023). Por exemplo, a taxa de reciclagem de resíduos sólidos urbanos

permanece baixa (8,3%), enquanto, setores como o do alumínio alcançam patamares de 98,7% de reaproveitamento. O ODS 13 (Ação Climática) expõe o duplo papel da indústria como fonte de emissões de GEE e agente de soluções. Setores como siderurgia e indústria química têm investido em rotas tecnológicas de baixo carbono, como o uso de hidrogênio verde e a redução de N_2O (Associação Brasileira da Indústria Química, 2023). Setores vulneráveis, como o de papel e celulose, adotam estratégias de adaptação para lidar com eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e mudanças no regime hídrico.

Outros ODS relacionam-se de forma transversal à sustentabilidade industrial. O ODS 6 (Água Limpa e Saneamento) está refletido na difusão de tecnologias de reuso industrial e nos mecanismos de cobrança pelo uso da água, que incentivam práticas mais eficientes e sustentáveis (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023). O ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), por sua vez, articula-se à Meta 8.4, que propõe o desacoplamento entre crescimento econômico e degradação ambiental. O setor de reciclagem, que inclui mais de 281 mil catadores formalmente reconhecidos (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023), exemplifica a convergência entre inclusão social, geração de trabalho e circularidade produtiva. A conexão com o ODS 3 (Saúde e Bem-estar) se materializa no controle da poluição industrial. A reabilitação ambiental da cidade de Cubatão demonstra como ações industriais corretivas contribuem para a melhoria da saúde pública, especialmente em áreas densamente povoadas e sujeitas a emissões tóxicas (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2023). O ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) ganha destaque à medida que se intensificam as interações entre atividade industrial e planejamento urbano. Iniciativas como distritos industriais sustentáveis e de simbiose industrial têm o potencial de tornar as cidades mais resilientes e ambientalmente integradas (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, 2024).

A sustentabilidade industrial também se conecta ao ODS 15 (Vida Terrestre), especialmente na conservação da biodiversidade. Setores como papel e celulose têm mantido extensas áreas de preservação, contribuindo para a manutenção de ecossistemas (Indústria Brasileira de Árvores, 2024). No entanto, a mineração continua sendo uma atividade com forte potencial destrutivo, como demonstram os impactos duradouros dos desastres de Mariana e Brumadinho sobre habitats, espécies e serviços ecossistêmicos. Ainda que os ODS representem uma agenda integrada, suas metas podem gerar tensões entre si. Por exemplo, o estímulo à reindustrialização (ODS 9) pode entrar em conflito com os objetivos de redução de emissões (ODS 13); da mesma forma, a busca por competitividade (ODS 8) pode confrontar padrões ambientais mais rígidos. Esses dilemas reforçam a necessidade de políticas integradas e sensíveis às especificidades setoriais, capazes de explorar sinergias e minimizar contradições.

Avaliação de políticas e mecanismos institucionais eficazes

A eficácia das políticas voltadas à sustentabilidade industrial no Brasil depende de capacidade de gerar resultados ambientais mensuráveis, promover inclusão social, manter viabilidade econômica e articular-se com outras políticas públicas de forma coerente e sinérgica. A experiência nacional das últimas décadas revela que os mecanismos mais bem-sucedidos compartilham atributos como flexibilidade normativa, participação multissetorial, capacidade de adaptação e suporte institucional robusto. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de 2010, constitui um marco relevante, especialmente no avanço dos acordos setoriais de logística reversa. O programa de destinação de embalagens de agrotóxicos, com taxas superiores a 95% de coleta (Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias, 2023), exemplifica a eficácia da combinação entre obrigatoriedade legal, articulação público-privada e estrutura operacional. Entretanto, a persistência de quase 3 mil

lixões em operação revela fragilidades estruturais, sobretudo na esfera municipal, onde a escassez de recursos e capacidades limita a plena implementação da PNRS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2023).

A regulação das barragens de rejeitos evoluiu significativamente após os desastres de Mariana e Brumadinho. A proibição de barragens a montante e a exigência de monitoramento em tempo real por parte da Agência Nacional de Mineração (Agência Nacional de Mineração, 2023) demonstram uma resposta normativa eficaz, com efeitos tangíveis sobre a redução do número de estruturas em situações de emergência. No entanto, casos como o desastre de Maceió evidenciam que atividades minerárias continuam carecendo de regulação específica e preventiva, e demandam uma abordagem mais abrangente. Instrumentos econômicos têm se destacado como mecanismos eficazes. A cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas, como no caso da Bacia do Paraíba do Sul, tem promovido tanto o reuso e o tratamento de efluentes quanto o financiamento de ações de recuperação ambiental (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023). Ao internalizar externalidades e induzir práticas mais eficientes, esses instrumentos demonstram a potência transformadora de incentivos econômicos bem calibrados.

Iniciativas fiscais também têm produzido resultados positivos. No Rio Grande do Sul, créditos fiscais estimulam o uso de recicláveis na indústria (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, 2023), enquanto, o Programa PADIS, em São Paulo, incentiva a inovação em tecnologias limpas no setor de semicondutores. Essas políticas tributárias, ao alinhar benefícios econômicos com práticas sustentáveis, criam ambientes favoráveis à competitividade verde. Certificações voluntárias, como FSC e PEFC no setor de papel e celulose, e compromissos setoriais como o Roadmap Tecnológico do Cimento 2050 (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2023) vêm elevando os padrões ambientais e fortalecendo a responsabilidade empresarial, possibilitando

atuar em mercados internacionais com exigências ambientais mais rigorosas. Nesse sentido, a escolha tecnológica combinada com metas claras e mecanismos de monitoramento contribui para mitigação dos impactos ambientais.

O financiamento público à inovação tem papel estratégico na transição industrial. Programas conduzidos por BNDES e Finep, como o I.AM.Verde, promovem tecnologias nacionais em áreas como hidrogênio verde e captura de carbono (Financiadora de Estudos e Projetos, 2023). Esses instrumentos são vitais para superar barreiras de entrada enfrentadas por pequenas e médias empresas, permitindo a incorporação de soluções sustentáveis em diferentes setores produtivos. Parcerias público-privadas também se mostram promissoras. A articulação entre o Serviço Geológico do Brasil (SGB) e o setor produtivo para reaproveitamento de rejeitos na mineração ilustra como a conjugação entre conhecimento científico e escala empresarial pode acelerar a inovação e sua difusão prática (Serviço Geológico do Brasil, 2023). A Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), instituída em 2023, representa um passo relevante na integração de políticas industriais, ambientais e sociais. Estruturada em torno de quatro eixos — regulação, instrumentos econômicos, inovação e educação —, a ENEC pretende articular ações dispersas e impulsionar uma agenda comum. Sua efetividade dependerá da elaboração e execução rigorosa do Plano Nacional de Economia Circular, ainda em fase de formulação (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, 2023).

Estratégias para melhoria da qualidade ambiental no setor industrial

A melhoria da qualidade ambiental no setor industrial brasileiro exige uma abordagem sistêmica, articulando inovação tecnológica, transformação de modelos de negócio, fortalecimento institucional e mudança cultural. Experiências nacionais e internacionais demonstram que soluções eficazes combinam regulação inteligente, incentivos econômicos, investimento em

pesquisa e desenvolvimento, e engajamento multissetorial, todos sob a diretriz da transição justa — isto é, que articule simultaneamente metas ambientais, econômicas e sociais. A transição energética constitui um dos eixos centrais dessa transformação. Apesar da matriz elétrica brasileira apresentar uma das maiores proporções de fontes renováveis no mundo (83%), os processos industriais permanecem fortemente dependentes de combustíveis fósseis (Empresa de Pesquisa Energética, 2023). Estratégias como a eletrificação de processos e o desenvolvimento da cadeia de valor do hidrogênio verde — viabilizado pela ampla oferta de energias representam caminhos para descarbonizar setores intensivos em energia térmica, como siderurgia e química (Ministério de Minas e Energia, 2023).

A economia circular também emerge como alicerce dessa agenda. Modelos como simbiose industrial, exemplificados pelo Polo Petroquímico de Camaçari, e parques ecoindustriais com compartilhamento de energia, água e resíduos, demonstram viabilidade técnica e econômica, desde que apoiados por políticas públicas específicas e planejamento territorial integrado. Tecnologias de captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS), como as aplicadas pela Petrobras no campo de Lula, tornam-se estratégicas para setores de difícil descarbonização, como cimento e aço (Petróleo Brasileiro S.A., 2023). Transformações nos modelos de negócio também têm papel decisivo. Estratégias de servitização e remuneração por desempenho ambiental, como o caso da WEG, que atrela pagamento à economia de energia gerada, sinalizam a emergência de novos paradigmas empresariais (WEG, 2023). Paralelamente, a digitalização industrial, baseada em sensores, inteligência artificial, big data e internet das coisas (IoT), oferece ganhos expressivos de sustentabilidade ao permitir a otimização do uso de insumos, energia e recursos hídricos.

A disseminação de sistemas de gestão ambiental integrados — ancorados em normas como a ISO 14001 e a ISO 50001 — tem se mostrado eficaz para promover

melhorias contínuas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023). Tais sistemas permitem a identificação de oportunidades, definição de metas mensuráveis e monitoramento sistemático, sobretudo quando integrados a sistemas de gestão da qualidade e segurança ocupacional, ampliando sinergias e reduzindo custos. A qualificação profissional é condição para viabilizar essa transição. Iniciativas como os cursos do SENAI voltados à eficiência energética e tecnologias limpas precisam ser expandidas e adaptadas às especificidades setoriais (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2023). Instituições como o IPT e o CETEM desempenham papel estratégico no desenvolvimento de tecnologias limpas, especialmente quando atuam em rede com universidades, empresas e ambientes de experimentação como os living labs industriais. Nesse contexto, recomenda-se que as políticas públicas priorizem programas de capacitação contínua para trabalhadores e gestores, integrando formação técnica com competências digitais e socioambientais. Além disso, é essencial ampliar linhas de crédito direcionadas à requalificação tecnológica de pequenas e médias indústrias, garantindo que a transição não se restrinja às grandes corporações.

Para reduzir a dependência tecnológica externa e ampliar a competitividade, é crucial desenvolver capacidades locais de inovação em tecnologias limpas. Parcerias entre universidades, institutos de pesquisa e empresas vêm gerando resultados promissores em áreas como biotecnologia industrial, novos materiais e processos de baixo carbono (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2024). Em termos regulatórios, mecanismos baseados em desempenho, ao invés de prescrição tecnológica, asseguram flexibilidade à inovação. A criação de sand boxes regulatórios — ambientes seguros para teste de novas soluções — pode ser uma via para reduzir barreiras normativas à inovação (Banco Central do Brasil, 2024). Instrumentos econômicos como green bonds, fundos garantidores, pagamento por serviços ambientais e mercados regulados de carbono por setor devem ser fortalecidos para mobilizar investimentos e alinhar incentivos. Entre as estratégias prioritárias para o setor

industrial estão: (i) acelerar a eletrificação e diversificação da matriz energética industrial, com políticas de subsídio à energia renovável; (ii) fomentar programas de P&D cooperativos que unam empresas e universidades em torno de tecnologias de baixo carbono; (iii) estabelecer metas setoriais e monitoramento de redução de emissões de GEE e de descarbonização de processos; e (iv) criar mecanismos de rastreabilidade para cadeias produtivas que são grandes emissoras de GEE e garantir a transparência na evidenciação do desempenho ambiental.

O monitoramento ambiental em tempo real, por meio de tecnologias digitais, permite respostas ágeis a riscos e aprimoramento contínuo do desempenho ambiental. A integração com plataformas públicas de transparência, como o SINIMA, e a inspiração em experiências internacionais como o Toxic Release Inventory (TRI) reforçam a accountability empresarial e a confiança social (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2024). A cooperação internacional contribui para a aceleração tecnológica e redução de custos de transição. Acordos com países como Alemanha, Dinamarca e Coreia do Sul fomentam transferência de tecnologia, enquanto programas como o de descarbonização industrial apoiado pelo Banco Mundial — que prevê R\$ 1,3 bilhão em investimentos — exemplificam o potencial da mobilização de recursos externos (Governo Federal, 2025).

O setor privado tem papel central nessa transição, por meio de compromissos voluntários e coalizões como o CEBDS, que promovem boas práticas e padronizações setoriais (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2024). Reconhecimentos como o Prêmio Nacional de Qualidade Ambiental ampliam incentivos reputacionais. A sociedade civil, por sua vez, exerce funções relevantes na geração de dados, no controle social e na atuação em conselhos deliberativos, com destaque para os comitês de bacia como modelo participativo consolidado. A promoção de cadeias de suprimento sustentáveis representa outra frente decisiva. Grandes

empresas podem induzir práticas ambientais ao longo de toda a cadeia produtiva, por meio de programas de qualificação, certificação e exigência de critérios ambientais em compras e contratos (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Nesse ponto, uma recomendação relevante é o fortalecimento de instrumentos de compras públicas sustentáveis, capazes de criar mercados para produtos circulares e de baixo carbono. Além disso, é necessário reduzir a assimetria de informação entre empresas líderes e fornecedores de menor porte, por meio de plataformas digitais de compartilhamento de boas práticas e dados de desempenho ambiental.

Considerações Finais

A convergência entre transformação digital, inovação tecnológica, redes de cooperação e instrumentos econômicos permite estruturar uma nova arquitetura para a política industrial ambiental brasileira. O país reúne vantagens comparativas significativas — matriz energética limpa, biodiversidade, base industrial diversificada — que podem ser transformadas em vantagens competitivas, desde que orientadas por estratégias de longo prazo, capazes de posicionar o Brasil como referência global em sustentabilidade industrial. Avançar nessas frentes é fundamental para atender às demandas estratégicas de uma política industrial sustentável.

A indústria brasileira, marcada por legados de degradação e desastres ambientais, encontra-se diante do desafio histórico de reinventar seus modelos produtivos. Nesse sentido, esse capítulo realizou uma análise da trajetória regulatória e institucional do país, destacando avanços, tais como o da Política Nacional do Meio Ambiente, a PNRS e a Estratégia Nacional de Economia Circular, ao lado das limitações estruturais ainda persistentes. O uso do modelo DPSIR permitiu compreender com clareza as forças motrizes, as pressões, o estado, os impactos e as respostas que moldam a relação entre indústria, sociedade e meio ambiente.

Na dimensão das forças motrizes, o processo de desindustrialização, a perda de complexidade produtiva e o baixo investimento em P&D enfraquecem a competitividade e a capacidade de inovação. A mineração, ao lado da siderurgia, do cimento e de outros setores intensivos em recursos, continua a concentrar riscos ambientais e sociais críticos. Aliado a essas forças, o envelhecimento populacional e a urbanização acelerada criam pressões envolvendo a necessidade de aumentar a produtividade, de gerenciar adequadamente os resíduos sólidos industriais e reduzir o consumo de recursos naturais. Experiências internacionais, como o CBAM europeu, pressionam a indústria brasileira a reduzir a intensidade da pegada de carbono e aumentar a rastreabilidade das emissões de GEE.

Na dimensão de estado do modelo DPSIR, a economia linear persiste como paradigma predominante, com altas taxas de descarte, baixa reciclagem e dependência do trabalho informal. Catadores de materiais recicláveis sustentam dois terços da reciclagem nacional, mas ainda enfrentam exclusão, precarização e falta de reconhecimento institucional. A fragmentação das cadeias globais de valor abre, portanto, oportunidades estratégicas de reposicionamento para o Brasil, com foco em minerais críticos e energias renováveis. Como pontos fortes do estado em que a indústria brasileira opera, o país tem uma matriz elétrica majoritariamente limpa, o qual constitui uma vantagem competitiva em setores de alta intensidade energética.

Por outro lado, o rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG expôs a lógica extrativista, falhas regulatórias e dimensões socioculturais que antecederam o colapso da bacia hidrográfica do Rio Doce. Desastres de Brumadinho e Maceió reforçaram a percepção dos riscos estruturais de um modelo industrial baseado na negligência e na captura das falhas regulatórias. Os impactos desses desastres não se limitam à degradação ambiental, geram violações ontológicas, rupturas simbólicas e injustiça social prolongada. A tríple crise planetária — clima, biodiversidade e poluição —

encontra no Brasil um laboratório vivo de seus dilemas mais agudos. Nesse contexto, a injustiça ambiental atinge de forma desproporcional povos indígenas, quilombolas, populações periféricas e trabalhadores informais. O processo de reparação de desastres revela que justiça ambiental é inseparável de democracia, participação e reconhecimento de saberes locais.

Na dimensão das respostas, a indústria nacional responde por 22% das emissões brutas de GEE. Eventos climáticos extremos, como as enchentes no Rio Grande do Sul e as secas em São Paulo, revelam vulnerabilidades e forçam adaptações produtivas. Planos setoriais de descarbonização precisam avançar no cumprimento de suas metas de redução de emissões de GEE. A ineficiência estrutural da gestão de resíduos sólidos industriais, os quais mantêm baixíssimos índices de circularidade, desperdiçam energia, recursos e oportunidades de inclusão social. A economia circular ganha, portanto, corpo com acordos de logística reversa, financiamento público e crescente engajamento de startups e consumidores urbanos.

O financiamento da modernização industrial continua restrito, caro e desigual, limitando a adoção de tecnologias limpas e inovadoras. A cooperação internacional, por meio de fundos climáticos, transferências tecnológicas e fóruns globais, pode posicionar o país como uma referência no Sul Global em termos de descarbonização de processos industriais. É fundamental, portanto, ampliar a educação profissional para o desenvolvimento de novas competências em direção a circularidade industrial. Consórcios intermunicipais, comitês de bacia hidrográficas e distritos industriais sustentáveis demonstram o potencial da cooperação entre diversos atores públicos e privados. O Brasil pode se tornar potência na geração de energia renovável, no entanto, precisa considerar os princípios da transição energética justa e a necessidade de garantir o desenvolvimento local sustentável.

A sociedade civil, universidades e movimentos sociais têm desempenhado papel central em pressionar por justiça e transparência na gestão ambiental. A

governança multinível surge como uma proposta para a cocriação de soluções. Quando os entes federais, estaduais e municipais, em conjunto com empresas e sociedade civil discutem seus desafios, o caminho da inovação e da integração de agendas é construído. O caminho da transição industrial exige superar

desigualdades regionais e setoriais, garantindo que benefícios ambientais sejam acompanhados por inclusão social. A convergência entre inovação tecnológica, governança colaborativa e engajamento comunitário define os caminhos possíveis para a construção de sistemas socioecológicos regenerativos.

Referências

Abreu, M. C. S. de, & Andrade, R. de J. C. de. (2019). Dealing with wicked problems in socio-ecological systems affected by industrial disasters: A framework for collaborative and adaptive governance. **Science of the Total Environment**, 694, 133700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133700>

Abreu, M. C. S. de, & Andrade, R. de J. C. de. (2022). Problematizing the wickedness of the Fundão dam rupture: Are cross-sector partnerships enough to bring about the Doce river basin recovery process? **Environmental Science & Policy**, 132, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.013>

Abreu, M. C. S. de, & Andrade, R. de J. C. de. (2024). Indigenous People Struggle for Damage Repair: Assessing Shadow Networks Resistance and Pursuit of Resilience in the Context of an Industrial Disaster. **Organization & Environment**. <https://doi.org/10.1177/10860266241248451>

Agência Brasil. (2024, abril 2). **Poluição do ar mata 7 milhões de pessoas por ano no mundo, diz OMS**. <https://agenciabrasil.ebc.com.br>

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2024). **Indústria 4.0 no Brasil: diagnóstico e perspectivas**. ABDI.

Agência Internacional de Energia. (2024). **Global Hydrogen Review 2024**. IEA.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2023). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023**. ANA.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2024). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2024**. ANA.

Agência Nacional de Mineração. (2023). **Relatório de Segurança de Barragens de Mineração 2023**. ANM.

Associação Brasileira da Indústria Química. (2023). **Relatório de Sustentabilidade 2023**. ABIQUIM.

Associação Brasileira de Cimento Portland. (2023). **Roadmap Tecnológico do Cimento: descarbonização da indústria cimenteira brasileira**. ABCP.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2023). **Sistemas de gestão ambiental: panorama da implementação no Brasil**. ABNT.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. (2023). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. ABREMA.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. (2024). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. ABREMA.

Associação Brasileira do Alumínio. (2023). **Anuário Estatístico 2023**. ABAL.

Banco Central do Brasil. (2024). Relatório de Estabilidade Financeira: financiamento da indústria brasileira. BCB.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2023). Minerais Estratégicos para a Transição Energética: oportunidades para o Brasil. BNDES.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2024). Relatório Anual 2024: financiamento da transição sustentável. BNDES.

Bouvier, R., & Dias, S. M. (2021). Waste pickers in Brazil: diversity and challenges. WIEGO.

Brasil. (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Senado Federal.

Brasil. (1997). **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Diário Oficial da União.

Brasil. (2000). **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Diário Oficial da União.

Brasil. (2010). **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União.

Brasil. (2020). **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Diário Oficial da União.

Brasil. (2024). **Decreto nº 12.082, de 12 de junho de 2024**. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Diário Oficial da União.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2024). **Inovação em tecnologias limpas: mapeamento das parcerias público-privadas no Brasil**. CGEE.

Comissão Europeia. (2023). **Regulation (EU) 2023/956 establishing a carbon border adjustment mechanism**.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2023). **Cubatão: 40 anos de controle ambiental e recuperação da qualidade de vida**. CETESB.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2024). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2024**. CETESB.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. (2024). **Boletim dos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo**. SABESP.

Confederação Nacional da Indústria. (2024). **Sondagem Industrial: Indicadores CNI**. CNI.

Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. (2024). **Relatório de Atividades 2024: liderança empresarial para a sustentabilidade**. CEBDS.

Empresa de Pesquisa Energética. (2023). **Balanço Energético Nacional 2023: ano base 2022**. EPE.

Empresa de Pesquisa Energética. (2024). **Hidrogênio verde no Brasil: potencial e perspectivas**. EPE.

Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina. (2021). **Roadmap Tecnológico do Cimento: descarbonização da indústria cimenteira brasileira**. FIESC.

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. (2023). **Relatório de Sustentabilidade Industrial 2023**. FIESP.

Financiadora de Estudos e Projetos. (2023). **Programa I.AM.Verde: descarbonização industrial**. FINEP.

Financiadora de Estudos e Projetos. (2024). **Programa de Apoio à Inovação Verde**. FINEP.

Folha de S. Paulo. (2024, 15 de março). Brasil perde complexidade industrial e fica para trás na corrida tecnológica. **Mercado**, p. B1.

Fundação Oswaldo Cruz. (2018). **Avaliação de contaminação humana por metais pesados: relatório da região amazônica**. FIOCRUZ.

Fundação Oswaldo Cruz. (2020). **Impactos do derramamento de petróleo nas comunidades pesqueiras do Nordeste**. FIOCRUZ.

Fundação Oswaldo Cruz. (2023). **Impactos neurológicos do mercúrio em crianças da Amazônia: estudo longitudinal 2020-2023**. FIOCRUZ.

Fundação Renova. (2023). **Relatório Anual de Atividades 2023**.

Governo do Estado do Rio Grande do Sul. (2024). **Plano Rio Grande: reconstrução, adaptação e resiliência climática.**

Governo Federal. (2025). **Programa de Descarbonização Industrial: parceria com Banco Mundial.** Agência Gov.

Indústria Brasileira de Árvores. (2024). Relatório Anual 2024: sustentabilidade e conservação. IBÁ.
Instituto Aço Brasil. (2024). **Relatório de Sustentabilidade 2024.** IABr.

Instituto Brasileiro de Administração Municipal. (2018). **Governança multinível e sustentabilidade urbana.** IBAM.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2022.** IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). **Projeções da População: Brasil e unidades da federação** (2ª ed.). IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). **Pesquisa Industrial Mensal: produção física Brasil.** IBGE.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2020). **Relatório de Emergência Ambiental: derramamento de óleo no litoral nordestino.** IBAMA.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2024). **Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente: relatório de implementação 2024.** IBAMA.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2022). **Plano de Ação Nacional para a Conservação da Biodiversidade do Quadrilátero Ferrífero.** ICMBio.

Instituto de Energia e Meio Ambiente. (2024). **Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil: análise setorial 2024.** IEMA.

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. (2022). **Desindustrialização e Política Industrial no Brasil.** IEDI.

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. (2024). **Dependência externa da indústria brasileira: análise por setores estratégicos.** IEDI.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2020). **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: relatório de pesquisa.** IPEA.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2022). **Poluição atmosférica e saúde pública no Brasil.** IPEA.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2023). **Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional.** IPEA.

Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias. (2023). **Relatório de Sustentabilidade 2023.** INPEV.

Instituto Prístino. (2023). **Panorama da Reciclagem no Brasil 2023.**

Instituto Prístino. (2024). **Panorama da Reciclagem no Brasil 2024.**

Jurema, R. (2024, março). Maceió: cinco anos de um desastre anunciado. **Revista Piauí**, 210, 42–48.

McKinsey Global Institute. (2024). **The future of global value chains: resilience and regionalization**. McKinsey & Company.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2024). **Indicadores Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação 2024**. MCTI.

Ministério de Minas e Energia. (2023). **Programa Nacional do Hidrogênio: estratégia e perspectivas**. MME.

Ministério de Minas e Energia. (2025). **Balanco Energético Nacional 2025: ano base 2024**. EPE.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2023). **Estratégia Nacional de Economia Circular: relatório de implementação**. MDIC.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2024). **Nova Indústria Brasil: política industrial para uma economia sustentável, digital e descarbonizada**. MDIC.

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024). **Acordos setoriais de logística reversa: relatório de implementação 2024**. MMA.

Ministério Público Federal. (2016). **Ação Civil Pública: desastre de Mariana**. MPF.

Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. (2022). **Panorama da Reciclagem Popular no Brasil**. MNCR.

Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. (2023). **Relatório de Atividades 2023**. MNCR.

Observatory of Economic Complexity. (2024). **Economic Complexity Index: Brazil**. MIT. Recuperado em 20 de julho de 2025, de <https://oec.world/en/profile/country/bra>

Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2024). **Boletim Mensal de Geração Eólica e Solar**. ONS.
Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial. (2024). **Eco-Industrial Parks: achievements and key insights from the global eco-industrial parks programme**. UNIDO.

Organização das Nações Unidas. (2023). **Relatório dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2023**. ONU.

Petróleo Brasileiro S.A. (2023). **Relatório de Sustentabilidade 2023: tecnologias de captura de carbono**. PETROBRAS.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2021). **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial 2024**. PNUMA.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2024). **Estado do Planeta 2024: relatório sobre a tríplice crise planetária**. PNUMA.

Relação Anual de Informações Sociais. (2023). **Anuário Estatístico da RAIS 2023**. Ministério do Trabalho e Emprego.

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo. (2023). **Relatório de Qualidade Ambiental 2023**. SIMA.

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. (2023). **Resolução CONSEMA nº 500/2023: diretrizes para logística reversa**. SEMAI-RS.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2024). **Acesso ao crédito pelas micro e pequenas empresas**. SEBRAE.

Serviço Geológico do Brasil. (2023). **Projeto Minerais Críticos: recuperação a partir de rejeitos**. SGB.

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. (2023). **Jornada de Descarbonização: capacitação para a indústria**. SENAI.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. (2024). **Roadmap para a Neutralidade de Carbono 2050**. SNIC.

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. (2024). Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil 1970-2022. **Observatório do Clima**.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2023). **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2023**. SNIS.

Valor International. (2025, 8 de janeiro). Braskem: passivos ambientais superam R\$ 34 bilhões. **Empresas**, p. A12.

WEG S.A. (2023). **Relatório Anual de Sustentabilidade 2023**.

World Economic Forum. (2022). **The Future of Jobs Report 2022**. WEF.

World Trade Organization. (2023). **Global Value Chain Development Report 2023: resilient and sustainable GVCs in turbulent times**. WTO.

Como tornar nossa indústria sustentável?



Caio Magri¹

¹Diretor-presidente do Instituto Ethos

Para o Brasil, a indústria é estratégica para a economia nacional e regional, para o desenvolvimento social e a conservação socioambiental. Ela é responsável por aproximadamente 20% do PIB, cerca de um terço da receita federal e cria mais de 8,7 milhões de empregos diretos e muitos milhões de empregos indiretos (CNI, 2024; IBGE, 2023). No entanto, sua contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ainda é bastante modesta, particularmente no que diz respeito à luta contra as mudanças climáticas e às desigualdades sociais, econômicas, territoriais e regionais. Mudar a indústria não é apenas uma questão de descarbonizar a economia, mas também torná-la mais justa, inovadora e resiliente. Ela precisa de novas linhas de produção, com novos padrões, novo posicionamento. Precisa de políticas públicas, e de uma nova cultura corporativa que contribua com o desenvolvimento sustentável e o bem-estar coletivo.

1. Descarbonização e Transição Energética

Várias indústrias no Brasil, incluindo as dos setores de aço, cimento, químico e do alumínio, são responsáveis por mais de 25% das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) industriais do país (SEEG, 2023). O caminho para uma indústria de baixo carbono requer mais eficiência energética, mais eletrificação de processos, mais uso de hidrogênio verde e mais substituição de combustíveis fósseis por renováveis. Um mercado de carbono regulado, como o previsto pelo PL 412/2022, pode fornecer essa previsibilidade e fomentar a inovação. Além disso, a Nova Indústria Brasil ou a política de reindustrialização verde, de acordo com documentos oficiais, deve ter como prioridades os setores de alta capacidade de descarbonização e geração de empregos com garantia de direitos sociais e previdenciários (MDIC, 2024; OIT Brasil, 2024).

2. Economia Circular e Eficiência de Recursos

O modelo extrair-produzir-descartar não é apenas insustentável, mas cria disparidades territoriais exacerbadas em áreas afetadas pelo extrativismo. A economia circular sugere aliviar a pressão sobre os ecossistemas e gerar novas atividades em setores sensíveis.

O Brasil gera mais de 82 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos anualmente e tem uma taxa de reciclagem de 4% (ABRELPE, 2023). O setor industrial é capaz de impulsionar soluções com ecodesign, logística reversa, simbiose industrial e reciclagem de insumos, para reforçar cadeias locais gerando vantagens econômicas e ambientais.

3. Desigualdades e Inclusão Territorial

O Brasil figura em 5º lugar entre as nações mais desiguais do mundo enquanto estamos entre a 9ª e 10ª economia. Uma indústria sustentável também precisa combater as desigualdades. Atualmente, a produção industrial está concentrada nas regiões sul e sudeste do país, enquanto no norte e nordeste a indústria é responsável por menos de 15% do PIB regional (IPEA, 2023). Políticas industriais inclusivas podem fortalecer cadeias da socio bioeconomia, fontes de energia renovável e produtos da sociobiodiversidade, especialmente na Amazônia, semiárido e áreas desindustrializadas. Também é necessário avançar no trabalho decente e na inclusão de mulheres, negros, indígenas, pessoas com deficiência e a comunidade LGBTQIA+ (OIT, 2024). O Instituto Ethos destaca que a batalha contra as desigualdades é reforçada quando as empresas atuam em parceria com o governo e sociedade civil (Instituto Ethos, 2023). Isso significa ações afirmativas, liderança diversa e respeito pelo conhecimento local.

4. Inovação, IA Responsável, Ética e Digitalização

Maior digitalização da indústria — através da IoT, IA e blockchain — também levará a uma maior sustentabilidade por meio da otimização de processos e redução de resíduos. No entanto, apenas 23% das indústrias brasileiras empregam tecnologias digitais avançadas (CNI, 2024). Em particular, o acesso ampliado a pequenas e médias empresas é essencial para estimular a inovação aberta, parcerias universitárias e produção nacional de tecnologia. Com a IA ética, responsável e inclusiva, a transparência algorítmica, a proteção da privacidade e a luta contra os vieses discriminatórios são agora necessários. Uma governança inclusiva deve ajudar no envolvimento mútuo de vários grupos sociais e partes interessadas no desenvolvimento dessas tecnologias. Desta forma, a IA pode atuar como aliada no combate às desigualdades e no aumento da sustentabilidade e não no reforço das exclusões.

5. Governança, Transparência e Corresponsabilidade

A reindustrialização exige compromissos reais de ASG (ambiental, social e governança). As empresas devem usar inventários de emissões, relatórios auditáveis e públicos; e consultar comunidades e trabalhadores. O Estado, por sua vez, deve regular e estimular, fortalecer o controle ambiental, combater crimes financeiros e empresariais, bem como incentivar as boas práticas. A integração e transversalidade entre as políticas industriais, ambientais, científicas e regionais é fundamental para equilibrar os interesses públicos e privados na implementação da sustentabilidade.

Tornar a indústria no Brasil sustentável é uma questão desafiadora, mas também é uma oportunidade histórica para colocar o país em um polo de liderança socioambiental. A indústria emergente deve ser renovável, circular, inovadora, consciente e efetiva na justiça social e na promoção trabalho decente. A transformação está enraizada na redução

das desigualdades, na tecnologia responsável e inclusiva, na regulamentação e na ética, e une empresas, governos e sociedade civil em um novo pacto social

Referências

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2023.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. Pesquisa de Indústria Digital no Brasil. Brasília, 2024.
- OIT Brasil – Organização Internacional do Trabalho. **Agenda de Trabalho Decente**. Brasília, 2024.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Nacionais Trimestrais. 2023.
- Ethos – Instituto de Responsabilidade Empresarial e Social. Guia: Como as empresas podem combater as desigualdades no Brasil. 2023.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Desigualdades Regionais e Industrialização. 2023.
- MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Nova Indústria Brasil**. Brasília, 2024.
- SEEG – Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. Análise Setorial – Indústria. Observatório do Clima, 2023.
- Projeto de Lei nº 412/2022. Câmara dos Deputados.

10 SAÚDE



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:
<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou
<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

Autores: Sandra de Souza Hacon¹, Beatriz Fátima Alves Oliveira² e Darwin Renne Florencio³

¹Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil; e-mail: Sandra.hacon@fiocruz.br, sandrahacon@gmail.com

²Fundação Oswaldo Cruz do Piauí; e-mail: Beatriz.oliveira@fiocruz.br

³Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, Ministério da Saúde (DVSAT/SVSA/MS); e-mail: darwinrenne@gmail.com

Sumário Executivo

A saúde da população brasileira está intrinsecamente conectada à integridade dos ecossistemas. Promovê-la requer uma abordagem integrada, intersetorial e orientada por evidências, pautada pela justiça social, pela sustentabilidade ambiental e pelo desenvolvimento territorial equilibrado.

Os avanços observados na agenda ambiental, integrando as mudanças climáticas, inclui a compreensão do bem-estar e da saúde a partir dos processos da conectividade ecológica e a determinação social, econômica, cultural e política;

A vulnerabilidade socio climática e ambiental nos territórios urbanos e rurais tem como fator crítico a desigualdade socioeconômica imposta aos territórios, com suas injustiças e riscos, amplificando os impactos sobre a saúde e bem-estar físico e mental e a insustentabilidade da adaptação climática;

A degradação ambiental no Brasil é um dos principais impulsionadores das doenças infecciosas emergentes. As principais pressões para o “spillover” são o desmatamento, pecuária intensiva próxima as unidades de conservação e outras áreas naturais, o tráfico de animais silvestres, e o comércio ilegal de madeira e ouro;

A prevenção de epidemias e pandemias necessita de vigilância ativa, intensiva e extensiva, com a integração de diversas estratégias de governança para enfrentar os desafios complexos das vigilâncias ambiental, epidemiológica e sanitária;

Atualmente, **87,5% da população brasileira** vive em áreas urbanas (IBGE, 2022). O planejamento de cidades saudáveis deve integrar agendas socioambientais para promoção a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar, reduzindo as doenças que afetam desproporcionalmente as populações mais vulneráveis;

O aumento das temperaturas, alteração da precipitação, o aumento dos incêndios florestais e a urbanização desorganizada, estão expandindo a distribuição geográfica das doenças zoonóticas como malária, dengue, vírus emergentes como Oropouche e Mayaro. Em 2024, o Brasil teve **6,5 milhões de casos prováveis de dengue, com 6.297 óbitos e 13 mil casos confirmados de febre do Oropouche**.

Eventos extremos como, ondas de calor, inundações, secas severas, aumentam significativamente as doenças de transmitidas pelas águas, como a diarreia, cólera, hepatite A, entre outras, e exacerba as doenças cardiorrespiratórias, metabólicas e renais, além de lesões, agravando as vulnerabilidades em saúde, entre idosos, pessoas com comorbidades, gestantes, crianças e comunidades tradicionais. Estimativas apontam para 48 mil mortes por ondas de calor entre 2000 e 2018, com maior impacto entre idosos, mulheres, pessoas negras e de baixa escolaridade (Santos et al., 2024). **Do total de mais de 64 mil decretos registrados entre 2013 e 2023, 29% foram decorrentes às chuvas intensas, inundações, alagamentos e enxurradas e inundações, causando 2143 mortes, representado 80 % do total de mortes causadas por desastres em todo o Brasil** (CNM, 2024).

A poluição do ar é um problema socioambiental crítico, principalmente nas grandes cidades e áreas urbanas, em decorrência do uso intensivo de combustíveis fósseis em transporte e atividades industriais, afetando desproporcionalmente as áreas densamente povoadas, caracterizando uma exposição crônica. Na cidade de São Paulo, **mais de 8 mil mortes poderiam ser evitadas anualmente se os limites estabelecidos pela OMS fossem cumpridos.**

Na Amazônia brasileira os incêndios florestais se intensificam durante a estação seca, extrapolando os limites diários de PM_{2,5} recomendados pela OMS (até 15 µg/m³) e chegando a **500 µg/m³** durante queimadas. Essa exposição prolongada afeta diretamente a saúde das populações urbanas e rurais da região, com aumento de internações por doenças respiratórias, cardiovasculares e agravamento de condições pré-existentes, principalmente de grupos vulneráveis.

O saneamento básico precisa ser ampliado e qualificado como eixo estruturante da adaptação climática e da prevenção de doenças; **86.760 internações/ano** poderiam ser evitadas com saneamento básico universal trazendo uma economia de, cerca, R\$ 49,9 milhões aos cofres públicos. A falta de saneamento básico sobrecarrega o SUS

e provocou 344 mil internações no Brasil em 2024 (Trata Brasil 2024).

Populações costeiras, ribeirinhas e tradicionais enfrentam contaminação ambiental por produtos perigosos, perda de renda, insegurança alimentar, baixa escolaridade e moradias inadequadas; Entre 2010 e 2019, foram notificados 3.750 casos de intoxicação por agrotóxicos em crianças de 0 a 14 anos, incluindo 542 bebês menores de 12 meses. (Bombardi, 2021).

Política Nacional de Vigilância em Saúde (PNVS) é uma política pública de Estado e função essencial do SUS, de caráter universal e orientadora do modelo de atenção à saúde nos territórios. Avanços recentes entre a PNVS e a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) registram ações e estratégias de interação entre os setores de saúde e meio ambiente, desenvolvimento regional, educação, fortalecendo evidências científicas, articulações técnico-científica e institucionais, embora os desafios estruturais ainda persistam, como as desigualdades sociais e territoriais que amplificam as vulnerabilidades.

O desenvolvimento sustentável sem a direta participação dos governos subnacionais na implementação de políticas públicas, poderá reduzir drasticamente sua capacidade de prover políticas mais efetivas e legítimas em uma era de globalização.

Introdução

Nas últimas décadas, a preocupação com as questões ambientais e seus impactos sobre a saúde humana tem sido reconhecida nacionalmente nos meios de comunicação, assim como em diversos setores públicos e privados. As mudanças climáticas e a urbanização figuram como os principais desafios ambientais do século XXI, tornando-se eixos centrais do debate público, com presença e participação diária

na mídia nacional e internacional. Esse protagonismo se deve, em parte, à maior transparência, percepção e compreensão por parte da sociedade de alguns efeitos adversos à saúde humana decorrentes das atividades socioeconômicas. No Brasil, destacam-se, nesse contexto, a exploração dos combustíveis fósseis, a mineração (notadamente de ouro), o desmatamento e a degradação de nossas florestas, principalmente da Amazônia, e a perda da biodiversidade, representando que tem sido denominado de “tripla crise planetária”.

Quadro 10.1: Tripla crise planetária

A tripla crise planetária refere-se aos três principais problemas interconectados que a humanidade enfrenta atualmente: mudança climática, poluição e perda de biodiversidade. Esse conceito foi definido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (da sigla em inglês UNFCCC), um dos três tratados que foram adotados na Cúpula da Terra do Rio de Janeiro, realizada em 1992, e que tinha como objetivo de promover um planeta sustentável. De acordo com a UNFCCC cada um dos desafios da tripla crise planetária tem causas e efeitos específicos que devem ser abordados como problemas cada vez mais complexos - como os riscos ambientais globais, que tornou as fronteiras menos significantes elevou ao aumento do escopo político da atuação das instituições internacionais. Percebe-se uma desagregação das funções governamentais do Estado e uma atribuição dessas funções para diferentes níveis de governança, incluindo o nível global, para garantir um futuro sustentável para o planeta.

Figura 10.1 - Tripla Crise Planetária



Fonte: elaborado pelos autores.

As atividades econômicas dependem dos recursos naturais, dos serviços ecossistêmicos e de pessoas saudáveis física e mentalmente, para sustentarem seu funcionamento com apoio de políticas públicas que integrem a governança multinível nas relações intergovernamentais. Quando o meio ambiente é degradado por planos, programa, políticas, atividades econômicas e, conseqüentemente, pelo modelo de desenvolvimento adotado, os impactos extrapolam os custos financeiros e agravam as desigualdades sociais, de gênero e raciais, comprometendo a saúde, a qualidade de vida das populações e a integridade dos ecossistemas.

O Brasil, com sua diversidade sociocultural e padrões de ocupação altamente complexos e dinâmicos, vive intensos fluxos migratórios internos e externos entre regiões, e entre áreas urbanas e rurais. A interação entre diferentes forças motrizes resulta em pressões socioeconômicas diretas e indiretas que determinam a dinâmica das mudanças no uso da terra e influencia diretamente a qualidade dos serviços ecossistêmicos da população urbana. Essa dinâmica impacta e interfere na qualidade de vida, na saúde e no "bem-viver", com efeitos especialmente agudos sobre as populações indígenas, quilombolas e outras comunidades tradicionais.

A abordagem integrada de ambiente e saúde não é recente e refere-se ao entendimento da relação entre a saúde

humana e o meio ambiente, examinando os fatores ambientais que impactam a saúde humana, como qualidade do ar, da água, do solo, dos alimentos, e as mudanças climáticas. A iniciativa busca entender como as mudanças ambientais globais, regionais e/ou locais afetam a saúde humana, e como o desenvolvimento de estratégias, ações e políticas públicas podem mitigar e/ou eliminar os impactos negativos que contribuem para manutenção de doenças, agravos e lesões traumáticas, podendo levar à morte de grupos mais vulneráveis da população. As atividades econômicas também podem oferecer impactos positivos que busquem a sustentabilidade socioambiental, maximizando os impactos positivos com melhorias dos padrões socioambientais e de morbimortalidade.

O presente capítulo tem como objetivo fornecer uma análise abrangente das regiões brasileiras, abordando um histórico da qualidade ambiental e seus principais impactos sobre a saúde humana, que envolvem também as questões econômicas, sociais e políticas, cruciais para um futuro sustentável do País. Esse documento também explora estratégias para enfrentar a tripla crise climática e discutir suas conexões com as abordagens de Saúde Única (One Health) e Saúde Planetária, ambas reconhecidas internacionalmente como chaves para compreender a complexidade dos riscos socioambientais sobre a saúde.

Quadro 10.2 - Saúde Única e Saúde Planetária

A Saúde Única também denominada “Uma Só Saúde se refere a uma abordagem integrada que reconhece a conexão entre a saúde humana, animal, vegetal e ambiental. A Saúde Planetária é um campo transdisciplinar que enfatiza a interconexão entre a saúde humana e a saúde dos sistemas naturais da Terra, reconhecendo que a degradação ambiental afeta diretamente o bem-estar humano. Apesar da Saúde Única não explicitar os determinantes sociais da saúde, eles são de crucial importância para os países em desenvolvimento, e devem ser inseridos.

Da mesma forma, há um aumento do interesse científico e acadêmico nacional e internacional para entender melhor as associações entre a degradação ambiental e a perda da qualidade de vida de indivíduos e comunidades. Essa tendência acompanha as crescentes demandas das organizações da sociedade civil preocupadas tanto com a

globalização dos problemas ambientais quanto com a forma desigual como suas consequências afetam a sociedade, e principalmente as populações mais vulnerabilizadas no contexto nacional.

O conhecimento científico e várias ferramentas metodológicas, tecnológicas e analíticas têm avançado no sentido de

estabelecer relações entre indicadores ambientais, sociais, econômicos, de exposição e de saúde, buscando-se o entendimento referente aos processos de exposição ambiental, deterioração da qualidade de vida causados pelo impacto ambiental a partir de diferentes perspectivas e a relação com a morbimortalidade. Nos últimos anos, a OMS/OPAS fizeram avanços importantes na compreensão dos determinantes sociais da saúde e da carga ambiental das doenças que deram maior respaldo a abordagem metodológica de integração dos indicadores de ambiente e saúde.

Para apresentação da evidência científica dessas relações, se faz necessário um conjunto de dados e informações que possam compor uma série temporal longa, com abrangência da sazonalidade da região em análise, a participação social e seus determinantes, e plataformas de dados disponíveis para a sociedade. Embora tenhamos dificuldades, principalmente em relação aos dados ambientais, o Brasil se destaca em relação a outros países da América Latina, por apresentar bons indicadores institucionais responsáveis pela geração e disponibilização de dados e informações.

Nessa perspectiva, o capítulo do GEO Saúde se propõe a orientar o fortalecimento das capacidades técnicas quanto aos procedimentos para a geração local, regional e/ou nacional de informação (programas de monitoramento ambiental, bases de dados de saúde, inquéritos epidemiológicos, avaliações qualitativas de ambiente e saúde, entre outras). Ao mesmo tempo, em razão de ser um processo participativo, o GEO Saúde desenvolve uma estratégia integrada de avaliação ambiental e de saúde que fornece suporte aos tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas para promover um ambiente saudável e melhorar a saúde e o bem-estar da população, assim como promove a criação de capacidades para os atores sociais interessados no processo. Assim, essa abordagem metodológica tem o objetivo de integrar informação de qualidade e base científica que identifique e avalie problemas socioambientais que impactam

adversamente a saúde de comunidades/populações, sendo crucial orientar a formulação e implementação de ações capazes de prevenir, minimizar ou controlar tais problemas.

Antecedentes

Desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em Estocolmo em 1972, o meio ambiente vem tornando-se cada vez mais importante para o desenvolvimento mundial (Pott, Estrela, 2017). Após 1972, inúmeras reuniões realizadas pelas Nações Unidas ao redor do mundo tentaram discutir um novo modelo de desenvolvimento sustentável. Apesar de relevantes, as discussões não resultaram em mudanças significativas em direção a um modelo de desenvolvimento mais sustentável. Apesar dos esforços e da percepção ampliada da sociedade sobre o assunto, a transição para um modelo de desenvolvimento mais equitativo e ambientalmente responsável, capaz de promover uma melhor qualidade de vida, não aconteceu da forma esperada. As discussões não representaram uma mudança socioeconômica para um novo modelo de desenvolvimento sustentável como era esperado.

Em 1992 a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro assumiu vários compromissos relativos ao ambiente global, incluindo a Agenda 21, um instrumento orientador de políticas intersetoriais para a sustentabilidade, desenvolvimento e um ambiente saudável, além de algumas convenções como: A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) (Brasil, 2025). Outro fato importante foi a assinatura em 1995 em Washington, D.C., da Carta Pan-Americana sobre Saúde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano Sustentável. A Carta Pan-Americana foi um documento importante porque reforçou a conexão entre a saúde coletiva, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável na região das Américas. Ela destaca que a proteção ambiental é fundamental para

garantir a saúde e o bem-estar das populações, promovendo ações que conciliem o crescimento econômico com a conservação dos recursos naturais. A carta também incentiva os países a adotarem políticas integradas que promovam a sustentabilidade, a equidade social e a melhoria da qualidade de vida de todos e a cooperação entre os países das Américas.

Em 2002, ministros da Saúde e do Meio Ambiente das Américas reuniram-se em Ottawa, no Canadá, e comprometeram-se a fortalecer ações por uma alimentação saudável e melhores condições de saúde, a partir de políticas voltadas à redução das desigualdades, da pobreza e à promoção do desenvolvimento sustentável. O grupo de trabalho HEMA (*Health and Environment Ministers of the Americas*) reuniu-se em junho de 2005 em *Mar del Plata*, Argentina, com o objetivo de fortalecer a capacidade local para o uso de indicadores integrados que apoiassem políticas públicas intersetoriais em meio ambiente e saúde.

Apesar do processo GEO-saúde ter iniciado na década de 2000 no Brasil, e o primeiro estudo usando a metodologia de avaliação integrada de ambiente e saúde – baseada na cadeia FPEEIA (Força Motriz; Pressão; Estado; Exposição; Impacto; Ação) – ter sido desenvolvido em São Paulo, ainda são poucos os estudos que aplicam esta abordagem metodológica em diferentes escalas territoriais. A abordagem Geo-saúde propõe a realização de uma análise científica das informações disponíveis sobre o meio ambiente e a sociedade, bem como participar de amplas discussões e processos participativos para fornecer uma perspectiva socioambiental atualizada. Essa abordagem visa identificar indicadores que contribuam para a promoção da saúde e a elaboração de políticas públicas mais eficazes e territorialmente sensíveis, evidenciando a importância dos governos subnacionais como atores responsáveis pela implementação das políticas necessárias ao cumprimento do desenvolvimento sustentável.

Narrativa conceituais de saúde ambiental e saúde planetária

O campo da saúde ambiental tem evoluído nos últimos anos, à medida que os cientistas, gestores, acadêmicos, decisores políticos e outros têm trabalhado para melhorar a compreensão das conectividades entre a saúde humana, integridade ecológica e os fatores ambientais que podem representar fatores de risco e consequentemente impactos diretos e indiretos para a saúde humana. O campo da saúde ambiental ainda é um desafio não só no Brasil, embora outros países tenham avançado à medida que a compreensão do impacto do ambiente sobre a saúde humana continue a evoluir.

Nos últimos anos, o campo da saúde ambiental evoluiu para uma visão mais holística, intersetorial e equânime dos efeitos do ambiente antropogênico e/ou natural sobre a saúde, reconhecendo os desafios e as oportunidades inerentes a esta visão ampliada. A Organização Mundial de Saúde define: Saúde Ambiental como: “O campo de atuação da saúde pública que se ocupa das formas de vida, das substâncias e das condições em torno do ser humano, que podem exercer alguma influência sobre a sua saúde e o seu bem-estar” (WHO, 1994). Essa definição reforça a importância das interações entre a saúde humana e o ambiente, incluindo fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos promovendo uma abordagem integrada para a prevenção e controle de doenças, incluindo zoonoses e resistência antimicrobiana. Nesse sentido, a saúde ambiental reflete não apenas a condição do meio físico, mas também as desigualdades territoriais e a distribuição dos riscos socioambientais que impactam a saúde das populações, especialmente daquelas mais expostas a condições precárias do ambiente (WHO, 1994, 2016a).

Pensando no processo saúde-doença, essa ampliação conceitual da saúde ambiental ocorre com a mudança do modelo biomédico e setorial para uma abordagem sistêmica e intersetorial, com ênfase na vigilância em saúde, justiça ambiental e nos determinantes sociais da saúde. Essa transição está alinhada a marcos internacionais como a Saúde Única (One Health) e, mais recentemente, à proposta de Saúde Planetária, que compreende a saúde humana como indissociável da integridade dos sistemas ecológicos da Terra (Myers, 2017; Haines et al., 2021). Ambas as abordagens propõem respostas integradas a ameaças globais como a perda de biodiversidade, as mudanças climáticas e a degradação ambiental.

Quadro 10.3: Justiça Ambiental

A Justiça Ambiental também denominada de "ecojustiça", refere-se à ideia de que todas as pessoas, independentemente de raça, cor, origem nacional, habilidade ou renda, devem ter o mesmo grau de proteção contra riscos ambientais e de saúde. Ela incentiva as populações a terem envolvimento significativo nas políticas que moldam suas comunidades e no tratamento justo nos processos de tomada de decisões que garantem a proteção ambiental e seus direitos.

A saúde planetária é um conceito que emergiu em resposta ao crescente reconhecimento de que a saúde humana está intrinsecamente conectada à saúde dos ecossistemas terrestre, aquáticos, oceânico. Definido pela *Lancet Commission on Planetary Health* em 2015, esse termo se refere à “saúde da civilização humana e ao estado dos sistemas naturais dos quais ela depende” (Horton & Lo, 2015). A comissão salienta que a degradação ambiental, impulsionada pela atividade humana, afeta diretamente o bem-estar humano, incluindo a qualidade do ar, da água e dos alimentos, além de aumentar o risco de doenças infecciosas e dos desastres naturais. A saúde planetária, portanto, não se restringe à saúde individual, mas engloba a complexa inter-relação entre a saúde humana, conservação dos ecossistemas e as

mudanças ambientais em larga escala, como o aquecimento global e a perda da biodiversidade. A OMS enfatiza a necessidade de colaboração entre diferentes setores e disciplinas para abordar os desafios da saúde planetária, promovendo uma visão integrada para reduzir os riscos à saúde humana (WHO, 2016a).

As novas abordagens das inter-relações da saúde humana com a natureza e as atividades econômicas locais e globais trazem novos desafios para o setor privado e governamental evidenciando a necessidade de um desempenho cada vez mais importante no exercício da responsabilidade socioambiental, e do desenvolvimento sustentável. O reconhecimento dos efeitos da ação antrópica sobre o ambiente e seus riscos e impactos sobre a saúde da população é indispensável para a implementação de políticas públicas eficazes. Essa abordagem revela desafios essenciais para setor privado e o governamental e, nesse sentido, é imperativo que ambos assumam com maior responsabilidade socioambiental e compromisso com o desenvolvimento sustentável, garantindo que as ações beneficiem de forma justa todas as comunidades, especialmente as mais vulnerabilizadas. Reconhecer os impactos negativos da ação humana sobre o meio ambiente, bem como os riscos e impactos sobre a saúde da população, é fundamental para a implementação de políticas públicas e privadas eficazes, que promovam a equidade e a justiça social. Ignorar essa realidade coloca em risco o bem-estar das futuras gerações e a própria sustentabilidade do planeta (Sachs, 2015).

Nesse contexto, a qualidade ambiental urbana emerge como dimensão relevante, pois expressa diretamente os conceitos de ecossistema urbano e de qualidade de vida, refletindo as interações entre infraestrutura urbana, uso e ocupação do solo, acesso a serviços públicos, presença de áreas verdes e exposição a fatores de risco ambiental (Vaz et al., 2021). Essas áreas, por serem densamente povoadas e sujeitas a diversas pressões ambientais e sociais, concentram exposições a poluentes atmosféricos, ilhas de calor, baixa arborização, contaminação biológica por precariedade do saneamento e

precariedade habitacional, o que acentua as desigualdades em saúde. Essa concepção ampliada da qualidade ambiental permite identificar desigualdades territoriais e exposições diferenciadas que afetam a saúde das populações urbanas, especialmente em contextos marcados por vulnerabilidades sociais e ambientais. Portanto, avaliar a qualidade ambiental urbana exige considerar os determinantes sociais da saúde e os processos históricos e estruturais que moldam as cidades.

Para o Brasil, as implicações dessa abordagem ampliada da saúde ambiental e da saúde planetária são profundas e urgentes. Diante das crescentes pressões ambientais e das desigualdades sociais e territoriais, é indispensável que o país avance na formulação e implementação de políticas públicas integradas, intersetoriais e informadas por evidências, que reconheçam a interdependência entre saúde humana, ecossistemas e justiça social. Isso requer o fortalecimento da governança ambiental e sanitária, o investimento em infraestrutura e vigilância em saúde ambiental, a capacitação técnica de profissionais e a valorização dos saberes locais e tradicionais, sobretudo em territórios mais vulneráveis como a Amazônia. Incorporar os princípios da saúde planetária às agendas de desenvolvimento é essencial para garantir a resiliência dos sistemas de saúde, a proteção das populações mais expostas e a sustentabilidade dos recursos naturais dos quais dependem a saúde e o bem-estar das atuais e futuras gerações.

Abordagem metodológica e eixos temáticos

A estrutura DPSIR (do inglês Drivers-Pressures-State-Impact-Response) ou Forças motrizes - Pressões - Estado - Impacto - Respostas (FP EEIA), é uma estrutura que apresenta uma visão objetiva das conectividades dos problemas ambientais decorrentes direta ou indiretamente das forças-motrizes

impulsionadoras do desenvolvimento econômico. Esse modelo permite uma análise sequencial, de causa e efeito sobre como atividades humanas geram pressões sobre o meio ambiente, alteram seu estado, produzem exposição e impactos socioambientais e de saúde. O modelo DPSIR foi uma evolução complementar aos modelos de análises causais que avançou com a transformação estrutural da qualidade ambiental e a conectividade com os impactos a saúde.

Para a análise dos impactos das atividades econômicas sobre a saúde é fundamental incluir a exposição humana, decorrente das alterações ambientais, o que permite compreender de forma mais precisa a magnitude e a distribuição dos efeitos sobre diferentes populações. A intensidade do impacto à saúde dependerá do nível de exposição – se é direta ou indireta, crônica ou aguda – assim como depende das características das atividades econômicas e dos poluentes. Além disso, fatores como a suscetibilidade biológica e o nível de vulnerabilidade social e ambiental dos grupos expostos são determinantes na carga de doenças associadas a riscos ambientais (Barcellos et al., 2009; WHO, 2022; Xavier et al., 2025). Essas dimensões devem ser incorporadas nas análises para orientar intervenções mais eficazes e equitativas.

No Brasil, o principal desafio consiste na harmonização dos objetivos do desenvolvimento, da saúde e do ambiente com a equidade social, e isso requer, entre outras medidas, a formulação de políticas efetivas de desenvolvimento urbano e rural, que sejam sensíveis às desigualdades territoriais e às múltiplas exposições ambientais que afetam a saúde da população. A adoção de modelos como o DPSIER, com inclusão da exposição, pode contribuir para sistematizar evidências e fortalecer a governança intersetorial, sobretudo em contextos de vulnerabilidade. Os tópicos a seguir estruturam a análise das múltiplas interações entre o ambiente e a saúde, com ênfase em evidências que possam subsidiar a formulação de políticas públicas mais integradas, territorializadas e orientadas pela equidade.

Figura 10.2 - Inter-relações entre meio ambiente e saúde: modelo DPSIER aplicado ao Brasil



Fonte: elaborado pelos autores.

Saúde no Brasil

O Brasil possui um sistema de informação em saúde que permite uma capacidade analítica por parte de técnicos, gestores, acadêmicos e pesquisadores, possibilitando a produção de relatórios de situação de saúde, boletins epidemiológicos, informes para os meios de comunicação, painéis e pesquisas com base em evidências epidemiológicas, tendências históricas de riscos de morbidade e mortalidade, além de hipóteses explicativas para esses cenários. Essas análises podem contribuir para o aprimoramento do conhecimento sobre a situação de saúde da população brasileira considerando, inclusive os impactos da qualidade ambiental e dos serviços ecossistêmicos urbanos e rurais. Comparado a outros países da América Latina, o Brasil apresenta uma forte predominância de estudos epidemiológicos com ampla abrangência temática.

Ainda que o País se destaque em estudos de saúde, clima e qualidade do ar, principalmente na Amazonia, temas relacionados aos impactos da poluição das águas, ar, solos, alimentos, degradação dos serviços ecossistêmicos, presença de áreas

contaminadas por produtos e/ou substâncias perigosas, disposição de resíduos sólidos, perda de biodiversidade e condições inadequadas de trabalho e moradia, ainda carecem de estudos estruturantes e abrangentes em todas as regiões do país. As lacunas do conhecimento relacionadas aos riscos e impactos ambientais sobre a saúde são pouco representativas na literatura nacional.

As alterações no uso do solo, incluindo a fragmentação e a degradação florestal, figuram-se entre as principais causas das alterações ambientais globais com destaque para seus efeitos sobre a Bacia Amazônica. Há uma literatura nacional e internacional sobre o tema, o que permite também avançar em estudos epidemiológicos sobre impactos da perda de biodiversidade sobre a saúde humana. Estima-se que cerca de um quarto da carga global de doenças pode ser atribuída às alterações ambientais (WHO, 2016b). A atual crise ambiental afeta profundamente a saúde à medida que as alterações climáticas se intensificam, a biodiversidade diminui e a poluição se torna presente em todos os ecossistemas, biomas, áreas urbanas e rurais, potencializadas pelas desigualdades sociais.

Um aspecto importante que precisa ser discutido é o entendimento das interações entre os múltiplos riscos. Os riscos não ocorrem isoladamente: eles têm efeitos cumulativos e sinérgicos, que amplificam os impactos a saúde. Quando dois ou mais riscos ocorrem simultaneamente, podem desencadear impactos em cascata, aumentando a probabilidade de ocorrência de novos riscos e intensificando os efeitos de riscos específicos, criando o que se denomina “efeito dominó” (Klose et al., 2021).

Os indicadores, sejam simples ou compostos, são ferramentas úteis que transformam os dados brutos em informações de saúde, desempenhando um papel essencial na identificação e comunicação de padrões e tendências socioambientais (OPAS, 2018). Os indicadores são ferramentas de gestão para os tomadores de decisão, especialmente quando é necessário sintetizar um conjunto de variáveis sobre diferentes temas, como integrar e representar as dimensões de saúde e do ambiente. Além de ser fundamental para o monitoramento socioambiental e a vigilância epidemiológica, sanitária e ambiental, contribuem para a gestão territorial, identificando e priorizando diferentes setores da economia que têm maior peso nos impactos negativos sobre a saúde humana (OPAS, 2018).

A complexa relação de causa-efeito entre riscos e impactos ambientais influenciam diretamente o estado de saúde humana e ambiental. Ao abordar o contexto da saúde ambiental, apresentamos as formas de produção e de desenvolvimento social e econômico que interferem nos ecossistemas, nas áreas urbanas, periurbanas e rurais, que são determinantes e contribuintes na alteração do padrão e dos níveis de saúde da população. Essa interferência resulta na alteração do perfil epidemiológico e de morbimortalidade em função da exposição humana a distintas pressões socioambientais. Essa mudança é explicada pelo fenômeno da transição epidemiológica, que revela a evolução das causas de doenças e mortes à medida que as condições de vida e o ambiente se modificam (Martins et al, 2021).

No Brasil, a Estratégia Saúde da Família (ESF), programa criado em 1994, organizada por territórios e orientada para as comunidades, constitui o modelo prioritário e estratégico de organização do cuidado e melhoria do acesso aos serviços de saúde (Brasil, 2017). Por meio de equipes multiprofissionais compostas por médicos, enfermeiros, agentes comunitários de saúde, técnicos e outros profissionais, essas unidades desempenham papel importante no enfrentamento de doenças, e mais recentemente tem contribuído com os impactos sobre a saúde de problemas ambientais em contextos de vulnerabilidade, como de áreas degradadas e/ou contaminadas, áreas impactadas pelas mudanças climáticas, surtos e/ou epidemias de arboviroses. Essas equipes atuam na promoção da saúde, na vigilância em saúde e na adoção de medidas de mitigação e contenção dos principais agravos, contribuindo para o fortalecimento do cuidado integral e para a redução das iniquidades em saúde (Brasil, 2017). O programa de Estratégia Saúde da Família (ESF), a partir da capacitação de seu quadro de profissionais e expandindo suas estratégias de ação, poderia incluir a Saúde Única na sua atuação, e ao longo do tempo moldar sua atuação também para a integração da saúde ambiental. Esta associação da ESF no escopo da Saúde Única poderá trazer contribuições diretas para os ODS 2, 3, e 10, reduzindo as desigualdades e promovendo o bem-estar para uma boa parte da população.

Impactos sobre a Saúde decorrentes da desestruturação urbana e as pressões antropogênicas

Vulnerabilidades sanitárias em contextos urbanos desordenados e crise ambiental

As cidades brasileiras enfrentam um

conjunto crescente de pressões socioeconômicas que comprometem o bem-estar da população e desafiam a sustentabilidade urbana. Com 87,5% dos brasileiros vivendo em áreas urbanas, segundo o Censo de 2022 (IBGE, 2023), em apenas 0,44% do território e boa parte delas em regiões costeiras vulneráveis ao aumento do nível do mar. e uma projeção de 90% até 2030 (Nações Unidas, 2017, Lemos et al, 2025). O adensamento populacional tem ocorrido de forma acelerada e desordenada, resultando no crescimento desigual dos grandes centros urbanos e no esvaziamento relativo de pequenas cidades. Esse padrão promoveu a ocupação de áreas inadequadas, a fragmentação territorial e a precarização dos serviços públicos, gerando cidades marcadas por infraestrutura insuficiente, degradação ambiental e desigualdade no acesso aos direitos urbanos.

No Brasil, a urbanização se deu de forma desordenada, ampliando problemas socioambientais e intensificando as pressões sobre os recursos naturais. O Brasil apresenta elevada concentração populacional em áreas urbanas: 87% da população. O país tem crescido em ritmo lento – de 2010 a 2022, a taxa de crescimento anual da população do país foi de 0,52%, a menor da história dos censos (IBGE, 2022) – A ocupação horizontal e a impermeabilização do solo comprometem o ciclo hidrológico e intensificam os riscos de enchentes, deslizamentos e ondas de calor. Esse cenário agrava a exposição das populações aos fenômenos climáticos, principalmente aquelas com maior vulnerabilidade social.

Nesse cenário, um dos principais desafios é o enfrentamento dos efeitos negativos do processo de aglomeração populacional excessiva em áreas urbanas, especialmente quando as perdas sociais associadas à aglomeração superam os benefícios esperados da economia de escala urbana. O aumento dessa concentração se reflete na crescente demanda por moradia, uso e ocupação inadequada do solo, na sobrecarga dos serviços de transporte, na elevação dos níveis de poluição ambiental, riscos de desastres de inundações,

congestionamento de trânsito e nos desafios crescentes relacionados à segurança pública (ONU-Habitat e IPEA, 2011, Aguiar et al., 2023). Trata-se de problemas complexos, que não apenas são agravados pela crise climática, como também a intensificam, formando um ciclo de retroalimentação de vulnerabilidades urbanas (IPCC, 2022).

Os temas da degradação ambiental e saúde sempre estiveram interconectados ao longo da história das políticas públicas. Assim, o processo de urbanização constituiu-se em um fator fundamental para a emergência, incidência e a proliferação de doenças infectocontagiosas, além de agravar a ocorrência de epidemias nas diferentes regiões do País. A urbanização sem planejamento tem comprometido o abastecimento e a qualidade da água, o esgotamento sanitário e a disposição de resíduos, inclusive perigosos como agrotóxicos, contaminando solos urbanos. A ausência de gestão, fiscalização e da implementação de políticas ambientais tem favorecido a proliferação de doenças infecciosas transmitidas por vetores, por contato com o solo ou por veiculação hídrica, com risco elevado para populações urbanas e periurbanas.

Esse contexto de degradação do ambiente urbano reflete diretamente no estado da saúde pública. As doenças vectoriais, que se intensificam nas áreas urbanas, impulsionadas por urbanização desordenada, mudanças climáticas e infraestrutura precária, com destaque para as arboviroses como dengue, zika e chikungunya. Em 2024, o país registrou mais de 6,5 milhões de casos prováveis de dengue e 6.297 óbitos, com expansão para regiões anteriormente não endêmicas, impulsionada por chuvas intensas e temperaturas elevadas (Barcellos et al., 2024, Brasil, 2025). No caso da Zika, embora o número atual de casos seja inferior ao observado em surtos anteriores, sua importância persiste nas áreas urbanas do Nordeste brasileiro. A circulação do vírus nessas regiões está fortemente associada à precariedade do saneamento, à alta densidade populacional e à presença contínua de *Aedes aegypti*, atingindo de forma desproporcional pobres e periféricas, onde predomina a população negra e parda

(Barreto et al., 2016). São áreas, frequentemente negligenciadas em políticas de infraestrutura urbana, que continuam apresentando condições favoráveis à manutenção da transmissão viral e exigem atenção prioritária nas estratégias de vigilância e resposta.

A emergência de outras arboviroses, como a febre do Oropouche (OROV), também aponta para vulnerabilidades urbanas associadas a fatores ambientais e demográficos. Em 2024, essa doença vetorial somou mais de 13.000 casos confirmados no Brasil, com o estado do Espírito Santo registrando o maior número fora da Amazônia (Brasil, 2025). Sua recente expansão foi ligada a fatores ambientais e demográficos, como cobertura florestal, cultivo de banana e cacau, temperatura elevada e densidade populacional. Modelagens ecológicas indicam que a circulação do vírus ocorreu em áreas de alta adequação ambiental antes de sua rápida disseminação epidêmica na Amazônia, especialmente em centros urbanos densamente povoados como Manaus (Tegally et al., 2025). A introdução do vírus em regiões simultaneamente vulneráveis e ambientalmente favoráveis potencializou sua transmissão e sua expansão para além da Amazônia, inclusive para áreas costeiras com elevada adequação ecológica.

A Febre Amarela (FA) desperta especial interesse, uma zoonose infecciosa com grande relevância epidemiológica, principalmente nas regiões tropicais. No Brasil (2017-2018), foram registrados 732 casos confirmados de febre amarela em primatas não humanos (epizootias), permitindo o monitoramento geográfico da doença e a implementação de medidas de controle e prevenção em humanos (Mares-Guia et al., 2020). Na região extra-amazônica, a FA se apresenta em surtos precedidos de ciclos irregulares, e se dispersa entre as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do País, nos chamados corredores de paisagem (Sobral et al., 2024). As arboviroses evidenciam a necessidade de programas de vigilância proativa, de modo que os ODS 3, 6, 11, 13 e 15 possam cumprir seus objetivos.

Outro problema ambiental crítico é a exposição a poluentes atmosféricos, emitidos nas cidades pelo uso intensivo de combustíveis fósseis em transporte e atividades industriais, afetando de forma desproporcional as áreas densamente povoadas. A espacialização da exposição aos poluentes atmosféricos é ilustrada nos mapas temáticos apresentados na Figura 10.3, os quais mostram a distribuição das principais fontes de emissão de poluição do ar e seus efeitos no território nacional, com base nos dados mais recentes disponíveis. Na Amazônia, observa-se uma elevada frequência de extrapolação dos limites diários de $PM_{2,5}$, especialmente durante a estação seca, quando os incêndios florestais se intensificam. Essa exposição prolongada afeta diretamente a saúde das populações urbanas e rurais da região, com aumento de internações por doenças respiratórias, cardiovasculares e agravamento de condições pré-existentes, principalmente de grupos vulneráveis.

No Sudeste, destacam-se áreas densamente povoadas como São Paulo e Rio de Janeiro, onde os níveis de material particulado ($MP_{2,5}$) refletem a combinação entre alta motorização, presença industrial e episódios de transporte de fumaça oriunda da Amazônia e Cerrado durante os meses mais secos. Essas cidades registram impactos significativos na mortalidade atribuível à poluição do ar, evidenciando a vulnerabilidade de grandes centros urbanos às emissões locais e à poluição de origem remota.

No Brasil, estima-se que 326.478 mortes ocorreram por causas atribuíveis à poluição do ar entre 2019 e 2021, evidenciando um problema de saúde pública que atinge tanto áreas urbanas quanto rurais (Brasil, 2024). Estudos apontam que, se os limites estabelecidos pela OMS fossem cumpridos, mais de 8 mil mortes poderiam ser evitadas anualmente só na cidade de São Paulo (Barboza et al., 2022). No caso particular do ozônio, observou-se um aumento médio anual de 1,7% entre 2010 e 2019 no país, agravando doenças respiratórias e cardiovasculares (Sicard et al., 2023). Em áreas urbanas, as evidências indicam a associação entre a exposição aguda à

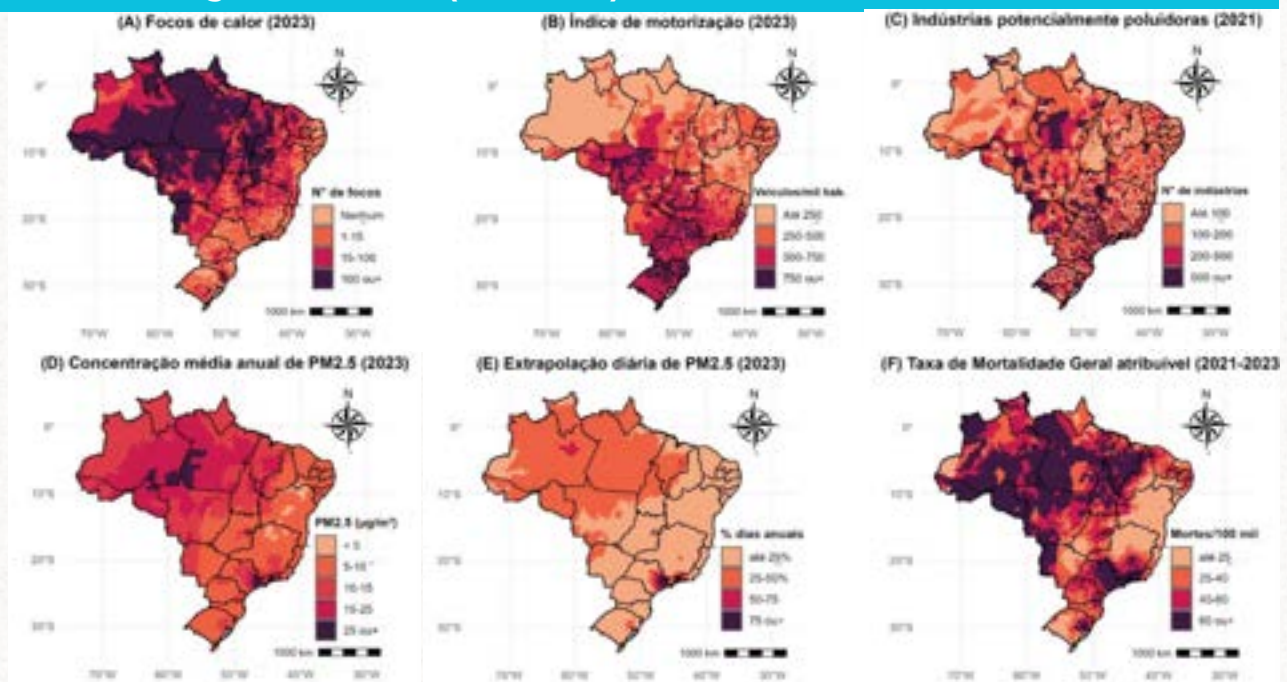
poluição do ar e o aumento de hospitalizações e óbitos, especialmente entre pessoas idosas (Gouveia et al., 2024).

Além da poluição do ar, as cidades brasileiras estão cada vez mais expostas aos efeitos de eventos climáticos extremos, potencializados pela expansão urbana desordenada, pela intensificação do efeito de ilha de calor, pela redução da cobertura vegetal e pelo aumento da temperatura da superfície terrestre, sobretudo em bairros com pouca infraestrutura verde (Venkatraman et al., 2024). As ondas de calor, em especial, tornaram-se mais frequentes, intensas e duradouras nas últimas décadas (Marengo et al., 2025). Usando como indicador o fator de excesso de calor (Excess Heat Factor-EHF), foram estimadas cerca de 48 mil mortes em excesso entre 2000 e 2018 associadas a esses eventos, especialmente mortes por doenças circulatórias, respiratórias e

neoplasias, com maior impacto entre idosos, mulheres, pessoas negras e de baixa escolaridade (Santos et al., 2024).

Entre os idosos, o risco de mortalidade por doenças cardiopulmonares associadas as ondas de calor aumentam com a intensidade do evento, considerando os dados das capitais do Brasil, com destaque para o Sudeste e o Sul, onde os efeitos são mais acentuados (Santos, 2023). Nos municípios da Amazônia Legal com mais de 100 mil habitantes, os riscos de mortalidade associados às ondas de calor aumentam conforme a intensidade dos eventos. Os dados mostram que, durante ondas de calor de alta intensidade (percentil 99), os impactos são particularmente severos entre idosos, mulheres e pessoas com doenças cardiovasculares, indicando uma vulnerabilidade acentuada desses grupos à exposição prolongada ao calor (Silveira et al., 2023).

Figura 10.3 - Panorama das fontes de emissão de poluentes atmosféricos, níveis de material particulado fino (PM_{2.5}), seus impactos na mortalidade geral nos municípios brasileiros (2021–2023). (A) Focos de calor (2023); (B) Índice de motorização (2023); (C) Indústrias potencialmente poluidoras (2021); (D) Concentração média anual de PM_{2.5} (2023); (E) Extrapolação diária de PM_{2.5} (2023) que corresponde ao percentual de dias anuais em que este poluente excedeu os valores diários recomendados (15 µg/m³) (2023); (F) Taxa de mortalidade geral atribuível (2021–2023).

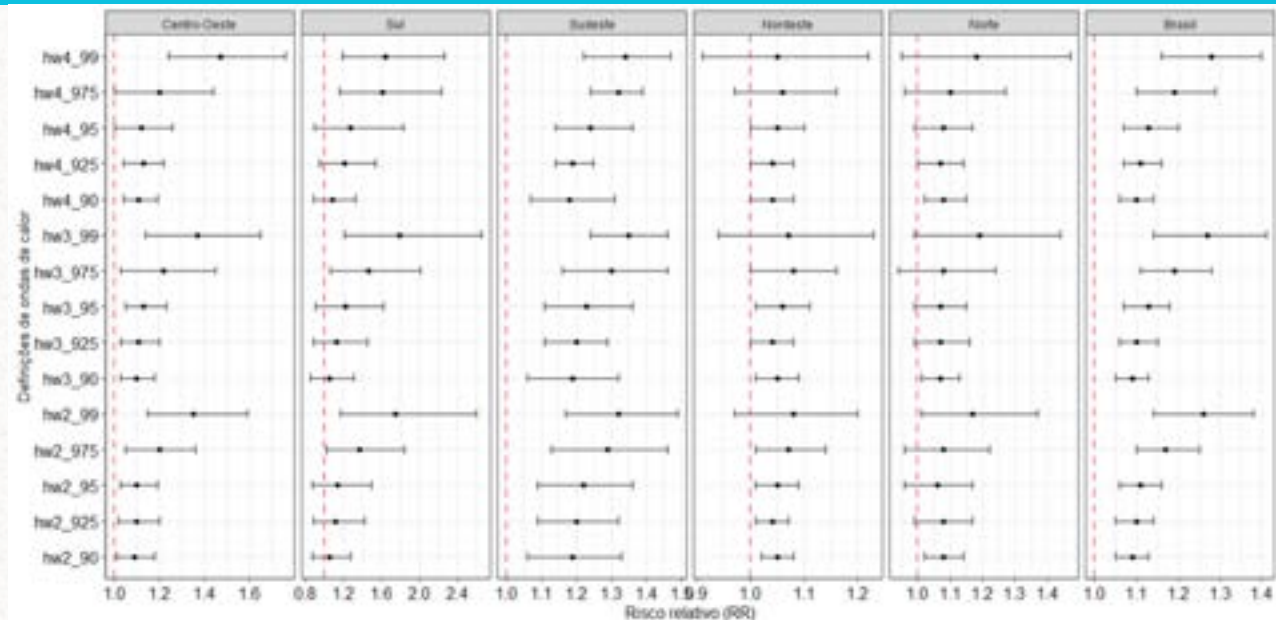


Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados de Focos de calor (BD Queimadas); frota de veículos (Ministério de Transportes); dados de temperatura provenientes dos dados de reanálise ERA5-Land – Copernicus Climate Change Service; indústrias potencialmente poluidoras (IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); Concentração média diária de PM_{2.5} proveniente do Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS); Mortalidade atribuível (Painel VIGIAR/MS).

Um dos aspectos mais preocupantes é a ocorrência simultânea de eventos climáticos extremos, com efeitos combinados podem agravar de forma significativa os riscos à saúde e ao ambiente. No Brasil, sob a influência do fenômeno El Niño 2023/2024, observou-se a intensificação dos impactos sinérgicos de secas, ondas de calor e queimadas, com repercussões diretas sobre a saúde da população e a qualidade do ar. Outro exemplo marcante foi a temporada de incêndios no Pantanal em 2020, quando mais de 3,9 milhões de hectares foram

queimados. Nesse período a fumaça alcançou a Região Metropolitana de São Paulo, deteriorando a qualidade do ar e contribuindo para internações por doenças respiratórias e agravamento de casos de Covid-19 (Santos et al., 2024). Esses eventos revelam como distúrbios ambientais em regiões remotas podem amplificar riscos em grandes centros urbanos, reforçando a necessidade de políticas públicas que integrem justiça climática, saúde ambiental e planejamento urbano para alcançar os ODS 3, 11.13.

Figura 10.4 - Risco relativo e seus intervalos de confiança (IC95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade por doenças cardiopulmonares em idosos nas capitais da Brasileira, segundo grandes regiões (série temporal de 2000 a 2019).



Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados de temperatura provenientes dos dados de reanálise ERA5-Land – Copernicus Climate Change Service; dados de mortalidade provenientes do Sistema de Informação de Mortalidade (SIM).

As cidades brasileiras enfrentam riscos crescentes relacionadas a eventos extremos e desastres naturais. Desde 2013, 94% dos Municípios já foram afetados pelo menos uma vez por algum tipo de desastre que geraram decretações de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública (CNM, 2024). Do total de mais de 64 mil decretos registrados entre 2013 e 2023, 29% foram decorrentes às chuvas intensas, inundações, alagamentos e enxurradas e inundações, causando 2143 mortes, representado 80 % do total de mortes causadas por desastres em todo o Brasil (CNM, 2024). A região Sul concentra

os maiores prejuízos, somando o maior percentual de casas afetadas (46, 80 %), sendo 1 milhão de locais danificados e 54.560 , destruídos, com destaque o Rio Grande do Sul, onde o desastre climático de abril-maio de 2024 foi classificado o mais severo da história do estado (CNM, 2024, Marengo et al., 2024).

Os eventos extremos hidrológicos não apenas causam perdas econômicas e deslocamentos populacionais, como também aumentam a exposição a doenças infecciosas, como leptospirose, diarreia aguda e hepatites A e E, sobretudo em áreas com saneamento precário. No Rio Grande do Sul,

durante a inundação de 2024, a destruição e o alagamento de edificações favoreceram o abrigo de aranhas e serpentes, elevando o risco de acidentes com animais peçonhentos áreas próximas   vegetação nativa. A hepatite A apresentou altas taxas no litoral e na Campanha Gaúcha, refletindo deficiências históricas de saneamento, agravadas pela catástrofe de 2024, que também intensificou os casos de leptospirose em plan cias irrigadas e áreas com infraestrutura precária. Além disso, mais de 1.500 estabelecimentos foram identificados em áreas suscetíveis a inundações, muitos deles com potencial poluidor de agentes químicos, concentrando-se sobretudo na capital, o que amplia os riscos   saúde ambiental em zonas urbanas densamente ocupadas (Xavier et al., 2025).

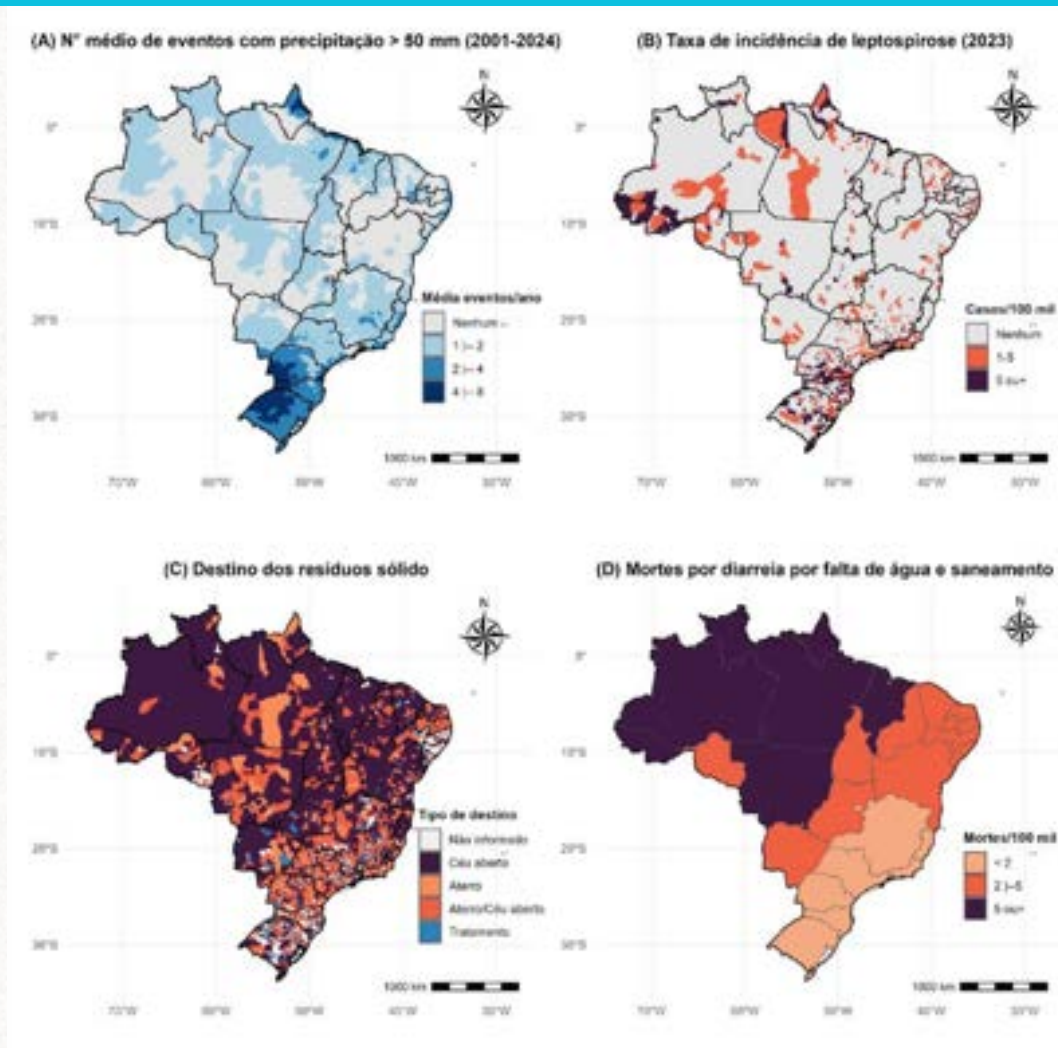
Entre as doenças infecciosas, a leptospirose é uma das doenças mais recorrentes após enchentes em centros urbanos, associada ao contato com águas contaminadas por urina de roedores (Martineli et al., 2020). Entre os anos de 2010 e 2023, o Brasil registrou 48023 casos de leptospirose e 4.265 óbitos, com destaque para região Sudeste e Sul, registrando, respectivamente, 31% e 27% dos casos confirmados (Brasil, 2024). Esse panorama mostra ainda que a água ou lama decorrente de enchentes corresponde a segunda causa de exposição às situações de risco para essa doença (Brasil, 2024). Além da leptospirose, as doenças diarreicas infecciosas também estão fortemente associadas a enchentes e escoamento de águas contaminadas, especialmente em áreas com baixa cobertura de saneamento básico. Exemplos disso incluem a cheia do Rio Negro em Manaus (2012), associada ao aumento de gastroenterites e   detecção de enterovírus na  gua (Vieira et al., 2017), e o município de Rio Branco (AC), onde entre 2000 e 2013 houve correlação entre internat es por diarreia infecciosa e o nível do Rio Acre, com maior impacto em crianças menores de um ano (Duarte et al., 2019). A universalização do saneamento básico no Brasil reduziria em 86.760/ano número de internat es por DRSAI (Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado), e traria uma economia de,

cerca, R\$ 49,9 milhões aos cofres públicos, segundo o Trata Brasil 2025. A falta de saneamento básico sobrecarrega o SUS e provocou 344 mil internat es no Brasil em 2024 (Trata Brasil 2024). Esses dados evidenciam que estamos distantes de cumprir os ODS 3,6, 10 e 11.

Os impactos   saúde decorrentes de eventos extremos hidrológicos, como enchentes, não se limitam a desfechos infecciosos imediatos, mas podem se prolongar por semanas ou até meses após a exposição. Evidências recentes demonstram que os riscos de hospitalização permanecem elevados por até 210 dias após inundações, com aumento não apenas doenças infecciosas, mas também desfechos cr nicos e não transmissíveis, como condições cardiovasculares, respiratórias e digestivas (Yang et al., 2025). Esses efeitos prolongados evidenciam a natureza crônica dos danos   saúde pública provocados por desastres climáticos, exigindo estratégias de vigilância e resposta que ultrapassem o período agudo do evento e considerem suas repercussões a médio e longo prazo, especialmente em populações mais vulneráveis.

Como panorama do Brasil, a Figura 10.5 sintetiza a complexidade dos impactos dos eventos extremos sobre a saúde humana, destacando inter-relações entre riscos ambientais e sociais. Observa-se que os eventos hidrológicos se concentram em várias regiões vulneráveis (A), coincidindo com elevadas taxas de leptospirose (B) e mortalidade por doenças diarreicas associadas à falta de água e saneamento (D). Além disso, a destinação inadequada dos resíduos sólidos, predominante em lixões a céu aberto mostra as deficiências estruturais que agravam a exposição da população a riscos ambientais por áreas contaminadas, agentes patog nicos, que podem ser agravadas após eventos de enchentes. Assim, a ausência ou fragilidade da infraestrutura urbana e dos serviços essenciais não apenas potencializam os efeitos imediatos dos desastres hidrológicos, como perpetua seus impactos a médio e longo prazo, exigindo políticas públicas integradas que combinem mitigação, adaptação e redução das desigualdades socioambientais.

Figura 10.5 - Panorama dos eventos extremos hidrológicos (2020-março/2024), taxa de incidência de leptospirose por 100 mil habitantes em 2023, destinação dos resíduos sólidos e as mortes de diarreia em menores de 5 anos atribuível a falta de água e de saneamento 2021



Fontes: produzido pelos autores a partir dos seguintes dados de precipitação (BR-DWGD: Brazilian Daily Weather Gridded Data, Xavier et al., 2022); leptospirose (SINAN: Sistema de Informação de Agravos de Notificação); resíduos sólidos (IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); Mortalidade de diarreia atribuível: dados de 2021 da Global Burden of Disease (GBD).

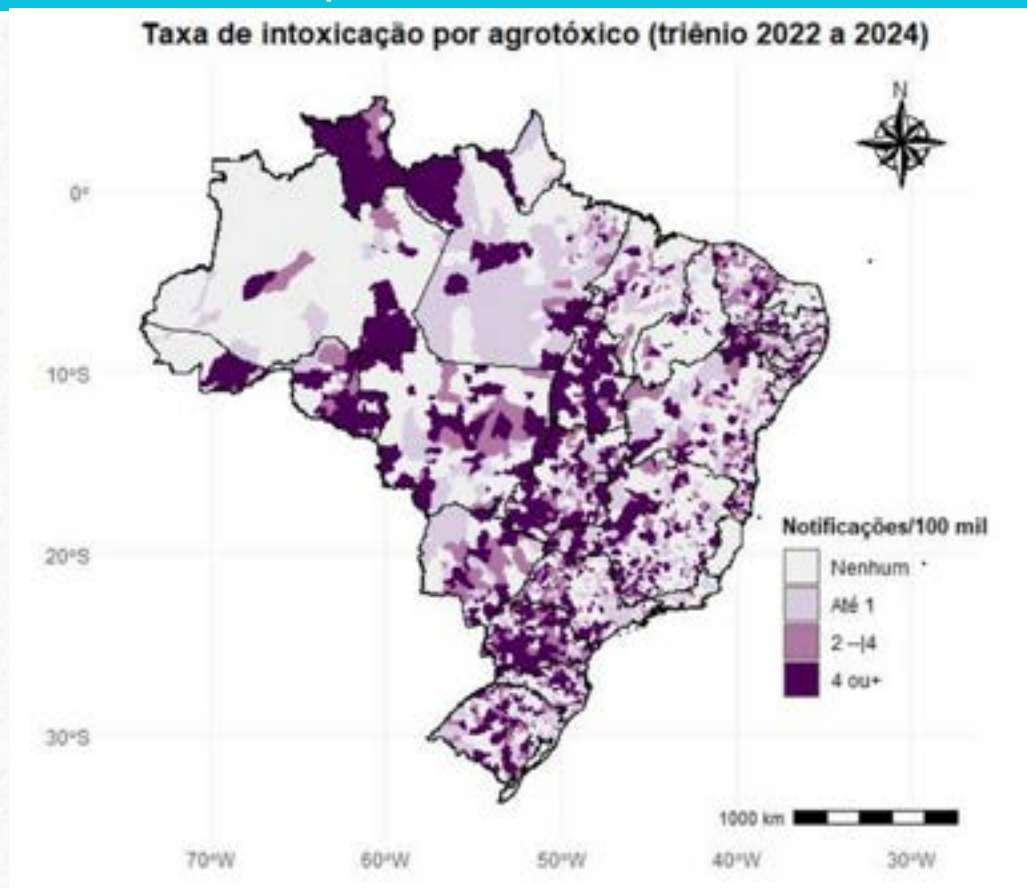
Em relação a degradação e contaminação dos solos, vale mencionar que a exposição a contaminantes ambientais, como metais, hidrocarbonetos, agrotóxicos, dependendo da concentração pode ser um fator de risco que contribui tanto para intoxicações agudas quanto para o desenvolvimento de doenças crônicas. Esses produtos químicos podem atingir os humanos e animais por diferentes vias: dérmica, sobretudo entre trabalhadores rurais sem a devida proteção; inalatória, durante e após a aplicação dos produtos; e oral, por meio da ingestão de água e alimentos contaminados. No Brasil, o volume crescente de agrotóxicos utilizados na

agricultura é acompanhado por registros de intoxicação exógena no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), afetando de forma desproporcional comunidades rurais, trabalhadores agrícolas e populações vulneráveis expostas. Na agricultura nacional, predominam compostos organoclorados, organofosforados, carbamatos — que inibem enzimas fundamentais ao sistema nervoso —, e piretroides, inseticidas sintéticos derivados de princípios ativos naturais. Entre 2010 e 2019, foram notificados 3.750 casos de intoxicação por agrotóxicos em crianças de 0 a 14 anos, incluindo 542 bebês menores de 12 meses.

Estudos sugerem que adolescentes de 10 a 11 anos são mais suscetíveis aos efeitos da exposição do que os de 12 a 18 anos em uma mesma localidade. Os ambientes, os animais, as crianças e os trabalhadores são os mais afetados, predominantemente, em zonas rurais, onde os agrotóxicos são utilizados em larga escala (Bombardi, 2021). A exposição contínua pode gerar tanto efeitos agudos, como náuseas, vômitos, cefaleia, convulsões e, em casos graves, óbito. Os efeitos crônicos estão relacionados ao desenvolvimento de neoplasias, distúrbios endócrinos, neurológicos e reprodutivos, além de

impactos no neurodesenvolvimento infantil (Zhou, Li & Achal, 2025). Nesse sentido, a distribuição geográfica das taxas de intoxicação por agrotóxicos por 100 mil habitantes no triênio de 2022 a 2024 é apresentada na figura 10.6. O padrão espacial é heterogêneo, com maiores taxas na região Centro-Oeste, Sul e Sudoeste dos estados de Minas Gerais e São Paulo. Os ODS 2, 10, 12 e 15 abordam de forma direta ou indireta o consumo, a segurança alimentar e a agricultura sustentável. Porém, o agronegócio no Brasil ainda está distante dos ODS.

Figura 10.6 - Distribuição das taxas de intoxicação exógena por agrotóxicos por 100 mil habitantes no Brasil para o triênio 2022 a 2024



Fonte: produzida pelos autores a partir dos dados do Sistema de Informações de Agravos de Notificação – Intoxicação Exógena.

Exposições ambientais crônicas e riscos à saúde em áreas urbanas e costeiras

As doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) tornaram-se um dos principais desafios para a saúde pública no Brasil e no mundo, destacando-se como uma das principais causas de morte prematura antes dos 70 anos (Sung et al., 2021). Trata-se de

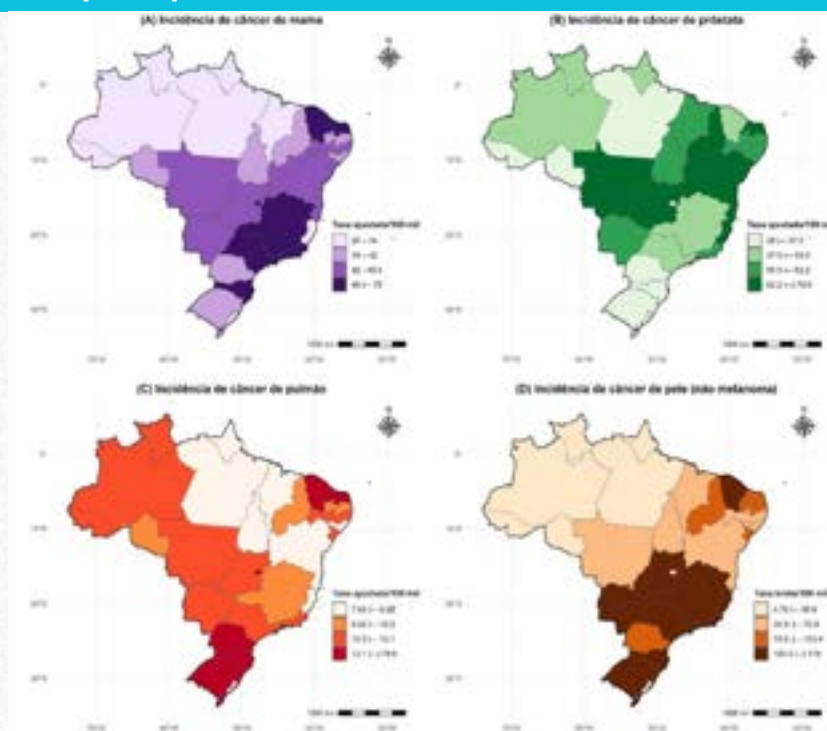
uma doença crônica e multifatorial, com cerca de 80% dos casos associados a fatores ambientais, ocupacionais e comportamentais, e apenas 20% a causas genéticas ou hereditárias (Breilh, 2013; INCA, 2013). Nesse contexto, o aumento da exposição a agentes químicos carcinogênicos, somado às mudanças nos padrões de vida e ao

agravamento de condições socioambientais, podem ter contribuído para o crescimento das taxas de incidência e mortalidade dessas enfermidades. A Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC, do inglês International Agency for Research on Cancer) classifica como produtos potencialmente cancerígenos uma série de produtos químicos, incluindo alguns agrotóxicos, benzeno, radiação ionizante, amianto, sílica, metais como arsênio, cádmio, cromo VI, níquel, poeiras químicas, entre outros.

A figura 10.7 ilustra o panorama a distribuição espacial da incidência (casos novos) de quatro tipos principais de câncer no Brasil: a saber: mama, próstata, pulmão e pele não melanoma. De acordo com as estatísticas apresentadas para o triênio 2023-2025, são esperados 704 mil casos novos de câncer, com o câncer de mama feminina e o de próstata destacando-se como os mais incidentes (Santos et al., 2023). Na figura 10.7, observa-se maior incidência de câncer de mama (A) na região Sudeste e de próstata (B) na região Centro-Oeste e Nordeste. A região Sul apresentou as maiores incidências para o câncer de pulmão (C) e de pele não melanoma (D).

Embora os dados sejam apresentados por região, os padrões de incidência podem indicar possíveis contribuições de fatores de risco ambientais. O câncer de pele não melanoma está fortemente relacionada à exposição à radiação ultravioleta e são frequentemente observados em indivíduos do sexo masculino, brancos e com relato de exposição solar repetitiva, tanto na forma recreativa quanto profissional, como em pescadores (INCA, 2021, 2022). No caso do câncer de pulmão, o tabagismo e a exposição passiva ao tabaco são os principais fatores de risco, mas outros fatores como exposição ambiental a metais (arsênio, cádmio, cromo hexavalente, arsênio, berílio, níquel), poluentes atmosféricos e poeiras (amianto, sílica, poeira de couro e de madeira) podem ter um papel importante com fator de risco (INCA, 2021, 2022). Já os cânceres de mama e próstata, embora influenciados por fatores genéticos e comportamentais, também apresentam vínculos com exposições hormonais, contaminantes ambientais e condições laborais adversas (INCA, 2021, 2022). Os ODS 3 e 10 asseguram uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, se houver a redução das desigualdade dentro dos países.

Figura 10.7 - Estimativas das taxas ajustada de incidência de câncer por 100 mil habitantes para os principais cânceres



Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados do Instituto Nacional do Câncer, 2025. Disponível em <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/numeros/estimativa>.

As cidades costeiras brasileiras desempenham um papel central no desenvolvimento socioeconômico do país, abrigando mais da metade da população nacional em uma faixa de até 150 quilômetros da costa. São aproximadamente 111,28 milhões de pessoas que vivem nessa região, o que representa cerca de 55% da população brasileira (IBGE, 2022). Esse adensamento populacional, aliado à expansão urbana acelerada, exerce intensa pressão sobre os ecossistemas costeiros, que prestam serviços ambientais essenciais, como regulação do clima, controle da erosão, provisão de recursos hídricos e suporte à biodiversidade (Araújo et al., 2021). Comunidades tradicionais, como as pesqueiras, enfrentam a redução da produtividade e a contaminação das áreas de pesca, afetando diretamente sua segurança alimentar e meios de subsistência (Andrews et al., 2022).

A intensificação das mudanças climáticas projeta um cenário ainda mais crítico para essas regiões, com o agravamento de eventos como enchentes, erosão, perda de infraestrutura urbana e declínio dos serviços ecossistêmicos (IPCC, 2021). Cidades com instalações portuárias e urbanização acelerada são particularmente vulneráveis, devido à perda da resiliência ambiental e à interação com fatores socioeconômicos, como a desigualdade social e a baixa capacidade adaptativa. No Brasil, 279 municípios costeiros estão expostos a riscos associados à elevação do nível do mar (SLR) e à intensificação da frequência e

severidade de tempestades (Losada et al., 2020). Esse processo, quando combinado à expansão urbana desordenada e à degradação dos ecossistemas costeiros, compromete a capacidade natural de amortecimento dos impactos ambientais e agrava os riscos de perdas econômicas, sociais e ecológicas.

A ocorrência do derramamento de óleo em 2019, considerado o maior desastre ambiental desse tipo no Brasil, evidenciou a vulnerabilidade das cidades costeiras frente a eventos socioambientais extremos. Com mais de 3.000 km de litoral atingidos, o desastre comprometeu a economia local, a saúde das populações, o turismo e os serviços ecossistêmicos costeiros da região Nordeste (Araújo et al., 2020, Magalhães et al., 2022, Ferreira et al., 2022). Os pescadores artesanais, marisqueiras e vendedores ambulantes foram os mais impactados, com perdas de até 73% na renda (Ferreira et al. 2022). Voluntários envolvidos na limpeza relataram sintomas em relação a exposição por óleo, configurando uma emergência em saúde pública. A ausência de registros econômicos formais e a falta de articulação institucional dificultaram a compensação e evidenciaram fragilidades na gestão de riscos e na formulação de políticas para a resiliência costeira. Os ODS 3, 6, 10, 11, 13, 14 precisam ser direcionados para a recuperação da natureza, de modo que essas áreas se tornem mais inclusivas, mais resilientes e promotoras de bem estar humano.

Figura 10.8 - Efeitos da desestruturação urbana e pressões antrópicas sobre a saúde



Fonte: elaborada pelos autores.

Impactos sobre a Saúde decorrentes das pressões antropogênicas e mudanças climáticas com ênfase na Amazônia

A Floresta Amazônica cobre uma área de aproximadamente 6,7 milhões de km² na América do Sul; quase 60% estão no Brasil, e o restante é compartilhado entre outros oito países. Abrange uma população de 29,796 milhões de habitantes, distribuídos em 772 municípios na Amazônia Legal (IBGE, 2023). Um terço dessa população

está concentrada nas nove capitais e nas regiões metropolitanas de Belém e Manaus. A população indígena na Amazônia Legal é de aproximadamente 868 mil pessoas, representando 3,3% do total da população da região. No entanto, é importante ressaltar que a maior parte dos indígenas do país reside na Amazônia Legal (IBGE, 2023).

Essa vasta extensão de floresta tropical é um ecossistema globalmente significativo que fornece inúmeros serviços ecossistêmicos que beneficiam a humanidade, incluindo a regulação climática, conservação da biodiversidade e a estabilidade hidrológica. No entanto, as forças motrizes como demanda do mercado global, impulsionam atividades como o desmatamento, expansão agrícola e pecuária, atividades ilegais como extração de madeira, garimpo de ouro e outros minerais, desenvolvimento de projetos de infraestrutura, pressões socioeconômicas e a degradação florestal são cenários que desafiam a qualidade de vida e a situação de saúde da população da Amazônia legal (Leal Filho, et al, 2025).

Figura 10.9 – Amazônia Legal



Fonte: Fatos da Amazônia, 2021. Disponível em: <https://amazonia2030.org.br/fatos-da-amazonia-2021/>.

Na Amazônia brasileira, boa parte da riqueza sociocultural está associada à sua ocupação, incluindo as mais de 300 etnias, cada uma com cultura, língua e território distintos, que se sustentam com os produtos florestais, dependendo dos serviços

ecossistêmicos para sua sobrevivência. Há também 113 grupos isolados ou em “isolamento voluntário” contabilizados pela Fundação Nacional dos Povos Indígenas (Funai), totalmente dependentes da floresta para sua subsistência e sobrevivência (TNC,

2023). A região amazônica brasileira enfrenta uma carga significativa de doenças infecciosas, por exemplo, cerca de 99% dos casos de malária no país (Castro et al, 2019). A combinação de desmatamento, mudanças climáticas, urbanização precária e desigualdades no acesso à serviços de saúde contribui para a persistência e agravamento dessas enfermidades.

Este rico ambiente natural e sociocultural contrasta com as condições de vida dos amazônicos brasileiros: A expectativa de vida varia entre as regiões do Brasil, sendo maior no Sul e menor na região Norte, no bioma Amazônico. O percentual de pobres varia entre os estados da região da Amazônia Legal, em 2023 o percentual de pobreza na região foi de 39%, similar a região Nordeste e superior ao restante do país. Acre é o estado com maior índice de pobreza da região, com 51,5% da população com renda abaixo da linha de pobreza (Amazonia 2030). Os impactos negativos das condições ambientais sobre a saúde ocorrem por meio de condições precárias na produção de alimentos, migração, instabilidade econômica, desigualdades sociais, deficiente acesso a serviços básicos, como transporte, educação, infraestrutura de saúde pública, entre outros.

O fortalecimento da atenção primária é essencial, dada a redução substancial da carga de doenças que pode proporcionar, bem como a redução em custos e recursos de saúde. As parcerias intersetoriais são cruciais para abordar os determinantes socioambientais da saúde, incluindo os setores de energia, indústria, agricultura, educação, transporte, desenvolvimento regional e o setor saúde. A integração de ações entre esses setores produz Co-benefícios e reduções de custos que podem ser convertidos em melhoria das condições de vida das populações. Os impactos das alterações climáticas aumentam de forma significativa a demanda dos serviços da atenção básica em saúde, que precisa estar capacitada e instrumentalizada para ações proativas, no sentido de mitigar esses impactos.

Quase todas as doenças são influenciadas por ambientes insalubres, sendo as doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) – incluindo doenças cardíacas, metabólicas, respiratórias crônicas, renais e cânceres – as mais afetadas. A poluição do ar, por si só, é responsável por milhares dessas mortes a cada ano. As doenças infecciosas também são significativamente impactadas, com patógenos transmitidos pela água, inexistência de saneamento e higiene insalubres, e o aumento de zoonoses decorrentes das alterações dos ecossistemas. Além disso, a resistência antimicrobiana representa uma ameaça crescente, especialmente quando as águas residuais e os resíduos sólidos não são gerenciados de forma adequada (OPAS, 2025).

As mudanças climáticas estão exacerbando os riscos à saúde, aumentando a frequência e a gravidade de eventos climáticos extremos, incluindo ondas de calor mortais e extensas áreas de inundação. A mudança na distribuição de vetores de doenças sensíveis ao clima está criando padrões de doenças infecciosas (Ellwanger et al, 2020, Winck et al, 2022). As mudanças climáticas afetam a produção de alimentos e a migração, agravando ainda mais as ameaças à saúde.

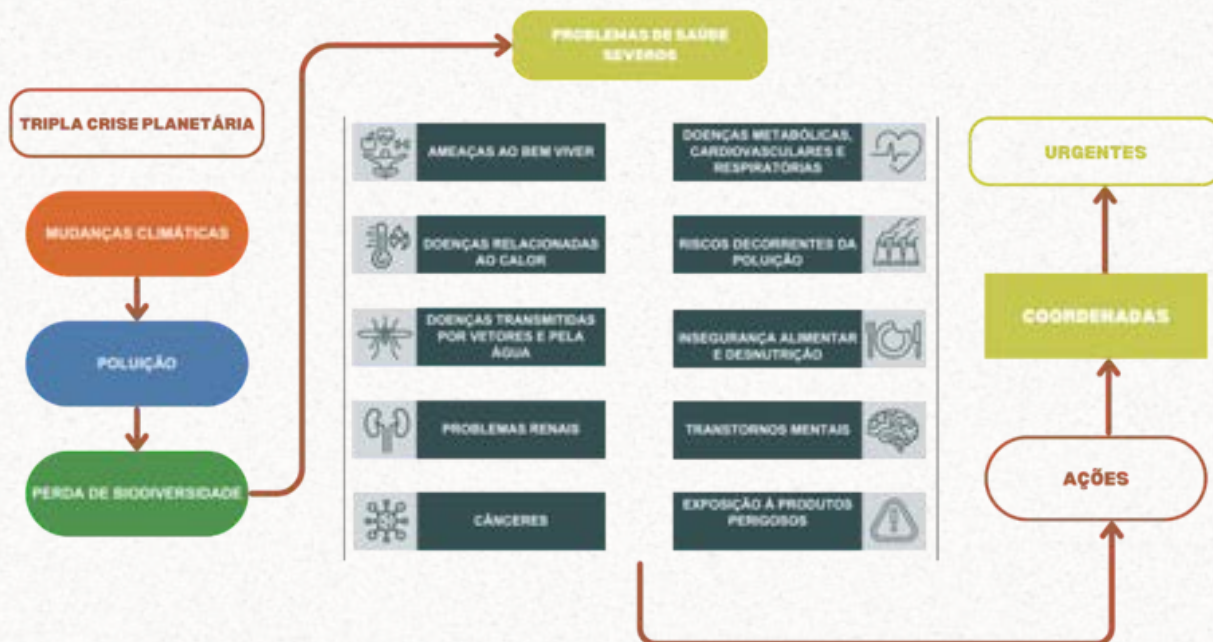
Impactos das mudanças ambientais sobre as doenças crônicas não transmissíveis

Mudanças climáticas, perda de biodiversidade, poluição, desmatamento e a degradação socioambiental contribuem para severos problemas de saúde. Aqui, destacamos alguns deles: ameaças ao bem viver; doenças metabólicas, cardiovasculares, respiratórias; doenças relacionadas ao calor; doenças transmitidas por vetores e pela água;

insegurança alimentar, desnutrição e ameaças à soberania alimentar; problemas de saúde renal e mental; e riscos à saúde decorrentes da exposição a poluição, incluindo produtos perigosos. Esses

problemas de saúde destacam a profunda conexão entre degradação ecológica e saúde pública e ressaltam a necessidade de ações urgentes e coordenadas.

Figura 10.10 - Fluxograma sobre impactos da tripla crise planetária associados à saúde.



Fonte: elaborado pelos autores.

As doenças crônicas não transmissíveis DCNTs (por exemplo, doenças cardiovasculares, diabetes, doenças renais, respiratórias crônicas, cânceres, transtornos de saúde mental) são as principais causas de morte no Brasil, respondendo por 74% de todas as mortes no país. Entre 2010 e 2021, os transtornos cardiovasculares foram a principal causa de morte na Amazônia, respondendo por 23% de todas as mortes. As condições respiratórias e as causas externas foram responsáveis por 9% e 16% das mortes, respectivamente (Silveira et al, 2020). Possivelmente, as DCNTs na região Amazônica são subestimadas, em decorrência do isolamento geográfico e o acesso limitado aos serviços de saúde. Os efeitos das elevadas temperaturas e das ondas de calor afetam particularmente os grupos vulneráveis: os idosos, doentes crônicos, gestantes e crianças menores de 5 anos (Silveira et al., 2023; Monteiro dos Santos et al., 2024), e podem exacerbar problemas cardiovasculares em indivíduos com fatores de risco importantes como

hipertensão, diabetes, hipercolesterolemia entre outros, sendo mais crítico para as populações indígenas e populações tradicionais pelas dificuldades de mobilidade e acesso a serviços de saúde.

As ondas de calor na Amazônia têm um impacto significativo na saúde pública, especialmente nas condições metabólicas e nas doenças cardiovasculares como cardiopatia isquêmica, acidente vascular cerebral, insuficiência cardíaca, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e Doença Renal Crônica (DRC). Essas condições, como a cardiopatia isquêmica, o acidente vascular cerebral (AVC) e a insuficiência cardíaca, podem ser agravados pelos efeitos diretos de calor extremo (Romero et al 2022).

As altas temperaturas estressam o sistema cardiovascular, podendo levar a desidratação, desequilíbrios eletrolíticos e aumento da pressão arterial. Em geral, essa exposição aumenta a frequência cardíaca e respiratória, a desidratação, a viscosidade do sangue e a pressão arterial, sobrecarregando o sistema

circulatório e o pulmonar. Assim, as ondas de calor prolongadas agravam o estresse cardiovascular, amplificam os poluentes atmosféricos e pioram as condições respiratórias e cardiovasculares. As projeções futuras para as capitais amazônicas indicam que até 2100 a degradação extrema da Amazônia poderá expor mais de 11 milhões de pessoas ao estresse térmico (Palmeiro-Silva et al. 2023).

Câncer de pele e catarata relacionados à radiação ultravioleta (UV) são relatados em comunidades ribeirinhas, com lacunas significativas de pesquisa sobre exposição à radiação UV e efeitos à saúde na Amazônia. O monitoramento da radiação UV também é crucial devido ao seu impacto na saúde e nos ecossistemas. Doenças relacionadas a UV são amplamente preveníveis com proteção solar adequada, mas comunidades Indígenas, ribeirinhas podem estar em maior risco (Reis et al, 2023).

A exposição da população amazônica aos efeitos tóxicos da queima de biomassa resultante dos incêndios florestais na região é um importante fator de risco para os grupos populacionais que já enfrentam doenças cardiovasculares e respiratórias (Malta et al, 2023; Oliveira et al, 2023). Durante a estação seca, os níveis de poluentes como o PM_{2,5}, chegam a concentrações de 500 µg/m³ muitas vezes excedendo os limites da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021).

Nos últimos anos, as ondas de calor têm ocorrido com maior frequência na Amazônia, resultando em um período de queimadas intensas que se estende de março a dezembro (Aragao et al, 2018; De Moura et al, 2024,) dependendo das variações na precipitação (Marlier; Bonilla e Mickley 2020). A maioria dos incêndios florestais é antropogênica, geralmente para obtenção de terras para agricultura e pecuária. O desmatamento na Amazônia aumentou significativamente entre 2013 e 2019. Em 2013, a área desmatada foi de 1.144 km², enquanto em 2019, atingiu 6.200 km². Isso representa um aumento de aproximadamente 5.056 km² ou 442% (Imazon, 2023). Em 2019, a poluição do ar decorrente de incêndios florestais causou

3.400 mortes e geraram custos de R\$ 5,64 milhões em hospitalizações (Butt, Coniber Spracklen 2021). Em 2020 e 2021, diversos incêndios florestais devastaram mais de 3,8 milhões de hectares com impactos imprevisíveis na biodiversidade, nos serviços ecológicos e na saúde humana no bioma Pantanal, parte da Amazônia legal brasileira, com a morte de 17 milhões de animais (Berlinck et al, 2021). A poluição atmosférica causada por incêndios florestais está associada ao aumento de internações hospitalares por problemas respiratórios, especialmente entre crianças e idosos, devido à falta de resiliência fisiológica (Rocha & Sant'Ana, 2022). A deposição do MP 2.5 oriunda de incêndios florestais afeta a qualidade e o sabor da água dos rios e lagos da Amazônia (Comunicação pessoal do povo indígena Wauja, 2024). A exposição da população da Amazonia ao MP2.5 está associado a um aumento de 38% nas admissões respiratórias e um aumento de 27% nas admissões em hospitais por problemas cardiovasculares (Tiotiu, et al 2020). Poluentes atmosféricos e incêndios florestais estão associados ao incremento de asma, DPOC, câncer de pulmão, tumores cerebrais, sufocamento, queimaduras e eventos cerebrovasculares (Korsiak et al, 2022; Kilick, Kaufman & Sack, 2023).

Perspectivas e conclusões

A saúde ambiental evoluiu nos últimos anos, à medida que a sociedade, cientistas tomadores de decisão procuravam melhorar a compreensão da conectividade entre a saúde humana e a integridade ecológica, com uma abordagem holística dos impactos da degradação ambiental sobre a saúde humana. Na atualidade percebemos que são necessários novos paradigmas e parcerias para enfrentar os complexos desafios da saúde pública e da saúde ambiental. Tradicionalmente, o campo da saúde pública desenvolveu um modelo prático da relação entre saúde e doença que considera a suscetibilidade genética, a biologia e os

comportamentos na determinação da saúde. Estas características podem interagir e convergir para resultar em doença. A saúde ambiental baseia-se neste modelo, identificando os fatores de risco que podem interagir com as características deste modelo primário.

Nos últimos anos, a integração da saúde humana, animal e ambiental foi evidenciada pela pandemia da Covid-19, apresentando desafios e oportunidades inerentes a esta abordagem mais ampla para o avanço da área da saúde. Todas as regiões do país enfrentam desafios urgentes, representando a tríplice crise socioambiental impulsionados por mudanças climáticas, desmatamento, perda de biodiversidade, precário serviço de saneamento básico, contaminação biológica e química de áreas urbanas e periurbanas, incluindo áreas costeiras, poluição do ar, solo, água e alimentos, degradação ambiental e pressões socioeconômicas que geram impactos diretos e indiretos. Este cenário do país compromete o avanço institucional do setor saúde, principalmente em relação aos programas de vigilância epidemiológica, ambiental e sanitária e consequentemente da gestão da informação em saúde ao nível nacional, estadual e municipal. Assim como no cumprimento dos objetivos e metas referentes aos indicadores do desenvolvimento sustentável no enfrentamento dos desafios como a pobreza, desigualdade e mudança climática.

O capítulo da saúde no contexto do GEO 2025 apresenta como perspectiva e conclusões:

* As mudanças climáticas representam um risco crescente para o equilíbrio dos ecossistemas regionais e globais, assim como para a diversidade da vida na Terra. Seus impactos estendem-se por uma variedade de sistemas naturais, afetando desde as regiões polares até as florestas tropicais, e suas consequências são profundas, desde processos de perda de biodiversidade, alterações na distribuição geográfica das espécies, desertificação e degradação dos solos até o aumento da acidificação e temperatura dos oceanos, entre outras;

* As informações socioambientais nos últimos 5 anos, com destaque para as mudanças climáticas, registradas pelas mídias têm recebido maior transparência, percepção e compreensão por parte da sociedade. Os impactos do aquecimento global sobre a saúde humana, necessitam ser amplificados pelos movimentos sociais e políticos e expandidos ao setor privado. É necessário apresentar informações objetivas e de fácil entendimento com uso de infográficos para ajudar na percepção da gravidade dos problemas socioambientais;

* Reconhecer os impactos negativos da ação humana sobre o meio ambiente, bem como os riscos e impactos sobre a saúde da população, é fundamental para a implementação de políticas públicas e privadas eficazes, que promovam a equidade e a justiça social. Ignorar essa realidade coloca em risco o bem-estar das futuras gerações e a própria sustentabilidade do planeta;

* A abordagem metodológica DPSIR não contempla a exposição humana, que é de fundamental importância para avaliação dos impactos ambientais sobre a saúde humana. A inclusão da exposição contribui para sistematizar evidências e fortalecer a governança intersetorial;

* Os problemas ambientais, na sua maioria, não se contextualizam somente por variáveis ambientais (física, geográfica, biológica e/ou química), mas também pelo entendimento da estrutura socioeconômica, da dinâmica e estrutura do sistema ambiental e seus atributos socioambientais. O nexo causal da relação entre o impacto ambiental e os efeitos à saúde humana tampouco se apresenta de forma direta. O entendimento da complexidade na relação saúde e ambiente, necessita de investigação, porque nem sempre as instituições de saúde e/ou ambiente tem profissionais capacitados para o desenvolvimento de modelos estatísticos convencionais e espaciais;

* A abordagem participativa parte integrante da metodologia DPSIR deverá realizar oficinas com a participação dos atores sociais locais e mobilizá-los para ações voltadas a conservação, proteção e promoção de ambientes saudáveis e ao bem-estar social;

* A abordagem metodológica DPSIER precisa contemplar a participação dos atores sociais locais, como associações comunitárias, centros de saúde, programa de estratégia de saúde da família, lideranças comunitárias, professores, e desenvolver uma cooperação multinível de governança, partindo do local para o global e a resolução de temas críticos, obstáculos a serem superados e prioridades a serem enfrentadas;

* Considerando os biomas e regiões do país, assim como as forças motrizes impulsionadoras direta e indireta das atividades antropogênicas, chama atenção a conectividade entre degradação ecológica e saúde pública, e a necessidade urgente e coordenada de melhoria dos serviços de saúde para que as comunidades mais excluídas e pobres do país, como os ribeirinhos, indígenas, quilombolas tenham acesso a serviços de saúde e a serviços básicos;

* A precariedade do saneamento básico está presente em todas as regiões do país, mas as variações espaciais e temporais na distribuição da mortalidade em menores de cinco anos de idade decorrente da doença diarreica aguda são mais expressivas nas regiões norte e nordeste. Essas regiões deveriam receber prioridade em relação a urgente necessidade de implementação de saneamento básico;

* No Brasil, sob a influência do fenômeno *El Niño* 2023/2024, observou-se a intensificação dos impactos sinérgicos de secas, ondas de calor e queimadas, com impactos diretos sobre a saúde da população e a qualidade do ar. Estima-se que 326.478 mortes ocorreram no Brasil por causas atribuíveis à poluição do ar entre 2019 e 2021, evidenciando um problema de saúde pública que atinge tantas áreas urbanas quanto rurais. Estudos evidenciam que mais de 8 mil mortes por ano, só na cidade de São Paulo, poderiam ser evitadas, se os limites da OMS fossem cumpridos. Vale destacar que crianças e idosos foram os mais acometidos pelas doenças respiratórias, como bronquiolite, asma, pneumonia, alergias e DPOC nos idosos;

* Os incêndios florestais ocorridos na Amazonia e no Pantanal foram amplificados, carreando nuvens de fumaça até a Região Metropolitana de São Paulo, contribuindo para internações por doenças respiratórias, agravamento de casos de COVID-19. Esses eventos revelam como alterações ambientais em regiões remotas podem amplificar riscos em centros urbanos, reforçando a necessidade de políticas públicas que integrem justiça climática, saúde ambiental, saúde pública e planejamento urbano;

* No Brasil, os eventos extremos como inundações, alagamentos e tempestades em diferentes regiões têm evidenciado impactos graves sobre a saúde, principalmente de populações pobres, em situação de vulnerabilidade severa, como ocorreu no Rio Grande do Sul, com elevada incidência de doenças infecciosas como leptospirose, diarreia aguda e hepatites A e E, principalmente em áreas com saneamento precário. Este cenário evidencia a urgência da implantação de saneamento básico no País, para que as regiões mais críticas possam implementar projetos de mitigação e adaptação as mudanças climáticas;

* Os impactos à saúde decorrentes de eventos extremos como ondas de calor, secas intensas, hidrológicos, como enchentes, não se limitam a desfechos infecciosos imediatos, mas podem se prolongar por semanas ou até meses após a exposição. Evidências demonstram que os riscos de hospitalização permanecem elevados por até 210 dias após inundações, afetando não apenas doenças infecciosas, mas também desfechos crônicos e não transmissíveis, como condições cardiovasculares, respiratórias e digestivas. Esses efeitos evidenciam a natureza crônica dos danos à saúde pública provocados por desastres climáticos, exigindo estratégias de vigilância e resposta que ultrapassem o período agudo do evento e considerem suas repercussões a médio e longo prazo, especialmente em populações mais vulneráveis;

* No Brasil, a ocorrência do derramamento de óleo em 2019, considerado o maior desastre ambiental por contaminação de hidrocarbonetos, evidenciou a vulnerabilidade das áreas costeiras frente a eventos

socioambientais extremos. Com mais de 3.000 km de litoral atingidos, o desastre comprometeu a economia local e regional, a saúde das populações e os ecossistemas costeiros da região Nordeste. Os pescadores artesanais, marisqueiras e vendedores ambulantes foram os mais impactados, com perdas de até 73% na renda. Voluntários e trabalhadores da limpeza de praias, relataram sintomas relacionados a exposição ao óleo, configurando uma emergência em saúde pública. A região evidenciou falta de experiência, habilidade, articulação institucional e fragilidades na gestão de riscos e na formulação de políticas para a resiliência costeira;

* Povos Indígenas e Comunidades Locais (PICL) também são vulneráveis a secas, inundações, incêndios florestais, insegurança alimentar e poluição, enfrentando altas taxas de desnutrição, diarreias agudas, problemas respiratórios, dores musculares. A escassez e a má qualidade das águas representam desafios significativos em regiões vulneráveis, incluindo comunidades afrodescendentes, quilombolas e comunidades Indígenas. Além disso, indivíduos com doenças crônicas não transmissíveis (DNTs) preexistentes, particularmente crianças e idosos, correm maior risco à exposição à poluição do ar e das águas, bem como a ondas de calor;

* Os sistemas de saúde apresentam desafios e colapsos sistêmicos: a região amazônica apresenta infraestrutura de saúde limitado, acesso precário às questões básicas (água limpa, gestão adequada de resíduos sólidos e tratamento de águas residuais) e fragilidades governamentais, dificultando o enfrentamento eficaz dos impactos da degradação ambiental e das mudanças climáticas sobre a saúde;

* A Amazônia está cada vez mais vulnerável a doenças infecciosas emergentes (DIE) e reemergentes, decorrente da degradação ambiental, desmatamento, perda de biodiversidade e comércio ilegal de animais silvestres. Esses fatores aproximam os humanos dos vetores de doenças da vida selvagem, aumentando o risco de transmissão de doenças zoonóticas. As alterações dos ecossistemas não apenas ameaçam as espécies e seus nichos ecológicos, mas também acelera a disseminação de patógenos, representando riscos significativos à saúde local, regional e global. Práticas de conservação, restauração e tecnologias inovadoras são urgentemente necessárias para abordar essa crescente preocupação com a saúde planetária.

Referências

Aguiar, P. C. B. de, Passos, H. D. B., Pires, M. de M., & Gomes, A. da S. (2023). Urbanização e desenvolvimento sustentável: Um panorama dos estados brasileiros. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, 27, e73970, 1–31.

Andrews, N., Bennett, N. J., Le Billon, P., Green, S. J., Cisneros-Montemayor, A. M., Amongin, S., Gray, N. J., & Sumaila, U. R. (2021). Oil, fisheries and coastal communities: A review of impacts on the environment, livelihoods, space and governance. **Energy Research & Social Science**, 75, 102009. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102009>

Aragão, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat. Commun.* 9, 536 (2018).

Araújo ME, Ramalho CWN, Melo PW. Artisanal fishers, consumers and the environment: immediate consequences of the oil spill in Pernambuco, Northeast Brazil. *Cad Saude Publica*. 2020 Jan 20;36(1):e00230319.

Araujo, A. C. P. de S., Santos, D. S. dos, Lins-de-Barros, F., & Hacon, S. de S. (2021). Linking ecosystem services and human health in coastal urban planning by DPSIR framework. **Ocean & Coastal Management**, 210, 105728.

Atlas da Justiça Climática na América Latina e Caribe / Enara Echart Muñoz ... [et al.]; Editado por Enara Echart Muñoz, Lara Sartorio, Rubens de S. Duarte, Breno Bringel, Carlos R. S. Milani e Caio Samuel Milagres - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : CLACSO; Madrid: Observatorio de Geopolítica y Transiciones Ecosociales - GeoEcos; Rio de Janeiro : Observatório Interdisciplinar das Mudanças Climáticas, 2025. 218 p.; ISBN 978-631-308-106-6

- Barboza, E. P., Nieuwenhuijsen, M., Ambròs, A., Sá, T. H., & Mueller, N. (2022). The impact of urban environmental exposures on health: An assessment of the attributable mortality burden in São Paulo city, Brazil. **Science of the Total Environment**, 831, 154836
- Barcellos, C., Barata, R. B., & Paim, J. S. (2009). **Vulnerabilidade social e risco ambiental: uma abordagem metodológica para avaliação de injustiça ambiental**. Cadernos de Saúde Pública, 25(4), 735–744. <https://www.researchgate.net/publication/250027160>
- Barcellos, C., Matos, V., Lana, R.M. et al. Climate change, thermal anomalies, and the recent progression of dengue in Brazil. **Sci Rep** 14, 5948 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56044-y>
- Barreto, M. L., Barral-Netto, M., Stabeli, R., Almeida-Filho, N., Vasconcelos, P. F. C., Teixeira, M., Buss, P., & Gadelha, P. E. (2016). Zika virus and microcephaly in Brazil: A scientific agenda. **The Lancet**, 387(10022), 919–921. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00581-6)
- Berlinck, C. N. et al. The Pantanal is on fire and only a sustainable agenda can save the largest wetland in the world. **Braz. J. Biol.** 82, e244200 (2021).
- Bimbaridi, L.M. Geography of Asymmetry: the vicious cycle of pesticides and colonialism in the commercial relationship between Mercosur and the European Union. Belgique: The Left in the European Parliament; 2021.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2017). **Política Nacional de Atenção Básica: Portaria nº 2.436, de 21 de setembro de 2017**. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prt2436_22_09_2017.html
- Brasil. Ministério da Saúde. **Leptospirose: situação epidemiológica**. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude-recebe-mais-529-mil-doses-de-vacinas-covid-19-da-pfizer/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/l/leptospirose/situacao-epidemiologica>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- Brasil. Ministério da Saúde. **Monitoramento das arboviroses**. Governo do Brasil. Acesso em 4 de junho de 2025: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/aedes-aegypti/monitoramento-das-arboviroses>
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas.html>. Acesso em: 25 maio 2025.
- Brasil. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente, Ministério da Saúde. Poluição do ar e sua saúde. <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/infograficos/poluicao-do-ar-e-sua-saude.png> (accessed on 25/Dec/2024). <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/infograficos/poluicao-do-ar-e-sua-saude.png/view>
- Breilh, J. (2013). La determinación social de la salud como herramienta de transformación hacia una nueva salud pública (salud colectiva). **Revista Facultad Nacional de Salud Pública**, 31(Supl 1), S13–S27.
- Butt, E. W., Conibear, L., Knotte, C. & Spracklen, D. V. Large Air Quality and Public Health Impacts due to Amazonian Deforestation Fires in 2019. **GeoHealth** 5, (2021)
- Castro MC, Baeza A, Codec, o CT, Cucunuba ´ ZM, Dal’Asta AP, De Leo GA, et al. (2019) Development, environmental degradation, and disease spread in the Brazilian Amazon. **PLoS Biol** 17(11): e3000526. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000526>
- Confederação Nacional de Municípios (CNM). **Panorama dos desastres no Brasil: 2013 a 2023**. Brasília: CNM, 2024. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos_tecnicos/202405_ET_Panorama_Desastres_Brasil_2013_a_2023.pdf. Acesso em: 1 jun. 2025.
- de Moura, F. R. et al. In the line of fire: Analyzing burning impacts on air pollution and air quality in an Amazonian city, Brazil. **Atmospheric Pollut. Res.** 15, 102033 (2024).
- Duarte JL, Diaz-Quijano FA, Batista AC, Duarte AF, Melchior LAK, Giatti LL. Variabilidade climática e interações por doenças diarreicas infecciosas em um município da Amazônia Ocidental brasileira. **Ciênc saúde coletiva** [Internet]. 2019 Aug; 24(8):2959–70.
- Ellwanger, J. H. et al. Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. **An. Acad. Bras. Cienc.** 92, e20191375 (2020)

Ferreira, B. M. P., Bonfim, C. V. D., Raposo, I. P. A., Quinamo, T. S., & Campos, L. H. R. D. (2022). Socio-environmental disasters and their impacts: Socioeconomic consequences of the oil spill in the northeast region of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 94, e20210399. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210399>

Gouveia, N., Rodriguez-Hernandez, J. L., Kephart, J. L., Ortigoza, A., Morales Betancourt, R., Texcalac Sangrador, J. L., Rodriguez, D. A., Diez Roux, A. V., Sanchez, B., Yamada, G., & The SALURBAL Group. (2024). Short-term associations between fine particulate air pollution and cardiovascular and respiratory mortality in 337 cities in Latin America. **Science of the Total Environment**, 920, 171073. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171073>

Hacon, S., Rivera, G.A., Rodrigues, Y.E., Viscarra, F.E., Andreazzi, C.S., Winck, G., Galaz, V., Nascimento, N., Sacueana, P., Mena, C.F. (2024). Saúde na Amazônia: Desafios Ambientais, Sociais e Econômicos. Policy Brief. Painel Científico para a Amazônia, Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, Nova Iorque, EUA. Disponível em <https://www.aamazoniaquequeremos.org/pca-publicacoes/doi:10.55161/onfd942>

Haines, A., & Frumkin, H. (2021). **Planetary health: Safeguarding human health and the environment in the Anthropocene**. Cambridge University Press.

Horton R, Lo S. Planetary health: a new science for exceptional action. **Lancet**. 2015 Nov 14;386(10007):1921-1922. doi: 10.1016/S0140-6736(15)61038-8.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico 2022: População residente por situação do domicílio**. Disponível em <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023, 23 de junho). **Censo 2022: 87% da população brasileira vive em áreas urbanas**. Agência de Notícias IBGE. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41901-censo-2022-87-da-populacao-brasileira-vive-em-areas-urbanas>

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon). (2023). **Fatos da Amazônia: Socioeconomia**. <https://imazon.org.br/publicacoes/fatos-da-amazonia-socioeconomia/>

Instituto Nacional de Câncer (INCA). **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios**, Rio de Janeiro: INCA, 2021a. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/publicacoes/livros/ambiente-trabalho-e-cancer-aspectos-epidemiologicos-toxicologicos-e-regulatorios>. Acesso em: 16 set. 2022.

Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). (2013). Diretrizes para a vigilância do câncer relacionado ao trabalho (2ª ed.). Rio de Janeiro: INCA. <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files/media/document/diretrizes-vigilancia-cancer-relacionado-2ed.compressed.pdf>

Instituto Nacional do Câncer (INCA). Câncer. Tipos de câncer. **Câncer de laringe**. Rio de Janeiro: INCA, 2022. Disponível em <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tipos>.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). **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 University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

International Agency for Research on Cancer. (n.d.). **IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans**. World Health Organization. Recuperado em 4 de junho de 2025, de <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans>

Klose, A. K., Wunderling, N., Winkelmann, R., & Donges, J. F. (2021). What do we mean, 'tipping cascade'? **Environmental Research Letters**, 16(12), 125011.

Korsiak, J. et al. Long-term exposure to wildfires and cancer incidence in Canada: a population-based observational cohort study. **Lancet Planet. Health** 6, e400–e409 (2022).

Kulick, E. R., Kaufman, J. D. & Sack, C. Ambient Air Pollution and Stroke: An Updated Review. **Stroke** 54, 882–893 (2023)

Leal Filho, W., Dinis, M. A. P., Canova, M. A., Cataldi, M., da Costa, G. A. S., Enrich-Prast, A., Symeonakis, E., & Brearley, F. Q. (2025). Managing ecosystem services in the Brazilian Amazon: The influence of deforestation and forest degradation in the world's largest rain forest. **Geoscience Letters**, 12, Article 24.

- Lemos, M.F. (2025) Resiliência Climática em Cidades brasileiras. 1 ed -Recife: Edições Saint Exupery, 2025- Relatório de Síntese SIMACLIM. ISBN 978-65-988223-7-8
- Magalhães, K. M., Rosa Filho, J. S., Teixeira, C. E. P., Coelho-Jr, C., Lima, M. C. S., Souza, A. M. C., & Soares, M. O. (2022). Oil and plastic spill: 2021 as another challenging year for marine conservation in the South Atlantic Ocean. **Marine Policy**, 140, 105076
- Malta, D. C. et al. Carga das Doenças Crônicas Não Transmissíveis nos Países de Língua Portuguesa. **Ciênc. Saúde Coletiva** 28, 1549–1562 (2023).
- Marengo JA, Dolif G, Cuartas A, Camarinha P, Gonçalves D, Luiz R, et al.. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. *Estud av [Internet]*. 2024;38(112):203–28.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Cunha, A. P., Zeri, M., Nobre, C. A., & Tomasella, J. (2025). Climatological patterns of heatwaves during winter and spring 2023 and trends for the period 1979–2023 in central South America. **Frontiers in Climate**, 7.
- Mares-Guia Mamm, Horta MA, Romano A, Rodrigues CDS, Mendonça MCL, Dos Santos CC, Torres MC, Araujo ESM, Fabri A, de Souza ER, Ribeiro ROR, Lucena FP, Junior LCA, da Cunha RV, Nogueira RMR, Sequeira PC, de Filippis AMB. 2020. Yellow fever epizootics in non-humans primates, Southeast and Northeast Brazil (2017 and 2018). **Parasite Vectors**. 13(1):90. DOI:10.1186/s13071-020-3966-x.
- Marlier, M. E., Bonilla, E. X. & Mickley, L. J. How Do Brazilian Fires Affect Air Pollution and Public Health? **GeoHealth** 4, e2020GH000331 (2020).
- Marteli AN, Genro LV, Diamant D, Guasselli LA. Análise espacial da leptospirose no Brasil. *Saúde debate [Internet]*. 2020 Jul; 44(126):805–17. Available from: <https://doi.org/10.1590/0103-1104202012616>
- Martins, T. C. de F., Silva, J. H. C. M. da., Máximo, G. da C., & Guimarães, R. M.. (2021). Transição da morbimortalidade no Brasil: um desafio aos 30 anos de SUS. **Ciência & Saúde Coletiva**, 26(10), 4483–4496. <https://doi.org/10.1590/1413-812320212610.10852021>
- Monteiro dos Santos D, Libonati R, Garcia BN, Geirinhas JL, Salvi BB, Lima e Silva E, et al. (2024) Twenty-first-century demographic and social inequalities of heat-related deaths in Brazilian urban areas. **PLoS ONE** 19(1): e0295766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295766>
- Myers SS. Planetary health: protecting human health on a rapidly changing planet. **Lancet**. 2017 Dec 23;390(10114):2860-2868.
- Nações Unidas. (2016, 17 de outubro). Brasil terá 91% da população nas cidades em 2030, diz ONU-Habitat. **ONU News**. <https://news.un.org/pt/story/2016/10/1566241>
- Oliveira, I. N. de ., Oliveira, B. F. A. de ., Silveira, I. H. da ., Machado, L. M. G., Villardi, J. W. R., & Ignotti, E.. (2023). Air pollution from forest burning as environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: an exposure indicator for human health. **Cadernos De Saúde Pública**, 39(6), e00131422
- ONU-Habitat & Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2011). **O estado das cidades no mundo 2010/2011: Unindo o urbano dividido – resumo e principais constatações**. http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100408_cidadesdomundo_portugues.pdf
- Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). (n.d.). **Resistência antimicrobiana. Organização Mundial da Saúde**. Recuperado em 4 de junho de 2025, de <https://www.paho.org/pt/topicos/resistencia-antimicrobiana>
- Organização Pan-Americana da Saúde. **Indicadores de saúde. Elementos conceituais e práticos**. Washington, D.C.: OPAS; 2018.
- Palmeiro-Silva, Y. K. et al. Identifying gaps on health impacts, exposures, and vulnerabilities to climate change on human health and wellbeing in South America: a scoping review. **Lancet Reg. Health – Am**. 26, (2023).
- Pott, C. M., & Estrela, C. C.. (2017). Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, 31(89), 271–283. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>

Prüss-Ustün A, Wolf J, Corvalán C, Bos R, Neira M. (2016b). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Rep., World Health Organ., Geneva. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/204585/9789241565196_eng.pdf

Reis, G. C. G. dos et al. UV index seasonal variability in an Amazonian city of Brazil based on satellite data. **Ciênc. E Nat.** 45, e76670–e76670 (2023).

Reis, G. et al. Solar Ultraviolet Radiation Temporal Variability Analysis from 2-Year of Continuous Observation in an Amazonian City of Brazil. **Atmosphere** 13, 1054 (2022).

Rocha, R. & Sant'Anna, A. A. Winds of fire and smoke: Air pollution and health in the Brazilian Amazon. **World Dev.** 151, (2022)

Romero, L. S., Jacobson, L. da S. V., Castro, H. A. de & Hacon, S. de S. [Heat and burden of diseases: impacts and future projections in capitals of the Legal Amazon.]. **Rev. Esp. Salud Pública** (2022)

Romero, L. S., Jacobson, L. da S. V., Castro, H. A. de & Hacon, S. de S. [Heat and burden of diseases: impacts and future projections in capitals of the Legal Amazon.]. **Rev. Esp. Salud Pública** (2022).

Sachs, J. D. (2015). The age of sustainable development. **Columbia University Press**.

Santos, D. M. dos, Arraut, J. M., Libonati, R., Fonseca, M. G., & Nobre, C. A. (2024). Compound dry-hot-fire events connecting Central and Southeastern South America: An unapparent and deadly ripple effect. **npj Natural Hazards**, 1(32). <https://doi.org/10.1038/s44234-024-00032-3>

Santos, Luise Maria Martins dos. Bases metodológicas para sistema de alerta de redução de óbitos por ondas de calor nas capitais brasileiras. 2023. 74 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2023.

Santos, M. de O., Lima, F. C. da S., Martins, L. F. L., Oliveira, J. F. P., Almeida, L. M. de, & Cancela, M. de C. (2023). Estimativa de incidência de câncer no Brasil, 2023-2025. **Revista Brasileira de Cancerologia**, 69(1), e-213700. <https://doi.org/10.32635/2176-9745.RBC.2023v69n1.3700>

Sicard, P., De Marco, A., Agathokleous, E., Feng, Z., Xu, X., Paoletti, E., ... & Calatayud, V. (2023). Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective. **Science of the Total Environment**, 858, 160064. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160064>

Silveira HI, Cortes TR, Oliveira BFA, Junger WL. Temperature and cardiovascular mortality in Rio de Janeiro, Brazil: effect modification by individual-level and neighbourhood-level factors. **J Epidemiol Community Health**. 2020; 0:1-7.

Silveira, I. H., Cortes, T. R., Bell, M. L., & Junger, W. L. (2023). Effects of heat waves on cardiovascular and respiratory mortality in Rio de Janeiro, Brazil. **PLoS ONE**, 18(3), e0283899. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283899>

Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. **CA Cancer J Clin**. 2021; 71(3):209-49. doi: <https://doi.org/10.3322/caac.21660>

Tegally, H., Dellicour, S., Poongavanam, J., Mavian, C., Dor, G., Fonseca, V., Tagliamonte, M. S., Dunaiski, M., Moir, M., Wilkinson, E., de Albuquerque, C. F. C., Frutuoso, L. C. V., CLIMATE Consortium, Holmes, E. C., Baxter, C., Lessells, R., Kraemer, M. U. G., Lourenço, J., & Alcantara, L. C. J. (2024, October 30). Dinâmica e ecologia da expansão multi-influs do vírus Oropouche no Brasil [Preprint]. **medRxiv**. <https://doi.org/10.1101/2024.10.29.24316328>

The Nature Conservancy Brasil. (2023, 27 de setembro). **Entenda o papel dos povos indígenas no combate ao desmatamento da Amazônia**. <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/entenda-o-papel-dos-povos-indigenas-no-combate-ao-desmatamento-da-amazonia/>

Tiotiu, A. I. et al. Impact of Air Pollution on Asthma Outcomes. **Int. J. Environ. Res. Public. Health** 17, 6212 (2020)

Vaz CT, Coelho DM, Silva UM, Andrade ACS, López FG, Dueñas OLS, Friche AAL, Diez-Roux AV, Caiiffa WT. Social environment characteristics are related to self-rated health in four Latin America countries: Evidence from the SALURBAL Project. **Health Place**. 2023 Sep; 83:103110. doi: 10.1016/j.healthplace.2023.103110.

Venkatraman, S., Kandasamy, V., Rajalakshmi, J., Begum, S. S., & Sujatha, M. (2024). Assessment of urban heat island using remote sensing and geospatial application: A case study in São Paulo city, Brazil, South America. **Journal of South American Earth Sciences**, 134, 104763. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104763>

Vieira CB, de Abreu Corrêa A, de Jesus MS, Luz SLB, Wyn-Jones P, Kay D, Rocha MS, Miagostovich MP. The Impact of the Extreme Amazonian Flood Season on the Incidence of Viral Gastroenteritis Cases. **Food Environ Virol.** 2017 Jun;9(2):195-207.

WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.

Winck GR, Raimundo RLG, Fernandes-Ferreira H, Bueno MG, D'Andrea PS, Rocha FL, Cruz GLT, Vilar EM, Brandão M, Cordeiro JLP, Andreazzi CS. Socioecological vulnerability and the risk of zoonotic disease emergence in Brazil. **Sci Adv.** 2022 Jul;8(26):eabo5774. doi: 10.1126/sciadv.abo5774. Epub 2022 Jun 29. PMID: 35767624; PMCID: PMC9242594.

World Health Organization. (1994). **Environmental health action plan for Europe: Second European Conference on Environment and Health, Helsinki, 20–22 June 1994.** Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Disponível em: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/347386/WHO-EURO-1994-3844-43603-61261-eng.pdf>

World Health Organization. (2016a). **Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the burden of disease from environmental risks.** <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565196>

World Health Organization. (2022). **Environmental health.** Retrieved from <https://www.who.int/health-topics/environmental-health>

Xavier, A. C., Scanlon, B. R., King, C. W., & Alves, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, 42(16), 8390–8404. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

Xavier, D. R., Cunha, L. R. A., Saldanha, R., Matos, V., Barros, H., Barcellos, C., Gracie, R., Machado, C., Villardi, J. W. R., & Netto, G. F. (2025). **Climate change and health vulnerabilities: The case of 2024 floods in Rio Grande do Sul, Brazil.** *Trends in Health Sciences*. <https://doi.org/10.47626/ths-2025-0008>

Yang Z, Huang W, McKenzie JE, Xu R, Yu P, Wu Y, et al. Hospitalization risks associated with floods in a multi-country study. *Nat Water*. 2025;3(5):561-570. doi: 10.1038/s44221-025-00425-8.

Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. **Emerging Contaminants**, 11(1), 100410.

Como melhorar a saúde ambiental da população?



Guilherme Franco Netto¹

Juliana Wotzasek Rulli Villardi¹

¹Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)

A determinação da dinâmica ambiental sobre a saúde da população, impulsionada pela tríplice manifestação relacionada à mudança do clima, perda da biodiversidade e poluição, essa relacionada aos processos de desenvolvimento e subdesenvolvimento, é incontestável e tende a se agravar.

A pandemia de COVID-19 mostrou, de forma dolorosa, que a ruptura dos sistemas ecológicos amplia riscos sanitários e sociais, trazendo para o centro da agenda global a relação entre saúde e ambiente. No Brasil, este cenário se manifesta associado à profunda desigualdade e iniquidade social. O exponencial aumento, em intensidade e frequência, dos eventos extremos, de tipologias de curto e longo prazo, revela que, via de regra, os mais afetados são as comunidades tradicionais, populações periféricas, povos indígenas, e seus respectivos territórios em condição de vulnerabilidade. A injustiça climática materializa-se nesses territórios, onde a vulnerabilidade socioambiental se traduz em adoecimento e perdas de vidas.

Garantir saúde ambiental no Brasil significa colocar o Sistema Único de Saúde (SUS) no centro das estratégias de adaptação e mitigação. O SUS, por seu caráter universal, é um dos maiores patrimônios do país e deve ser fortalecido para responder à crise ecológica e à emergência climática, integrando saúde, ambiente e justiça social. Essa integração é essencial para ampliar a resiliência dos territórios e assegurar direitos fundamentais das populações.

Iniciativas em curso como o Plano Clima do Governo Federal, no Plano Setorial de Adaptação à Mudança do Clima AdaptaSUS, do Ministério da Saúde, apresentam-se caminhos para que nos próximos 12 anos, até 2035, a saúde ambiental seja reconhecida como eixo estruturante das políticas públicas.

É fundamental reconhecer e valorizar os saberes e práticas comunitárias que

emergem nos territórios, as experiências agroecológicas, tecnologias sociais e as redes de solidariedade que fortalecem vínculos, geram bem-estar e produzem cobenefícios entre saúde, ambiente e a biodiversidade. É importante estar atendo ao fato de que a inovação não está apenas nos laboratórios, mas também na criatividade e na resiliência das comunidades. Nesse sentido, articular ciência, políticas públicas e sociedade civil em torno de uma agenda de saúde ambiental é reafirmar o país como referência na defesa da vida em sua pluralidade.

Não se pode ignorar os impactos à saúde ambiental pelas queimadas recorrentes na Amazônia, que comprometem o equilíbrio climático, a biodiversidade e a qualidade do ar em várias regiões do país e do mundo. Da mesma forma, o Cerrado, berço das águas e ecossistema vital, sofre com o desmatamento acelerado e o uso insustentável do solo, ampliando a vulnerabilidade hídrica e sanitária das populações. Esses processos reforçam a urgência de uma transição que concilie produção, preservação e saúde.

Melhorar a saúde ambiental no Brasil é muito mais do que responder a crises imediatas. É garantir que água limpa, em quantidade e qualidade, que o ar respirável, os alimentos saudáveis e os territórios seguros sejam reconhecidos como direitos fundamentais de todas as pessoas. É imperativo, portanto, estabelecer sinergias e estratégias integradas entre políticas públicas, a ciência e a sabedoria da sociedade, para que as ações nos territórios brasileiros resultem em benefícios à saúde humana e à natureza.

O futuro que queremos só será possível se a saúde ambiental for compreendida como parte central de um projeto civilizatório.

Valber da Silva Frutuoso¹ Márcia da Silva Pereira² Winnie Samanú de Lima Lopes¹

¹Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)

²Ministério da Saúde

A relação entre saúde e meio ambiente é cada vez mais reconhecida como central para o desenvolvimento sustentável e para a qualidade de vida da população. No contexto brasileiro, marcado por profundas desigualdades sociais e ambientais, a melhoria da saúde ambiental exige estratégias integradas que articulem políticas públicas, ciência, inovação, participação social e respeito à diversidade cultural. A pergunta central — como melhorar a saúde ambiental da população? — exige um olhar que vá além da atenção clínica, situando a saúde como um fenômeno sistêmico e socioambiental.

Determinantes ambientais da saúde

A saúde humana depende diretamente de fatores ambientais, como qualidade da água, do ar e do solo, equilíbrio dos ecossistemas, segurança alimentar, acesso a espaços verdes e exposição a contaminantes químicos ou biológicos. Estudos recentes no Brasil mostram que as doenças respiratórias ligadas à poluição atmosférica urbana, intoxicações por agrotóxicos, arboviroses associadas ao manejo inadequado de resíduos e desmatamento, bem como impactos de desastres climáticos, estão entre as principais ameaças à saúde ambiental (IBGE, 2023; WHO, 2022).

Ao mesmo tempo, populações vulnerabilizadas — povos indígenas, comunidades quilombolas, populações ribeirinhas e das favelas e comunidades urbanas — sofrem de forma desproporcional os efeitos das pressões e desequilíbrios ambientais. Assim, melhorar a saúde ambiental significa também enfrentar o **racismo ambiental**, a desigualdade de acesso a recursos naturais e serviços básicos, e a exclusão histórica de grupos sociais nos processos de decisão (ACSELRAD, 2004; PNUMA, 2019).

Integração entre saúde, ambiente e clima

Desde o lançamento do primeiro GEO Brasil, em 2002, consolidou-se o entendimento de que as **mudanças climáticas** são um dos maiores desafios para a saúde pública. Eventos extremos como secas prolongadas, enchentes, ondas de calor e deslizamentos de terra impactam diretamente a morbimortalidade e sobrecarregam o Sistema Único de Saúde (SUS). Para responder a esse cenário, o Brasil deve investir em **sistemas de alerta precoce**, planos de adaptação climática nos municípios e políticas de habitação e saneamento resilientes (IPCC, 2023).

Outro aspecto crucial é a **intersetorialidade**. As políticas ambientais, de saúde, de agricultura, de energia e de transporte precisam dialogar em prol da saúde ambiental, principalmente para as populações vulnerabilizadas. A transição para modais de transporte público limpos, por exemplo, reduz emissões de gases de efeito estufa e, simultaneamente, melhora a qualidade do ar, diminuindo casos de asma e doenças cardiovasculares (WHO, 2021).

Promoção da saúde ambiental no SUS

O SUS é um espaço estratégico para promover a saúde ambiental no país. A **Política Nacional de Saúde Ambiental** e a **Vigilância em Saúde Ambiental** devem ser fortalecidas, garantindo monitoramento contínuo de contaminantes, doenças emergentes e impactos ambientais sobre a saúde (BRASIL, 2007). É essencial ampliar a capacidade laboratorial e de vigilância epidemiológica, articulando dados ambientais, climáticos e de saúde em plataformas integradas (IPEA, 2021).

Além disso, o SUS pode expandir programas de **promoção da saúde com base territorial**, que valorizem a agroecologia, a alimentação saudável, o uso racional da

água, o manejo adequado de resíduos e a integração de práticas tradicionais, como a fitoterapia e os saberes de comunidades locais e tradicionais (BRASIL, 2012). A promoção da saúde ambiental deve ser vista como investimento em prevenção, reduzindo custos hospitalares e melhorando a qualidade de vida da população.

Educação, participação social e governança

A melhoria da saúde ambiental não se dá apenas por políticas técnicas, mas também por processos educativos e participativos. A **educação ambiental integrada à educação em saúde**, desde as escolas até campanhas comunitárias, fortalece o protagonismo social e a sensibilidade da população frente a seus direitos e acesso a políticas públicas. Iniciativas como hortas urbanas comunitárias, jardins de plantas medicinais e programas de vigilância cidadã da qualidade da água ou do ar mostram o potencial da ciência cidadã para democratizar o conhecimento (PNUMA, 2019; RIBEIRO; LEROY, 2020).

Na governança, é fundamental fortalecer **conselhos de saúde, comitês de bacias hidrográficas e espaços de controle social**, garantindo que diferentes atores participem das decisões que afetam seus territórios. A transparência de informações ambientais e de saúde, acessíveis e atualizadas, é igualmente decisiva (IPEA, 2021).

Caminhos para avançar

Melhorar a saúde ambiental da população brasileira exige:

- **Universalizar saneamento básico e acesso à água potável**, reduzindo doenças de veiculação hídrica (IBGE, 2023).
- **Reduzir poluição do ar** com investimentos em transporte sustentável, eficiência energética e fiscalização de emissões industriais (WHO, 2022).
- **Controlar o uso de agrotóxicos**, estimulando a produção agroecológica e cadeias alimentares saudáveis (RIBEIRO; LEROY, 2020).
- **Fortalecer a vigilância em saúde ambiental** no SUS, com ênfase em mudanças climáticas, desastres e

emergências químicas (BRASIL, 2007).

- **Promover justiça ambiental**, enfrentando desigualdades e reconhecendo direitos territoriais de povos e comunidades tradicionais (ACSELRAD, 2004).
- **Ampliar a integração ciência-política-sociedade**, com inovação tecnológica e valorização do conhecimento tradicional (PNUMA, 2019).

Considerações finais

É fundamental compreender a saúde ambiental como um bem coletivo, resultante da interação entre pessoas, ecossistemas e modos de produção. No contexto do **GEO Brasil 2025**, a análise dos avanços e desafios mostra que o Brasil dispõe de arcabouço legal e institucional robusto, mas precisa superar a fragmentação das políticas, a insuficiência de investimentos e a persistência de desigualdades socioambientais.

Melhorar a saúde ambiental da população significa, em última instância, **assegurar o direito a um ambiente equilibrado**, conforme estabelecido pela Constituição Federal de 1988, e garantir que as futuras gerações possam viver em territórios saudáveis, sustentáveis e inclusivos.

Referências

ACSELRAD, H. (Org.). **Conflitos ambientais no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Saúde Ambiental**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares no SUS**. Brasília: Ministério da Saúde, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Relatório de Desenvolvimento Humano no Brasil**. Brasília: IPEA, 2021.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: IPCC, 2023.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Global Environment Outlook 6 – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People**. Nairobi: UNEP, 2019.

RIBEIRO, W. C.; LEROY, J. P. (Orgs.). **Desastres ambientais: uma visão crítica**. Rio de Janeiro: Garamond, 2020.

WHO – World Health Organization. **Global Air Quality Guidelines**. Geneva: WHO, 2021.

WHO – World Health Organization. **Climate Change and Health**. Geneva: WHO, 2022.

11 - PERSPECTIVAS E CONCLUSÕES

OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA TRANSFORMAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NO BRASIL

Autores: José A. Puppim de Oliveira¹, Flávia Donadelli²

¹Professor Titular, FGV EAESP e Coordenador FGV EARTH

²Professora de Administração Pública na FGV – EBAPE

Os desafios e oportunidades para a criação de uma sociedade mais ambientalmente sustentável e justa dependem necessária, ou principalmente, de como podemos ser eficazes na incorporação dos desafios do desenvolvimento sustentável em nossas instituições e na criação da capacidade de implementação necessária para traduzir essas preocupações em prática. O GEO BRASIL 2025 analisa esses desafios de diferentes ângulos, trazendo insumos para se pensar como melhorar as questões ambientais no Brasil de forma que ajudem a economia e tenha impacto social. O Brasil, dentro do escopo dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), tem múltiplas necessidades e é difícil priorizá-las. Precisamos entender como essas prioridades podem ser integradas e fazer mudanças incrementais e radicais na forma como a economia e as organizações trabalham para erradicar a pobreza e ser ambientalmente sustentáveis, com impactos positivos na sociedade e nos ecossistemas.

De acordo com as evidências apresentadas no relatório, o Brasil possui um imenso potencial para promover melhorias ambientais. A maioria delas se baseia em sua riqueza natural, mas a melhoria na implementação de políticas públicas também pode ter um papel fundamental na redução das emissões de GEE, perda de biodiversidade e poluição, sendo uma oportunidade de alinhar os objetivos ambientais a agenda econômica e social.

Principais Lições da Transformação Ambiental no Brasil

Os vários textos do GEO BRASIL 2025 mostram que o Brasil alcançou alguns marcos importantes em direção às melhorias ambientais nas últimas décadas, em parte devido aos seus recursos naturais e em parte às suas políticas setoriais, como políticas energéticas, quando aliadas a políticas ambientais e climáticas. No âmbito energético, o Brasil ocupa uma posição confortável como o principal produtor de energia renovável entre os países do G20, sendo o país com a matriz energética mais renovável. Em outras áreas, como biodiversidade, o Brasil tem um potencial imenso, não só com a riqueza da diversidade biológica, mas com o conhecimento tradicional da grande diversidade cultural que temos.

As forças motrizes de transformação têm mudado, de predominantemente nacionais e locais, para um componente internacional importante. Os motores da sustentabilidade mudaram ao longo do tempo, da segurança energética e alimentar às políticas energéticas e climáticas internacionais e nacionais. O impulso inicial na década de 1970 para a produção de bioetanol em substituição à gasolina deveu-se a preocupações com a segurança energética durante as crises do petróleo da década de 1970. Os motores da transformação mudaram no século XXI, quando políticas climáticas, como o Mecanismo de Desenvolvimento

Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto, e agora o Acordo de Paris, criaram oportunidades para energias renováveis e outros projetos de mitigação da emissão de GEE.

O Papel Crucial do Estado nas Transformações para o Desenvolvimento Sustentável. O Estado tem sido fundamental para promover tanto a demanda quanto a oferta de tecnologias verdes, como no caso do etanol e da energia eólica. Políticas para subsidiar consumidores e produtores de tecnologias verdes criaram um mercado para esses produtos limpos. Com o tempo, à medida que a escala foi sendo aumentada, essas tecnologias tornaram-se econômica e financeiramente viáveis. Um ponto-chave para uma política de transformação verde sustentável a longo prazo é a transição da transformação liderada pelo Estado para a transformação com um componente importante do mercado (Bicalho et al., 2024), visto que o Estado não consegue manter os incentivos a longo prazo. O caso do etanol é um exemplo desta transição, de uma transformação liderada pelo Estado para criar demanda e oferta no século XX, para, no século XXI, o mercado alavancar a utilização.

O alinhamento entre a governança nos níveis global e nacional pode facilitar as melhorias ambientais. Oportunidades globais, como os altos preços do petróleo ou os mercados de carbono podem criar incentivos impulsionados pelo mercado, reduzindo a dependência de longo prazo da intervenção estatal para a transição tecnológica. O MDL foi importante para criar um mercado para energias renováveis e outros projetos de mitigação de GEE no Brasil. O primeiro aterro sanitário com captura de metano foi um projeto de MDL, assim como muitos dos projetos de energia eólica e solar.

A conexão entre políticas setoriais pode catalisar processos de transformação e inovação em diferentes setores. A política inovadora do etanol na década de 1970 baseou-se na articulação das políticas de transporte e agricultura durante a crise do petróleo. Essa iniciativa intersetorial permitiu

a consideração de um espectro mais amplo de soluções para enfrentar um desafio existente (por exemplo, os altos preços do petróleo). O Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer no caminho da transformação verde. Apesar de suas conquistas no setor energético, as altas emissões de uso e mudança de uso da terra (LULUCF) persistem e as políticas têm sido pontuais e fragmentadas, sem uma estrutura abrangente até recentemente. No entanto, o Brasil criou a base tecnológica e institucional para apoiar essa rápida transição. O recente Plano de Transformação Ecológica, lançado em 2024, e a Estratégia Nacional de Bioeconomia podem criar diversas oportunidades para acelerar uma transformação verde mais justa no país. Sua implementação será fundamental para o cumprimento dos compromissos internacionais do país.

Potencial para Melhoria Ambiental, com Impacto Positivo na Economia e Sociedade

Podemos identificar uma série de vantagens comparativas que o país possui para avançar na agenda verde.

i) Alta disponibilidade de uma diversidade de novas fontes de energia renovável. O Brasil é o campeão entre os países do G20 no uso de energia renovável de diversas fontes. De uma base inicial renovável de energia hidrelétrica, o país diversificou com sucesso as fontes renováveis para biomassa, eólica e solar, que agora representam uma parte significativa da matriz energética. As energias eólica e solar ainda têm um enorme potencial de crescimento, visto que existem oportunidades inexploradas, como turbinas eólicas offshore e painéis solares em telhados de cidades, que ainda são pouco desenvolvidas na maioria das cidades brasileiras. Se tais medidas forem implementadas com os devidas salvaguardas ambientais e sociais e seguindo a legislação, elas têm grande potencial.

ii) Potencial significativo para aumentar a produção de biocombustíveis. Apesar do pioneirismo mundial e da liderança no uso do etanol como substituto da gasolina em veículos leves, os biocombustíveis, incluindo o biodiesel, têm enorme potencial de crescimento no país. A criação da Política

Nacional de Biocombustíveis (Renovabio), como parte dos compromissos do Acordo de Paris, oferece uma plataforma para um crescimento ainda mais constante na produção e no uso de biocombustíveis. O Renovabio foi estabelecido com o objetivo de promover a expansão da produção sustentável de biocombustíveis e apoiar um mercado estável para biocombustíveis com certificação de emissões de CO₂ em seu ciclo de vida. De acordo com algumas previsões, a capacidade anual de etanol do país pode passar de 27 bilhões em 2017 para 49 bilhões de litros até 2030 (EPE, 2017). Além disso, a produção de biocombustíveis de segunda geração, se se tornar técnica e economicamente disponível, poderá impulsionar ainda mais a produção de biocombustíveis.

iii) Reservas de minerais estratégicos. O Brasil possui reservas significativas de minerais estratégicos críticos, que caso sejam explorados de maneira sustentável e respeitando as comunidades locais, poderiam apoiar o desenvolvimento de indústrias-chave para a transformação verde no país, como a produção de baterias para veículos elétricos ou turbinas eólicas. Por exemplo, o Brasil foi o quinto maior produtor de lítio em 2023 (Mining Technology, 2024). O estabelecimento de um mercado estável para a comercialização desses minerais por meio de um mecanismo internacional poderia trazer investimentos e tecnologia para agregar valor localmente na cadeia de valor global de tecnologias limpas em países produtores de minerais críticos (Ali et al., 2025). Teria-se, assim, mais uma camada de salvaguardas para a produção com sustentabilidade social e ambiental.

iv) Ampla cobertura de áreas florestais, com uma das maiores biodiversidades do planeta, para promover a bioeconomia. O Brasil possui uma extensa área de floresta tropical, particularmente na região amazônica. O país está bem posicionado para promover seu uso sustentável para impulsionar a bioeconomia. O governo federal lançou a Estratégia Nacional para Bioeconomia (Brasil, 2024). Muitos produtos florestais já demonstraram potencial, como o açaí, que já está em alta demanda para consumo doméstico e internacional. Há

também vários produtos que podem ser usados na indústria de cosméticos, como o óleo de andiroba. O uso sustentável de produtos florestais poderia fornecer renda para população em algumas das regiões mais pobres do país, como a Amazônia. Caso esses produtos sejam explorados de forma sustentável, poderiam prevenir e reduzir os fatores de desmatamento na região, reduzindo as emissões brasileiras de GEE, que estão principalmente relacionadas ao desmatamento. Um mecanismo de pagamento de serviços ambientais, poderia contribuir ainda mais para os efeitos positivos da bioeconomia.

v) Experiência em desenvolvimento tecnológico para energia renovável e pesquisa agrícola. O Brasil possui uma ampla base tecnológica para apoiar a transformação verde no país. Possui uma sólida infraestrutura de pesquisa agrícola, como a Empresa Brasileira de Produção Agrícola (EMBRAPA), que foi fundamental para o aumento da produção agrícola, e alguns institutos de pesquisa estaduais, como o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), que apoiou o aprimoramento de usinas de cana-de-açúcar para a revolução do etanol nas décadas de 1970 e 1980. Porém, a política precisa de um ajuste para também apoiar o pequeno produtor e a sociobioeconomia em uma escala equivalente. Na área de energia eólica, algumas empresas brasileiras desenvolveram tecnologias competitivas para a produção de equipamentos com os incentivos governamentais.

Oportunidades para Alavancar o Potencial

Essas vantagens criam inúmeras oportunidades. Ao contrário da maioria dos outros grandes países, o maior desafio do Brasil para alcançar uma transformação verde não é a transição energética, mas sim a redução das emissões de gases de efeito estufa provenientes do Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas (LULUCF), e uma transição justa, que reduza a desigualdade e gere emprego e renda para a população mais vulnerável aos problemas ambientais. No entanto, existem diversas oportunidades de curto, médio e longo prazo para abordar essas emissões e avançar em direção a um caminho de desenvolvimento

mais sustentável.

i) Fortalecer a fiscalização ambiental. Uma melhor fiscalização das regulamentações sobre desmatamento é a maneira mais direta de reduzir rapidamente as emissões de GEE, como temos visto em alguns anos. Mais de 50% das emissões brasileiras de GEE provêm do desmatamento. Investimentos direcionados em infraestrutura de fiscalização, incluindo equipamentos e pessoal, podem ter um impacto imediato na redução do desmatamento tanto na Amazônia quanto no Cerrado.

ii) Impulsionar a bioeconomia. Os produtos da bioeconomia apresentam um potencial significativo, mas atualmente enfrentam grandes barreiras, como acesso limitado ao mercado, infraestrutura inadequada e baixos níveis de atividades com valor agregado, especialmente em pesquisa e desenvolvimento, como colocado por alguns dos comentários. O aumento do investimento nessas áreas, na mesma ordem de grandeza do agronegócio, pode ter um impacto de médio prazo na redução do desmatamento e pobreza, criando incentivos econômicos para que as comunidades locais preservem as florestas em vez de convertê-las para outros usos. A Estratégia Nacional para a Bioeconomia (Brasil, 2024) é um primeiro passo importante, mas sua implementação efetiva requer instituições mais fortes e maior alocação de recursos.

iii) Cenário emergente de regulamentação transnacional. Diversos esforços para reduzir as emissões das cadeias de valor globais podem criar um incentivo para o cumprimento das leis nacionais e das normas internacionais. A União Europeia, em particular, lançou diversos controles de poluição nas fronteiras, como o Mecanismo de Ajuste de Carbono nas Fronteiras (CBAM) da UE, a Diretiva de Due Diligence em Sustentabilidade Corporativa (CS3D) e o Regulamento de Desmatamento da UE (EUDR). A pressão da governança transnacional forçará alguns setores, como a produção de carne bovina para exportação, a reduzir sua pegada de carbono. Mas outros podem ser beneficiados, pois temos uma matriz energética limpa. Um esforço complementar em termos de políticas

públicas para apoiar a adaptação a esse cenário poderia acelerar a transição para uma produção mais sustentável e de baixo carbono. O mercado de carbono lançado pode ajudar também a equalizar as demandas das regulações transnacionais.

iv) Investimentos e ajuda internacionais. Mais ajuda e incentivos internacionais poderiam ajudar na transição verde no Brasil. Há um número crescente de iniciativas que poderiam ser mais desenvolvidas, como os mercados voluntários de carbono e o Fundo Verde para o Clima. O Brasil estabeleceu instituições para gerenciar a alocação de fundos internacionais, como o Fundo Amazônia, criado em 2008. Gerenciado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), ele capta recursos financeiros públicos e privados com o objetivo de promover projetos de prevenção e combate ao desmatamento, bem como de conservação e uso sustentável das florestas na Amazônia Legal. Os governos da Noruega, Alemanha (KfW), Suíça e Estados Unidos, juntamente com a Petrobras são os principais financiadores do Fundo Amazônia, que teve mais de R\$ 3,5 bilhões em 2023 (Fundo Amazônia, 2023), mas com potencial de alcançar muito mais, caso haja um mecanismo global de pagamentos por serviços ecossistêmicos.

v) Crescente interesse pela transformação verde nas arenas política e econômica. Nos últimos anos, a transformação verde deixou de ser um tema marginal e passou a ganhar cada vez mais atenção de formuladores de políticas e autoridades econômicas. O Ministério da Fazenda, em particular, viu nisso uma oportunidade de transferir os impostos sobre o trabalho e o capital para a poluição. Essa agenda conta com o apoio tanto da coalizão governamental quanto de grupos de oposição no Congresso. Isso pode facilitar o estabelecimento de leis e políticas para fomentar a aceleração das transições verdes, como discutiremos na próxima seção.

Plano de Transformação Ecológica

Ao longo das décadas, o Brasil implementou alguns incentivos e políticas econômicas pontuais com o objetivo de promover uma transformação verde. Um exemplo é o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e

Serviços Ecológicos (ICMS-E), introduzido pela primeira vez no estado do Paraná em 1991 e, desde então, adotado por mais de dez outros estados (Puppim de Oliveira, 2003). O ICMS-E aumenta a parcela do ICMS transferida para os municípios com melhor desempenho em critérios ecológicos específicos, como a extensão de áreas protegidas em seu território.

No entanto, o país ainda carece de uma política econômica abrangente para promover a transformação verde em diversos setores. Uma das políticas econômicas nacionais mais bem-sucedidas do Brasil é a da bioenergia. Embora originalmente concebida para enfrentar uma crise energética em vez de promover a transformação ecológica, ela trouxe benefícios ambientais duradouros.

Existem alguns outros mecanismos econômicos ambientais, mas a maioria deles com fins compensatórios, como o fundo compensatório para grandes projetos a ser investido em comunidades afetadas por eles. Vários fundos ambientais estaduais e municipais também foram criados para apoiar o desenvolvimento de projetos ambientais, como o Fundo Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEPAM), financiado por uma parcela dos royalties do petróleo gerados no estado. Em São Paulo, o fundo ambiental municipal recebe recursos de créditos de carbono obtidos por meio da captura de metano em um aterro sanitário local, financiado pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto.

Iniciativas de compras verdes em alguns órgãos públicos nos níveis nacional e subnacional também têm sido utilizadas para incentivar a transformação verde. O governo federal utiliza compras públicas verdes em setores como energia, agricultura, água, transporte e construção (Banco Mundial, 2022).

Outros incentivos econômicos incluem os créditos subsidiados para fomentar a indústria verde no país. Os mecanismos econômicos nacionais são em grande parte limitados ao crédito subsidiado para determinados setores, como o programa PROINFRA do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

(BNDES), que desempenhou um papel fundamental na promoção do desenvolvimento tecnológico no setor de energia eólica.

O mais recente Plano de Transformação Ecológica (Ministério da Economia), discutido no governo e no Congresso, é a primeira tentativa de se ter uma política nacional estruturada para a transformação econômica verde no país. Ele tem três objetivos principais: (i) redução das emissões de GEE das atividades produtivas, (ii) geração de “empregos verdes” e (iii) maior equilíbrio na distribuição de renda. O plano deve impulsionar o PIB brasileiro em 2,2%, reduzir o desemprego em 1,2%, aumentar a renda real da população mais pobre em 25% e gerar receitas entre R\$ 40 bilhões e R\$ 120 bilhões até 2030, além de reduzir as emissões brasileiras em 1 gigatonelada de CO₂eq por ano.

O plano é composto por seis eixos:

ii) Desenvolvimento tecnológico (verde) (por exemplo, Lei Nacional nº 14.948/24 para o hidrogênio verde)

iii) Promoção da bioeconomia por meio de diferentes políticas públicas, conforme previsto na Estratégia Nacional de Bioeconomia,

iv) Incentivos à transição energética,

v) Promoção da economia circular,

vi) Apoio à infraestrutura verde e à adaptação às mudanças climáticas.

A Lei nº 15.042/2025 institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Ela cria um mercado de carbono regulado no país e estabelece limites para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de determinadas fontes. A nova lei, aprovada em novembro de 2024 pelo Congresso Nacional com apoio da oposição, estabelece um sistema de bônus para empresas ou estados que reduzirem as emissões de GEE. O SBCE estabelece as Cotas Brasileiras de Emissão (CBE) e limites para as emissões de gases de efeito estufa para empresas acima de determinado porte em setores-chave emissores. As empresas que comprovadamente reduzirem suas emissões ganharão créditos de carbono, que podem ser adquiridos por empresas que emitam acima do limite estabelecido. Organizações sujeitas à regulamentação

devem fornecer um plano de monitoramento e relatórios de suas atividades ao órgão regulador.

Entretanto, o plano ainda necessita ser implementado para começarmos a ver os impactos dele na economia, sociedade e meio ambiente. É uma corrida contra o tempo. Os próximos anos serão cruciais para determinar o futuro ambiental do país.

Considerações Finais

A Rio-92 também foi uma conferência histórica em termos de participação e governança, liderada pelo Brasil, com um impacto global. A conferência reuniu o maior número de chefes de Estado ou de governo até então. A sociedade civil, em particular grupos ambientalistas, também esteve amplamente representada na conferência, e alguns realizaram suas próprias reuniões paralelas no Fórum Global, organizado por organizações não governamentais (ONGs). Alguns líderes empresariais também participaram ativamente da conferência e propuseram soluções para o desenvolvimento sustentável. Grupos da sociedade civil tiveram grande influência nas discussões durante a Rio-92 e consolidaram sua participação nas reuniões oficiais sobre meio ambiente. Os chamados “Grupos Principais” agora fazem parte de quase todas as discussões sobre meio ambiente e desenvolvimento. Por outro lado, organizações internacionais e muitos governos perceberam que as soluções e as políticas para enfrentar os problemas ambientais só poderiam ser implementadas com o engajamento da sociedade civil, tanto de empresas quanto de ONGs ambientais. A conferência também trouxe à mesa grupos de interesse não ambientais, como ONGs e movimentos sociais não ambientais, organizações de desenvolvimento e empresas. O Brasil foi palco, e um ator ativo, na mudança da perspectiva ambiental e na emergência do conceito de desenvolvimento sustentável.

Nas últimas décadas temos visto que uma questão relevante para a melhoria da qualidade ambiental no Brasil é como traduzir preocupações globais em ações locais e preocupações locais em ações globais. Existe muito engajamento com as

questões ambientais hoje, se comparamos com o século passado. No entanto, ainda temos um longo caminho a percorrer. Precisamos criar mecanismos institucionais eficazes e democráticos para tornar o desenvolvimento sustentável uma realidade prática nos diversos níveis. Apesar de muitas organizações do governo, setor privado e sociedade civil participa rem ativamente no processo de melhoria ambiental no Brasil, muitas outras ainda operam no antigo paradigma de desenvolvimento ou são incapazes de unir os três pilares do desenvolvimento sustentável de forma eficaz. Elas precisam ser transformadas para criar a capacidade de mover as sociedades e o mundo efetivamente para um caminho mais sustentável. Além disso, as instituições em nível nacional e subnacional precisam interagir com instituições globais para que as sociedades funcionem adequadamente em prol do desenvolvimento sustentável. Recursos e conhecimento precisam ser utilizados de forma eficaz para enfrentar muitos dos desafios globais. As instituições econômicas também precisam ser reformadas para serem mais verdes e socialmente inclusivas, de modo a levarem à erradicação da pobreza e a um desenvolvimento mais sustentável. Políticas públicas com participação da sociedade são fundamentais para essa transformação.

Fóruns internacionais sediados pelo Brasil, como a Reunião do G20 em novembro de 2024 e a COP-30 da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) em 2025, têm mostrado a liderança do país nessas questões. Esses fóruns indicam a necessidade de uma transição rápida para uma economia e uma sociedade mais sustentável em diversas dimensões. Porém, apesar de estar em posição confortável em relação a outros países do G20 em algumas áreas, como a liderança em energias renováveis, o país ainda enfrenta uma série de desafios, como o desmatamento e a compatibilização da agenda econômica com a solução de problemas ambientais e sociais, como pobreza e desigualdade. O Brasil ajudou o mundo a dar um passo imenso na popularização da ideia de desenvolvimento sustentável e nos passos da sua

implementação. Temos o potencial e oportunidades para avançar ainda mais com a melhoria da qualidade ambiental. O GEO BRASIL 2025 mostra de forma clara onde

estamos e para onde precisaríamos ir, dando subsídios para entender melhor a trajetória da sustentabilidade ambiental no país.

REFERÊNCIAS

Ali, S. H., Franks, D. M., Puppim de Oliveira, J. A., Madani, K., Gaffney, O., Anggraini, E., Wantchekon, L. & Zeng, X. (2025). A global minerals trust could prevent inefficient and inequitable protectionist policies. **Science**, 388(6751), 1028-1030.

Bicalho, T., Bellezoni, R. A., & Puppim de Oliveira, J. A. (2024). Environmental, energy, and sustainability issues. In E. Amann & P. N. Figueiredo (Eds.), **Innovation, competitiveness, and development in Latin America: Lessons from the past and perspectives for the future** (pp. 213–236). Oxford University Press.

Brazil (2024). **Estratégia Nacional de Bioeconomia**. Decree number 12.044, 05 June 2024. Available at <<https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbc/dpeb/estrategia-nacional-de-bioeconomia>>.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (2017). **Nota Técnica EPE-DPG-SGB-Bios-NT-01-2017-r0 - RenovaBio: Biocombustíveis 2030: Papel dos biocombustíveis na matriz**. Rio de Janeiro: EPE/MME.

Fundo Amazonia (2023). **Demonstrações financeiras em 31 de dezembro de 2023 e 2022**. Rio de Janeiro: BNDES.

Mining Technology (2024). **Lithium production in Brazil and major projects**. < <https://www.mining-technology.com/data-insights/lithium-in-brazil/>>. Accessed on 14 April 2025.

Puppim de Oliveira, Jose A. (2003). **Instrumentos Econômicos para Gestão Ambiental: Lições das Experiências Nacional e Internacional**. Salvador: Núcleo de Estudos Avançados em Meio Ambiente (NEAMA).

World Bank (2022). **Green Procurement Data**. Brazil: Country profile for 2022. https://www.globalpublicprocurementdata.org/gppd/country_profile/BR. Accessed on 12 February 2025.

Apoio



Centro de Desenvolvimento
Sustentável UnB

FAAP



6 anos
CONTAG



cebds

FECOMERCIO SP

FIOCRUZ



ethos
instituto



(epe)20

UFV
Diretoria de Extensão
e Cultura



—INSTITUTO—
JURUÁ

INPA
INSTITUTO NACIONAL DE
PESQUISAS DA AMAZÔNIA

USP

Coordenação técnica

FGV EBAPE

FGV EAESP
EARTH

ipea
Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

ONU
programa para o
meio ambiente

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO