

INUNDAÇÕES, SECA E FOGO

o alerta dos biomas

Uma contribuição à COP30

Organizadores

Celso Pansera

Ima Vieira

Luiz Davidovich

Fernando Peregrino



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



INUNDAÇÕES, SECA E FOGO: O ALERTA DOS BIOMAS

Uma contribuição à COP30

“Estamos condenados à interdependência da mudança climática.
O planeta já não espera para cobrar da próxima geração e está farto de acordos climáticos não cumpridos.
Está cansado de metas de redução de emissão de carbono negligenciadas e do auxílio financeiro aos países pobres que não chega.
O negacionismo sucumbe ante as evidências do aquecimento global.
2024 caminha para ser o ano mais quente da história moderna.
Furacões no Caribe, tufões na Ásia, secas e inundações na África e chuvas torrenciais na Europa deixam um rastro de mortes e de destruição.
No sul do Brasil tivemos a maior enchente desde 1941.
A Amazônia está atravessando a pior estiagem em 45 anos.
Incêndios florestais se alastraram pelo país e já devoraram 5 milhões de hectares apenas no mês de agosto...
... O Brasil sediará a COP-30, em 2025, convicto de que o multilateralismo é o único caminho para superar a urgência climática...
... Somos hoje um dos países com a matriz energética mais limpa - 90% da nossa eletricidade provém de fontes renováveis como a biomassa, a hidrelétrica, a solar e a eólica.
 Fizemos a opção pelos biocombustíveis há 50 anos, muito antes que a discussão sobre energias alternativas ganhasse tração.
Estamos na vanguarda em outros nichos importantes como o da produção do hidrogênio verde.
É hora de enfrentar o debate sobre o ritmo lento da descarbonização do planeta e trabalhar por uma economia menos dependente de combustíveis fósseis...”

Luiz Inácio Lula da Silva, abertura da 79ª Assembleia Geral das Nações Unidas, Nova York, 24 de setembro de 2024.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Financiadora de Estudos e Projetos

INUNDAÇÕES, SECA E FOGO: O ALERTA DOS BIOMAS

Uma contribuição à COP30

Organizadores
Celso Pansera
Ima Vieira
Luiz Davidovich
Fernando Peregrino

1ª edição
EXPRESSÃO POPULAR
São Paulo • 2025

PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Geraldo Alckmin

MINISTRA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Luciana Santos

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Luis Manuel Rebelo Fernandes



Empresa pública vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), a Finep promove o desenvolvimento econômico e social do país, por meio do fomento público à Ciência, Tecnologia e Inovação visando a ampliação da base industrial e tecnológica do País em todas as áreas e setores.

PRESIDENTE

Celso Pansera

DIRETORES

Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho – Diretoria de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Elias Ramos de Souza – Diretoria de Inovação

Janaina Prevot Nascimento – Diretoria Administrativa

Márcio Stefanni Monteiro Moraes – Diretoria Financeira, de Crédito e de Captação

CHEFE DE GABINETE

Fernando Peregrino

INUNDAÇÕES, SECA E FOGO: O ALERTA DOS BIOMAS

UMA CONTRIBUIÇÃO À COP30

ORGANIZADORES

Celso Pansera, Ima Vieira, Luiz Davidovich, Fernando Peregrino

AUTORES

Alan Pimentel, Ana Paula Cunha, Eduardo de Souza Martins, Gilberto Câmara, Ima Vieira, Isabela Andrade,

Jose A. Marengo, Júlia Rodrigues, Liana Anderson, Marcelo Dutra da Silva, Mariana Vale, Osvaldo Moraes,

Regina Alvalá, Renata Libonati, Rodrigo Costa, Rui Vicente Oppermann,

Schubert Júnior, Thiago Picolo

REVISÃO

Lia Urbini

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Zap Design

APOIO EDITORIAL

Karla Emanuele Rodrigues Oliveira

Luciana Andrade Vianna

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I61 Inundações, seca e fogo: o alerta dos biomas - uma contribuição à COP30 / Organizadores: Celso Pansera...[et al.]. -- 1.ed. -- São Paulo : Expressão Popular, 2025.
138 p. : il.

ISBN 978-65-5891-165-4

Vários autores.

Acima do título: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Financiadora de Estudos e Projetos.

1. Biodiversidade - Brasil. 2. Biomas - Brasil. I. Pansera, Celso.
II. Título.

CDU 574.1(81)

Bibliotecária: Eliane Maria da Silva Jovanovich - CRB 9/1250

Sumário

PREFÁCIO.....	7
<i>Celso Panseira</i>	
APRESENTAÇÃO.....	9
<i>Celso Panseira, Ima Vieira, Luiz Davidovich, Fernando Peregrino</i>	
SITUAÇÃO E DESAFIOS DOS BIOMAS BRASILEIROS NO ENFRENTAMENTO À CRISE CLIMÁTICA	
O IMPACTO INVISÍVEL DAS CHEIAS NO RIO GRANDE DO SUL.....	17
<i>Marcelo Dutra da Silva</i>	
SECA E FOGO NOS BIOMAS BRASILEIROS: DESASTRES ANUNCIADOS.....	25
<i>Jose A. Marengo, Liana Anderson, Ana Paula Cunha, Renata Libonati, Alan Pimentel, Júlia Rodrigues</i>	
VULNERABILIDADE DOS BIOMAS BRASILEIROS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	53
<i>Regina C. S. Alvalá</i>	
RESILIÊNCIA DOS BIOMAS BRASILEIROS.....	63
<i>Mariana M. Vale</i>	
SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS, VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E AMEAÇAS AOS BIOMAS.....	73
<i>Ima Vieira</i>	
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE NO BRASIL: RESULTADOS E LIÇÕES APRENDIDAS.....	81
<i>Gilberto Câmara</i>	
GESTÃO DE RISCO E GESTÃO DE DESASTRE: A GESTÃO DO RISCO É A GESTÃO DAS VULNERABILIDADES.....	91
<i>Oswaldo Luiz Leal de Moraes</i>	

EXPERIÊNCIAS PÚBLICAS E PRIVADAS NO
ENFRENTAMENTO DOS DESAFIOS CLIMÁTICOS

CRISE CLIMÁTICA, DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E RECONSTRUÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL.....	99
<i>Rui Oppermann</i>	
A IMPORTÂNCIA DAS UNIVERSIDADES NO APOIO À SOCIEDADE E NO ENFRENTAMENTO À CRISE CLIMÁTICA	107
<i>Isabela Fernandes Andrade</i>	
O PAPEL DA FINEP E DA COOPERAÇÃO INTERNACIONAL NO APOIO A AÇÕES E SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA OS BIOMAS BRASILEIROS.....	111
<i>Rodrigo Moraes L. de A. Costa</i>	
GESTÃO DO CONHECIMENTO PARA A TRANSIÇÃO REGENERATIVA DA AGRICULTURA	121
<i>Eduardo Martins</i>	
BIOECONOMIA NA PHARMAKOS D'AMAZÔNIA.....	127
<i>Schubert Junior</i>	
A EXPERIÊNCIA DA RE.GREEN EM RESTAURAR A VEGETAÇÃO NATIVA EM GRANDE ESCALA	131
<i>Thiago Picolo</i>	
RECOMENDAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS.....	133
SOBRE OS AUTORES	137

Prefácio

CELSO PANSERA¹

O Brasil, detentor de uma extraordinária riqueza de biodiversidade e biomas diversificados, encontra-se diante de desafios cada vez mais complexos devido ao agravamento das alterações climáticas globais. O evento catastrófico que afetou o Rio Grande do Sul e o aumento exponencial de focos de queimadas no Cerrado, Pantanal e Amazônia não são apenas tragédias locais, mas um sinal de alerta para a situação crítica que os biomas brasileiros estão enfrentando. Nesse contexto, assume particular importância o seminário “O desastre do RS e as ameaças aos biomas brasileiros”, realizado na Finep em 25 de junho de 2024, o qual buscou reunir reflexões e aprendizados sobre os impactos socioambientais causados pelas mudanças climáticas e as políticas necessárias para proteger nossa rica diversidade natural.

Os capítulos aqui reunidos, baseados nas palestras apresentadas naquele seminário e um capítulo adicional sobre a seca e as queimadas nos biomas, trazem uma rica variedade de vozes e conhecimentos, desde a análise crítica da situação dos biomas e os desafios das políticas públicas até as experiências inovadoras do setor privado. Cada autor, especialista em sua área, oferece percepções valiosas sobre possíveis soluções sustentáveis para os biomas brasileiros e para enfrentar e mitigar os impactos das mudanças climáticas nas diversas regiões do país. O seminário organizado pela Finep trouxe à baila essas discussões cruciais, e foi inspirador ver como especialistas, gestores e representantes da sociedade civil trabalham juntos para encontrar soluções.

¹ Presidente da Finep.

O cenário se torna ainda mais preocupante quando consideramos a perda de biodiversidade, insumo para uma bioeconomia sustentável, e a interconexão entre os biomas e a dependência que temos dos serviços ecossistêmicos prestados por eles. A degradação de um bioma acaba refletindo na saúde e qualidade de vida de todos os brasileiros. Portanto, a leitura deste livro é um convite à reflexão e à ação. Ele nos desafia a não apenas compreender a gravidade da situação, mas a nos mobilizar em busca de um futuro sustentável. A nossa capacidade de recuperação e a resiliência de nossos biomas dependerão diretamente da forma como reagimos a este momento crítico.

A 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 30) que será realizada em Belém em 2025, tem muitos desafios diante de um cenário de crescente urgência para enfrentar a crise climática. Encorajo a todos os leitores a tomarem a iniciativa de se envolverem nesse debate, no âmbito local, nacional ou internacional. Que as lições aqui apresentadas inspirem um engajamento mais amplo em prol da proteção e recuperação dos nossos biomas, e que possamos trabalhar juntos em direção a um Brasil mais sustentável, justo e resiliente.

Apresentação

GELSO PANSERA,¹ IMA VIEIRA²
LUIZ DAVIDOVICH,³ FERNANDO PEREGRINO⁴

O Brasil é um dos países com maior biodiversidade do mundo, abrangendo seis biomas únicos: Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal, além de uma extensa região costeira.⁵ As trajetórias de desenvolvimento nos últimos 40 anos no Brasil geraram muitos impactos socioambientais, a partir da expansão da fronteira agrícola. O desmatamento para expansão de pastagens e agricultura, o desenvolvimento de infraestrutura e das cidades e os incentivos políticos e financeiros para a ocupação de terras são os principais impulsionadores das mudanças de uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros, afetando a biodiversidade, os recursos hídricos, as emissões de carbono e o clima regional e local.⁶

A pressão sobre os recursos naturais é intensa; e os conflitos por terra e territórios tradicionais têm se intensificado, resultando em perda de biodiversidade, degradação ambiental, assassinatos de defensores ambientais e incêndios desastrosos em todos os biomas. Essa nova realidade coincide com mudanças no cenário político brasileiro, influenciadas por transformações sociais e econômicas em âmbito global e intensificadas pelo negacionismo

¹ Presidente da Finep.

² Assessora da Presidência da Finep.

³ Assessor da Presidência da Finep.

⁴ Chefe de Gabinete da Finep.

⁵ IBGE 2019 – Mapa de biomas do Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html?=&t=o-que-e>

⁶ BPBES, 2018. 1º Diagnóstico Brasileiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. Ver link na pag. 74.

científico, o desmonte da legislação ambiental, bem como pela redução do aparato técnico-institucional das agências ambientais.

No contexto das mudanças climáticas, assistimos o seu efeito em todos os biomas brasileiros. Há impactos significativos na biodiversidade, com alteração de ecossistemas e habitats naturais, afetando a distribuição de espécies nos biomas. Na agricultura, a variabilidade climática tem resultado em perdas nas safras, afetando a segurança alimentar e hídrica, tanto em comunidades rurais quanto urbanas. A saúde pública é outra área afetada, com o aumento de doenças relacionadas ao calor e a maior disseminação de vetores de doenças como dengue, oropouche e malária. Esses e outros inúmeros desafios destacam a urgência de implementar medidas de adaptação e mitigação para enfrentar as mudanças climáticas nos biomas.⁷

É neste contexto que a Finep organizou, em 25 de junho de 2024, um seminário motivado pelo desastre ocorrido no Rio Grande do Sul, com o objetivo de discutir os desafios enfrentados pelos biomas brasileiros e a necessidade de desenvolver políticas eficazes para enfrentar eventos climáticos extremos. O evento contou com a participação de especialistas, gestores públicos e representantes de empresas, que trouxeram reflexões importantes sobre a atual crise climática e ecológica no Brasil e as experiências públicas e privadas na mitigação de impactos socioambientais.

Os objetivos do seminário foram: 1) apresentar o estado dos biomas e discutir sua vulnerabilidade e resiliência frente às mudanças climáticas e os desafios de ciência, tecnologia e inovação (CT&I) para o monitoramento dos biomas e gestão de desastres; 2) analisar as iniciativas inovadoras das Universidades e do setor privado para aumentar a resiliência ecológica dos biomas; 3) fornecer subsídios para atuação da Finep no apoio a CT&I voltados a ações de mitigação/adaptação climática nos biomas.

O seminário proporcionou uma plataforma valiosa para a troca de conhecimentos e experiências entre especialistas e representantes de diversos setores, destacando a necessidade de ações coordenadas para enfrentar os

⁷ Artaxo, P. Biomas brasileiros e as mudanças climáticas: políticas de adaptação ao novo clima, consequentes e baseadas em ciência, são necessárias e urgente. *Cienc. Cult.* v. 75, n. 4, São Paulo, out./dez. 2023.

desafios climáticos no Brasil. A apresentação completa do seminário pode ser acompanhada no canal da Finep na plataforma YouTube.⁸

A inclusão, neste livro, de um capítulo sobre secas e incêndios foi essencial devido à crescente frequência e intensidade desses eventos climáticos extremos no Brasil. Assim, esta coletânea contribui para o debate sobre a crise climática, a preservação dos biomas e os desafios para o Brasil, reunindo 15 textos que compõem esta obra. Além do prefácio e desta introdução, o livro apresenta 13 capítulos, distribuídos em duas partes. Ao final, são apresentadas recomendações para políticas públicas.

A primeira parte do livro apresenta sete capítulos que tratam da situação e dos desafios para os biomas brasileiros no enfrentamento à crise climática.

No primeiro capítulo, “O impacto invisível das cheias no Rio Grande do Sul”, Marcelo Dutra explora como as intensas chuvas no Estado afetaram a infraestrutura urbana e a qualidade de vida das populações. Ele destaca a necessidade urgente de redesenhar as práticas de planejamento urbano e a gestão de recursos para lidar com eventos climáticos extremos e, assim, reduzir os prejuízos futuros. No segundo capítulo, “Seca e fogo nos biomas brasileiros: desastres anunciados”, José Marengo e colaboradores exploram os regimes de seca e fogo e os seus impactos nos biomas do Brasil, e discutem como a ação humana influencia direta e indiretamente o fogo no país. Em “Vulnerabilidade dos biomas às mudanças climáticas”, Regina Alvalá analisa de forma crítica como as mudanças climáticas impactam diversos biomas brasileiros, apontando para o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos e a imprescindibilidade de estratégias de mitigação e adaptação para proteger tanto a biodiversidade quanto as economias locais.

Seguindo essa linha, no capítulo “Resiliência climática dos biomas brasileiros”, Mariana M. Vale se concentra na capacidade de recuperação dos biomas diante de eventos climáticos adversos. Ao valorizar o papel das áreas protegidas, a autora sugere medidas que podem fortalecer a resiliência ecológica frente a essas mudanças. Ima Vieira, em “Serviços ecossistêmicos, vulnerabilidade socioambiental e ameaças aos biomas”, aborda os serviços

⁸ Acesso direto pelos endereços <https://www.youtube.com/watch?v=WQZozrzDOdE> (1ª parte) e <https://www.youtube.com/watch?v=DoBrFNSZxAk&t=25s> (2ª parte).

ecossistêmicos essenciais que eles fornecem, as principais ameaças aos biomas e apresenta o mapa de vulnerabilidade socioambiental dos municípios brasileiros, importante tema na discussão sobre sustentabilidade.

Gilberto Câmara, no capítulo “Inteligência artificial para agricultura e meio ambiente no Brasil: Resultados e lições aprendidas”, analisa o papel da inteligência artificial no monitoramento e gestão ambiental no Brasil, ressaltando a importância de construir uma infraestrutura de dados eficaz, bem como o valor da colaboração entre diversas áreas do conhecimento para otimizar a utilização de IA na agricultura. No último capítulo desta primeira parte, “Gestão de risco e gestão de desastre – A gestão do risco é a gestão das vulnerabilidades”, Osvaldo Moraes discute a importância de uma abordagem de gestão de riscos que priorize a redução de vulnerabilidades sociais, tecnológicas e ambientais, destacando a necessidade de adaptação e preparação para minimizar os impactos dos desastres naturais.

A segunda parte do livro, contendo seis capítulos, caracteriza-se por apresentar experiências públicas e privadas que ajudam a enfrentar os desafios climáticos.

Rui Oppermann, em “Plano de reconstrução do Rio Grande do Sul”, propõe estratégias de reconstrução pós-desastre que enfatizam a criação de uma infraestrutura resiliente, uma governança adequada e o envolvimento das comunidades na preparação para eventos futuros. Isabela Fernandes Andrade, em “A importância das Universidades no apoio à sociedade e no enfrentamento à crise climática”, explora o papel vital das universidades na pesquisa e na formulação de políticas relacionadas às mudanças climáticas, promovendo inovações tecnológicas e soluções fundamentadas na ciência. Rodrigo Moraes L. de A. Costa, no capítulo “O Papel da Finep e da cooperação internacional no apoio a ações e soluções sustentáveis para os biomas brasileiros”, enfatiza a atuação da Finep no incentivo a iniciativas sustentáveis que visam ao desenvolvimento dos biomas brasileiros, sublinhando a importância da cooperação internacional para a expansão desses esforços.

Os três últimos capítulos referem-se a projetos apresentados por empresas privadas. No capítulo “Gestão do conhecimento para a transição regenerativa da agricultura”, Eduardo Martins discute a relevância da gestão do conhecimento para facilitar a transição para práticas agrícolas regenerativas, enfatizando a necessidade de inovação contínua e da colaboração ativa entre agri-

cultores e pesquisadores. Em “A bioeconomia na Pharmakos D’Amazônia”, Schubert Junior analisa o modelo de negócios dessa empresa, que combina inovação com sustentabilidade, utilizando bioativos amazônicos para desenvolver produtos de valor agregado, promovendo assim o desenvolvimento sustentável na região amazônica. Por último, Thiago Picolo, em “O desafio da re.green em restaurar a vegetação nativa em grande escala”, examina os esforços da re.green para restaurar ecossistemas nativos em grande escala, destacando os desafios técnicos e financeiros encontrados, assim como a importância de parcerias que ampliem o impacto positivo ambiental.

Ao final, apresentamos um conjunto de recomendações para políticas públicas, considerando o aporte de todos os autores desta obra.

Assim, consideramos que esta publicação oferece uma síntese do que foi apresentado no seminário e está disponível para a sociedade como um recurso informativo, que leva em conta e complementa os debates ocorridos em torno da 5ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, realizada nos dias 30 e 31 de julho e 1 de agosto de 2024. A Finep recebeu atribuições importantes no âmbito da Conferência, oferecendo amplas contribuições, em especial no enfoque relacionado à Nova Indústria Brasil (Nib) – aprovada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI) lançada em 22 de janeiro de 2025⁹ e tendo atuado na realização de diversos seminários ao longo do ano, cujo material se encontra compilado em livros organizados por seu presidente Celso Pansera e seu chefe de gabinete Fernando Peregrino.

O conjunto de livros publicados pela Finep em 2024, ao lado das contribuições da 5ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, oferecem ao país uma consolidação de visões e propostas fundamentais para a realização de um desenvolvimento sustentável com justiça social e protagonismo internacional do país. Em especial, consideramos que este livro será uma referência importante para as discussões durante a COP30, para embasar soluções e ampliar o engajamento de múltiplos atores nas discussões sobre os caminhos para a ação climática nos biomas brasileiros e no mundo.

A nuvem de palavras a seguir mostra os temas que estiveram em destaque nos capítulos do livro.

⁹ Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/composicao/se/cndi/missoes>

Situação e desafios dos biomas
brasileiros no enfrentamento
à crise climática

O impacto invisível das cheias no Rio Grande do Sul

MARCELO DUTRA DA SILVA¹

O clima mudou e pensar a cidade exige uma reflexão profunda quanto aos problemas que nos cercam e afetam a qualidade de vida, a nossa e de todos que vivem associados ao contexto urbano. Atender a Lei é apenas uma parte do processo, em que pesam decisões baseadas em boas práticas.

A Gestão Pública precisa reavaliar suas escolhas, evitar o avanço desordenado do espaço urbano, reconhecer os riscos e minimizar os conflitos. Se a ideia de não investir em algo que se fez às custas da biodiversidade ou afetou a vida das pessoas já se mostrava uma tendência, agora empresas começam a questionar se compensa permanecer em cidades cercadas pelo perigo, que não se protegem e nem buscam se preparar para lidar com os eventos climáticos extremos.²

O prejuízo da má reputação tem promovido mudanças significativas de comportamento, quanto as práticas de valor que se deseja agregar na realização de múltiplos negócios. Algo que tem feito uma enorme diferença em cidades que descobriram que é possível conciliar investimento com proteção do meio ambiente, bem-estar social e qualidade de vida, onde a ideia de desenvolvimento não é obscurecida pelo lucro e pelas cifras envolvidas no investimento.

O mercado está mais atento e os consumidores estão mais interessados e conscientes. A tendência é que façam escolhas mais sustentáveis, por em-

¹ Laboratório de Sustentabilidade Corporativa ESG, Universidade Federal do Rio Grande.

² A cheia do Rio Grande. Direção: Carolline Leite. Produção: Globo News, 2024, (74 min) (Documentário). Disponível em: <https://globoplay.globo.com/a-cheia-do-rio-grande/t/NyqqDtC5T/>

preendimentos que valorizam o verde e que não tensionam tanto as relações sociais. Inclusive, diante de um cenário de mudanças climáticas, a cada evento mais devastador, pensar nas consequências do espaço construído pode ser uma questão de sobrevivência.

Basta observar os eventos climáticos que vêm nos alcançando para perceber o quanto estamos vulneráveis e despreparados.³ Bairros inteiros perderam sua capacidade de escoar a água diante de chuvas intensas, por vezes associadas a um super El Niño, onde áreas naturais, que deveriam estar livres, servindo de faixa marginal de proteção (FMP), estão parcialmente impermeabilizadas (aterradas), com o serviço ambiental esponja comprometido.

Alertas jamais faltaram. Diversos relatórios do Painel Intergovernamental para Mudanças Climática (IPCC) já haviam apontado consequências do clima para o Brasil. Em 2014, apesar dos dados generalistas e pouco específicos, o IPCC, no seu 5º Relatório Síntese (AR5), deixa claro que o Brasil (e toda América do Sul) sofrerá graves impactos, relacionados principalmente com saúde e alimentação.⁴

Em 2023, em outro relatório-síntese (AR6), o IPCC destacou o uso de combustíveis fósseis como o grande motor do aquecimento global; que a temperatura global aumentou mais rapidamente desde 1970 do que em qualquer outro período de 50 anos durante os últimos 2.000 anos; que para manter o aquecimento em 1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais, as emissões terão que ser reduzidas drasticamente, até 2050.⁵

Do mesmo modo, centenas de cientistas já vinham alertando para os episódios de estiagem prolongada (extremo climático experimentado há mais tempo no território gaúcho), enquanto outros chamavam atenção para a pos-

³ Carrasco, J. C. Brazil is reeling from catastrophic floods. What went wrong – and what does the future hold? *The Guardian*, 11/05/2024. Disponível em: www.pressreader.com/usa/the-guardian-usa/20240511/282037627257203.

⁴ 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, RK Pachauri e LA Meyer (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 151 p.

⁵ IPCC 2023 Mudanças Climáticas 2023: Relatório de Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Core Writing Team, H. Lee e J. Romero (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, p. 35-115.

sibilidade de aumento das chuvas volumosas. Eu mesmo já vinha alertando as autoridades da minha cidade, com base nas evidências locais de temperatura e precipitação, com base na série histórica de dados meteorológicos da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), entre 1972 e 2022, sobre a necessidade de mudarmos nossa mentalidade quanto à forma de ocupar o espaço urbano.⁶ Afinal, a impermeabilização de tudo, sem critérios e/ou medidas de precaução, sugere alto riscos. E viver no ambiente de margem, exposto ao pulso de inundação dos corpos hídricos, é tão arriscado quanto edificar em áreas baixas, planas e úmidas.

Em maio, quando as chuvas chegaram na região serrana, algo próximo dos 800 mm, as águas escoaram em alta velocidade pelos vales destruindo cidades inteiras, levando pontes, estradas, lavouras... No Guaíba, as águas se empilharam, ganharam o ambiente de margem e invadiram as cidades. Um pesadelo de cifras incalculáveis, no qual pessoas perderam a vida, outras ainda estão desaparecidas e muitas ficaram desabrigadas, passando a viver nos chamados centros de acolhimento, providenciados pelo governo.

As chuvas seguiram persistentes por semanas, as águas desceram pela Lagoa e a invasão das cidades se mostrou inevitável, sobretudo nas áreas mais expostas e vulneráveis. Até aquele momento, a referência de cheias para o RS estava cravada no evento de 1941 e de lá para cá uma série de infraestruturas de contenção e medidas contra alagamentos foram instaladas em diferentes pontos com densidade urbana ao longo da bacia, junto às cidades posicionadas na planície, mas poucas funcionaram agora.

A maior parte dessas obras de proteção foram instaladas na década de 1970, mas permaneceram esquecidas e sem receber a devida manutenção. Algo que em Porto Alegre e na região metropolitana foi determinante na tragédia. As comportas do muro da Mauá, por exemplo, não resistiram bem e, ao que tudo indica, o sistema de bombas de drenagem da capital também não funcionou de forma adequada, o que pode ter facilitado a invasão das

⁶ Moura, J. “Não dá para imaginar que podemos seguir a vida normal”. *Deutsche Welle*, 16/05/2024. Disponível em: www.dw.com/pt-br/n%C3%A3o-d%C3%A1-para-imaginar-que-podemos-seguir-a-vida-normal/a-69100055

águas.⁷ De outra parte, uma série de projetos de controle de cheias – previstos para a região dos vales e para a grande Porto Alegre, com recursos aprovados há mais de 10 anos – nunca saiu do papel.^{8,9} E já que a nossa memória remete a 1941, é possível que boa parte tenha que ser redimensionada para 2024.

As águas que tomaram o Guaíba, que invadiram a capital e cobriram as cidades, aos poucos, escoaram para a Lagoa dos Patos, onde o pesadelo foi ganhando novos contornos. Ao longo da planície, na chamada Costa Doce, no litoral Gaúcho, as cidades assentadas sobre terrenos baixos, planos e úmidos – muitas vezes associados a vales de inundação e muito próximos dos corpos hídricos, diferente dos vales encaixados da Serra, que sofreram com enxurradas – viram o avanço das águas se dar por inundação. O nível das águas subiu, ganhou as margens urbanizadas e produziu cenas devastadoras.¹⁰

As chuvas não deram trégua e, mesmo com volumes de precipitação menores, cobriram todo o sul gaúcho e sobrecarregaram o sistema. Em dado momento, para além de todo volume de água que estava descendo, a Lagoa estava recebendo as águas do Rio Camaquã, do Arroio Grande, do Arroio Pelotas, do Rio Piratini e da bacia da Lagoa Mirim, que tem parte de sua extensão no território uruguaio. Com toda essa carga, o canal São Gonçalo encheu; a Lagoa, que parece estar menos profunda, não comportou o volume hídrico e as águas se espalharam pelas margens e terrenos baixos planos.

⁷ Campos Jr., G.; Vinícius, C. Entenda as falhas do sistema antienchente de Porto Alegre. Poder360, 12/05/2024. Disponível em: www.poder360.com.br/poder-infra/infraestrutura/entenda-as-falhas-do-sistema-antienchente-de-porto-alegre/

⁸ Prazeres, L. O programa que projetou cheias no Sul e acabou engavetado no governo Dilma: “Perdemos tempo”. *G1 – Globo* [BBC News], 10/05/2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2024/05/10/o-programa-que-projetou-cheias-no-sul-e-acabou-engavetado-no-governo-dilma-perdemos-tempo.ghtml>

⁹ Resende, T.; Alves, S, A. C. RS tem grandes projetos de prevenção a desastres atrasados ou que nem saíram do papel. *G1 – Globo* [TV Globo], 21/05/2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2024/05/21/rs-tem-grandes-projetos-de-prevencao-a-desastres-atrasados-ou-que-nem-sairam-do-papel.ghtml>.

¹⁰ IHU – Instituto Humanitas Unisinos. Novo Regime Climático. “Não podemos continuar fazendo mais do mesmo”. Entrevista especial com Marcelo Dutra da Silva. Unisinos, POA, 15/05/2024. Disponível em: www.ihu.unisinos.br/categorias/159-entrevistas/639416-enchentes-no-rs-nao-podemos-continuar-fazendo-mais-do-mesmo-entrevista-especial-com-marcelo-dutra-da-silva.

Diferente do ano de 1941, os mesmos ambientes invadidos agora estão densamente ocupados. Terrenos baixos planos e úmidos que passaram a ser especulados pelo avanço urbano, expondo milhares de pessoas ao perigo dos alagamentos e pulsos de inundações do entorno. Um cuidado que parece nunca ter estado presente na administração pública de nenhum dos municípios atingidos, agravado pela falta de planejamento urbano, flexibilizações e negligência do poder público. Tanto que mesmo os espaços protegidos por barreiras de contenção mostraram-se extremamente ameaçados.

A expansão do urbano sobre as margens e terrenos baixos planos e úmidos revela mais do que a nossa manifesta exposição aos perigos. Na prática, mostra nossa profunda falta de atenção aos riscos, diante de um cenário de extremos climáticos que tendem a ser mais recorrentes e para os quais não estamos nos preparando, cujos investimentos necessários parecem distantes de qualquer orçamento possível.¹¹

Nem mesmo os prognósticos da reconstrução do Rio Grande do Sul, algo estimado em 15 anos de muito trabalho e ao custo de alguns bilhões de reais,¹² vem servindo de estímulo ao fazer diferente. Perdemos áreas residenciais, empresas, infraestruturas de logística e áreas de produção e mesmo assim vamos ver muito do que foi perdido sendo recuperado nas mesmas dimensões e nos mesmos lugares de antes, sem levar em consideração a recorrência de eventos futuros.

Perdemos parte da nossa capacidade instalada, os prejuízos ainda serão calculados e recuperar isso não será uma tarefa fácil. Vamos precisar de muita mobilização política, de muita união e alinhamento, o que talvez seja um obstáculo maior que a falta de dinheiro. Além do mais, somos “péssimos” em planejamento e há um histórico de negligência e flexibilização das Leis

¹¹ Dutra, D. Entrevista com o professor Marcelo Dutra da Silva. *Diário Popular*, Pelotas, 13/05/2024. Disponível em: <https://www.facebook.com/diariopopularRS/videos/entrevista-com-o-professor-marcelo-dutra-da-silva/1476230853005641/>

¹² PODER360. Reconstrução do RS custará ao menos R\$ 110 bi, diz federação. 21/05/2024. Disponível em: www.poder360.com.br/poder-economia/economia/reconstrucao-do-rs-custara-ao-menos-r-110-bi-diz-federacao/

ambientais,¹³ que não nos favorece e depõe contra as iniciativas e intenções apontadas nos discursos da política, pelo menos os que vem sendo realizados no momento.

De outra parte, diante da possibilidade de algumas cidades terem que se mudar de lugar,¹⁴ enquanto outras terão que buscar se adaptar ao novo normal climático, é indicado que sejam revisados os instrumentos de planejamento e sejam implementados os instrumentos até então não considerados, como zoneamentos e planos de emergência climática.¹⁵ Precisamos aprender com este evento¹⁶ e colocar em prática medidas excepcionais de correção, como o desassoreamento dos corpos hídricos e recuperação das áreas degradadas.

O desassoreamento entrou na pauta das reivindicações do dia, sobretudo na Serra. Comunidades vêm saindo às ruas para cobrar providências do governo estadual, com forte participação de produtores rurais.¹⁷ No entanto, a falta de “boas práticas” com o meio ambiente foi o que justamente fez com que o Estado enfrentasse problemas com a invasão das águas. Então, o desassoreamento até pode ser uma saída, mas certamente não é a única e deve ser projetado dentro de um plano, em que se leve em consideração os limites da natureza, respeitar a legislação e o máximo de rigor científico.

Um processo delicado, mas com potencial de gerar “bons frutos”. Ao passo que estimulamos a atividade de extração (de areia) pela iniciativa privada, podemos fomentar uma nova lógica de extração dos bens minerais, inovando por meio de um fundo para financiar a recuperação de áreas degra-

¹³ Serra e Pompeu, L. Flexibilização Ambiental. Congresso aprovou ao menos 11 leis para afrouxar normas de proteção na última década. *O Globo*. 20/05/2024.

¹⁴ Guimaraes, L. ‘Cidades inteiras do RS terão que mudar de lugar’, diz pesquisador que alertou para despreparo contra chuvas. *BBC News*. 08/05/2024. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cd18p5zpp0no>.

¹⁵ Paraguassu, L. Persistent Brazil floods raise specter of climate migration. *Reuters*. 14/05/2024. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/americas/persistent-brazil-floods-raise-specter-climate-migration-2024-05-13/>

¹⁶ Schaedler, C. What can we learn from the floods in southern Brazil? 10/06/2024. Disponível em: <https://thinklandscape.globallandscapesforum.org/68706/brazil-floods-2024/>

¹⁷ Tâmbara, I. Governo do RS anuncia R\$ 300 milhões em programa de desassoreamento de arroios e rios. *GZH*, Porto Alegre. 29/07/2024. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2024/07/governo-do-rs-anuncia-r-300-milhoes-em-programa-de-desassoreamento-de-arroios-e-rios-clz75xam6003n01630mpyawbh.html>.

dadas e orientação dos produtores rurais quanto às práticas de uso, manejo e conservação do solo e da água. Assim, extraímos os materiais que geram os problemas e ao mesmo tempo geramos a receita necessária para atacar as causas do problema. Já se percebeu que apenas cobrar e fiscalizar não basta e, não funcionando, são necessárias medidas mais efetivas e conectadas com a realidade climática.¹⁸ E essa nem é a nossa questão mais urgente.

Existem as pessoas que precisam ter suas casas de volta e outras, o emprego, pois as empresas que foram mais fortemente atingidas vão precisar de ajuda financeira¹⁹ para a retomada de suas atividades, e isso vai levar tempo. Da mesma forma, devemos levar em consideração a questão dos acessos entre as cidades. Novas pontes terão de ser construídas, agora muito mais robustas; novos traçados de estrada terão de ser implementados, outros restaurados e praticamente todos, pelo menos os principais, da região mais afetada terão de ser revisados e reforçados. Todas essas são medidas que precisam ser consideradas para garantir maior resiliência e adaptação daquela região aos eventos climáticos extremos. É óbvio, muito tempo e muito dinheiro.

Entretanto, algo que pouco se fala, que é tão importante quanto, é a questão do lixo gerado pela destruição das águas. As enchentes de maio reproduziram verdadeiras montanhas de lixo, sobretudo nas cidades que foram mais danificadas.²⁰ E ali tem de tudo: entulhos, metais, madeira, lama, material biológico infectante, material químico contaminante, resíduos de diversas naturezas. A solução é difícil, de alto custo e demorada. Aliás, até que seja dado a eles um destino final, os acúmulos ameaçam a vida, a qualidade dos recursos e a saúde das pessoas. Triste, mas é real!

¹⁸ RS – Estado do Rio Grande do Sul. Comitês de Bacias e desassoreamento de rios são destaques do Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas. Comunicação do Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas, 11/07/2024. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/comites-de-bacias-e-desassoreamento-de-rios-sao-destaques-do-forum-gaucha-de-mudancas-climaticas>

¹⁹ Giussane, D. Enchentes no RS: quais são as iniciativas já existentes para ajudar pequenos negócios gaúchos. *Exame*, 15/05/2024. Disponível em: <https://exame.com/negocios/enchentes-no-rs-quais-sao-as-iniciativas-ja-existent-para-ajudar-pequenos-negocios-gauchos/>

²⁰ Araujo, L. A. Entulho, lixões provisórios e medo de contaminação: depois de tragédia, Porto Alegre ainda sofre com resíduos. *BBC News*, 13/06/2024. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c3gg9qzg1y3o>.

Na prática, tudo que vivemos em maio de 2024, e nos meses seguintes, mais do que um recado da natureza, deveria ter servido como experiência de aprendizado. Mas não é o que parece. O esforço para abreviar a Lei ambiental continua; empreendimentos seguem sendo aprovados em áreas de risco; e quase não se vê notícias sobre revisões de planos diretores e/ou implementação de novos instrumentos de planejamento urbano nos municípios, para minimizar o impacto dos eventos climáticos extremos. Se não aprendermos com tudo que aconteceu e não nos prepararmos, não vai dar certo.

Seca e fogo nos biomas brasileiros: desastres anunciados

JOSE A. MARENGO, ¹LIANA ANDERSON²
ANA PAULA CUNHA,³ RENATA LIBONATI⁴
ALAN PIMENTEL,⁵ JÚLIA RODRIGUES⁶

Introdução

O aquecimento global atingiu aproximadamente 1.1 °C desde o período pré-industrial até o presente, acarretando um significativo aumento na frequência, duração e intensidade de eventos extremos (EE).⁷ Do ponto de vista das causas climáticas e interações físicas, as secas são talvez os mais complexos e menos compreendidos de todos os EE.⁸ Além de uma vasta variabilidade temporal, podendo durar algumas semanas até anos, as secas possuem escalas espaciais que variam de alguns quilômetros até

¹ Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais CEMADEN, São José dos Campos, Brasil e Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais, UNESP/CEMADEN, São José dos Campos, Brasil

² Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais CEMADEN, São José dos Campos, Brasil

³ Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais CEMADEN, São José dos Campos, Brasil e Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais, UNESP/CEMADEN, São José dos Campos, Brasil

⁴ Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

⁵ Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais CEMADEN, São José dos Campos, Brasil e Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais, UNESP/CEMADEN, São José dos Campos, Brasil

⁶ Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023 – <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

⁸ Herrera-Estrada, J. E., Y. Satoh, and J. Sheffield (2017), Spatiotemporal dynamics of global drought, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 2254–2263, doi:10.1002/2016GL071768

regiões e continentes inteiros.⁹ De fato, tem-se observado um aumento na ocorrência de EE de secas desde o final do século XX em várias regiões do planeta, sendo que a partir do início do século XXI estes episódios têm sido mais intensos e frequentes, com estabelecimento de novos recordes de intensidade e duração.¹⁰ Apesar das incertezas associadas às projeções futuras de secas,¹¹ espera-se que a contínua aceleração das mudanças do uso e cobertura do solo induza ao agravamento de eventos de secas ao longo das próximas décadas,¹² impactando grande parte da população mundial e todos os ecossistemas.¹³

Em geral, os impactos das secas sobre a sociedade e os ecossistemas se desenvolvem lentamente, em sua maioria são indiretos, podendo persistir por bastante tempo após o fim do evento e têm continuado a aumentar em todo o mundo.¹⁴ Os impactos das secas nos incêndios na vegetação estão bem documentados em várias regiões do mundo, com a ocorrência, intensidade e extensão claramente a aumentar em resposta a períodos prolongados de déficit de chuvas.¹⁵ Alguns exemplos dessas amplificações, com épocas de queimadas extremas associadas a períodos de seca, tem sido observados na

⁹ Pendergrass, A.G., Meehl, G.A., Pulwarty, R. *et al.* Flash droughts present a new challenge for subseasonal-to-seasonal prediction. *Nat. Clim. Chang.* 10, 191–199 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0709-0>

¹⁰ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023 – <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

¹¹ Vicente-Serrano SM, Peña-Angulo D, Domínguez-Castro F, Tomás-Burguera M, Noguera I, El Kenawy A (2022) Ahmed (2022) Global drought trends and future projections, *Phil. Trans. R. Soc. A.* 38020210285 <http://doi.org/10.1098/rsta.2021.0285>

¹² Huang, S.; Wang, S.; Gan, Y. *et al.* Widespread global exacerbation of extreme drought induced by urbanization. *Nat Cities* 1, 597–609 (2024). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s44284-024-00102-z>

¹³ Chiang, F.; Mazdiyasi, O. & AghaKouchak, A. Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nat Commun* 12, 2754 (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22314-w>.

¹⁴ Ahmad, D. M.; Kam, J. Disparity between global drought hazard and awareness. *Npj Clean Water* 7, 75 (2024). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00373-y>.

¹⁵ Bowman, D. M. J. S.; Kolden, C. A.; Abatzoglou, J. T. *et al.* Vegetation fires in the Anthropocene. *Nat Rev Earth Environ* 1, 500–515 (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3>.

Austrália,¹⁶ Estados Unidos,¹⁷ Europa,¹⁸ China¹⁹ e América do Sul.^{20,21} Com um aquecimento de 1°C acima dos níveis pré-industriais, a duração da temporada de incêndios aumentou em média 33 dias nos últimos 35 anos na América do Sul.²² A seca tem potencial de interagir com outros controladores climáticos (temperatura, vento e umidade relativa) e antrópicos do fogo (ignições, desmatamento, atividades de manejo e combate), podendo afetar a intensidade, extensão e frequência das queimadas. O fogo é um evento multidimensional, cujos atributos incluem as dimensões espacial (tamanho médio do fogo, área total queimada), temporal (frequência, recorrência e sazonalidade) e de magnitude (intensidade e gravidade). A combinação desses atributos determina o regime do fogo, que podem ser amplificados dependendo das condições meteorológicas.

As secas severas que assolam a Amazônia decorrentes de mudanças e variabilidade climáticas, como o aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico (El Niño) e do Atlântico Norte (AMO – Atlantic Multidecadal Oscillation), têm sido associadas com o aumento na frequência

-
- ¹⁶ Kumar, S. V.; Holmes, T.; Andela, N.; Dharssi, I.; Vinodkumar, Hain C. *et al.* (2021). The 2019-2020 Australian drought and bushfires altered the partitioning of hydrological fluxes. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091411.
- ¹⁷ Keeley, Jon E.; Teresa J. Brennan, and Alexandra D. Syphard. 2022. The Effects of Prolonged Drought on Vegetation Dieback and Megafires in Southern California Chaparral. *Ecosphere* 13(8), p. e4203.
- ¹⁸ Sutanto, S. J.; Vitolo, C.; Di Napoli, C.; D'Andrea, M. & Van Lanen, H. A. (2020). Heatwaves, droughts, and fires: Exploring compound and cascading dry hazards at the pan-European scale. *Environment international*, 134, 105276. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105276>.
- ¹⁹ Du, J.; Wang, K.; and Cui, B. (2021) Attribution of the Extreme Drought-Related Risk of Wildfires in Spring 2019 over Southwest China, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 102, n. 1 (January 2021), p. S83-S90 (8 pages)
- ²⁰ Carrasco-Escaff, T.; Garreaud, R.; Bozkurt, D.; Jacques-Coper, M.; Pauchard, A. (2024) The key role of extreme weather and climate change in the occurrence of exceptional fire seasons in south-central Chile, *Weather and Climate Extremes*, v. 45, 2024, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100716>
- ²¹ Jimenez, J. C.; Miranda, V.; Trigpo, I.; Libonati, R.; Albuquerque, R.; Peres, L.; Espinoza, J. C. (2024) Vegetation Warming and Greenness Decline across Amazonia during the Extreme Drought of 2023, *Remote Sens.* 2024, 16 (14), 2519, disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs16142519>.
- ²² Jolly, W. M. *et al.* Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nat. Commun.* 6, 7537 (2015).

e intensidade de incêndios florestais, em especial na última década.^{23,24} Incêndios no Cerrado aumentaram paralelamente durante eventos de seca em 2005, 2007 e 2010, sugerindo controles climáticos regionais semelhantes sobre o comportamento do fogo.²⁵ Em contrapartida, a intensidade do fogo aumenta significativamente em áreas de desmatamento na Amazônia brasileira.²⁶ Ou seja, os incêndios associados à degradação florestal tornam-se uma questão cada vez mais urgente no contexto do regime de incêndios e das emissões de carbono associadas.^{27,28} Em relação a incêndios e emissões de carbono pela floresta em anos de seca, Aragão *et al.*²⁹ apontam que as emissões tropicais de carbono oriundas dos incêndios florestais induzidos pela seca, geralmente, não são incluídas nas emissões de carbono em âmbito nacional. Libonati *et al.*³⁰ examinaram os impactos da seca na incidência de incêndios durante o período 2003-2020 na Amazônia brasileira e concluíram que, apesar do aumento de intensidade e extensão das secas na região, houve uma redução da atividade de fogo impulsionada pelo declínio nas taxas de desmatamento nos últimos anos. Por este motivo, os autores ressaltam que a seca de 2015, apesar de ter sido

²³ Aragão, L. E. O. C. *et al.* Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biol. Rev.* 89, 2014, p. 913-931.

²⁴ B. Chen *et al.*, Agricultural and Forest Meteorology, 180(10), 2013, p. 265-280.

²⁵ Silva, P. S.; Nogueira, J.; Rodrigues, J. A.; Santos, F. L. M.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C.; Daldegan, G. A.; Pereira, A. A.; Peres, L.; Schmidt, I. B.; Libonati, R. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions, *Journal of Environmental Management*, v. 296, 2021, 113098.

²⁶ Libonati, R.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C. *et al.* Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon. *Sci Rep* 11, 2021, p. 4400.

²⁷ Aragão, L. E. O. C. *et al.* Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biol. Rev.* 89, 2014, 913-931.

²⁸ Cano-Crespo, A.; Traxl, D. & Thonicke, K. Spatio-temporal patterns of extreme fires in Amazonian forests. *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 230, 2021, 3033-3044.

²⁹ Aragão, L. E. O. C.; Anderson, L. O.; Fonseca, M. G.; Rosan, T. M.; Vedovato, L. B.; Wagner, F. H. *et al.* (2018). 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun.* 9, p. 536, doi: 10.1038/s41467-017-02771-y.

³⁰ Libonati, R.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C. *et al.* Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon. *Sci Rep* 11, 2021, 4400.

a mais severa no período,³¹ teve 50%, 42%, e 21% menos focos de calor do que os anos anteriores de seca, respectivamente 2005, 2007, e 2010. Ou seja, o uso descontrolado do fogo pelo homem, em particular ligados ao desmatamento e manutenção de pastagens e agricultura, tem mais influência do que a seca nos incêndios registrados em toda a Amazônia entre os anos de 2003 e 2020.³² Segundo Silveira *et al.*,³³ a maioria dos períodos com alto número de focos de incêndios está mais relacionada com as queimadas agrícolas e com o desmatamento do que com as condições de seca extrema. Ao avaliar o desmatamento e as anomalias de déficit hídrico, o primeiro fator contribuiu mais do que o segundo para os incêndios no período analisado. A agricultura, especialmente no Brasil, adota o fogo como técnica para renovação da vegetação; no entanto, sem manejo adequado, o risco de escapar e atingir a floresta é grande, particularmente em períodos de seca.

Além disso, sabemos agora que os efeitos das secas são substancialmente intensificados quando outros EE ocorrem simultaneamente no mesmo período (eventos compostos) ou sequencialmente um após o outro (eventos em cascata), mesmo que esses eventos isolados não sejam recordes *per se*.^{34,35} Um exemplo dessa amplificação ocorreu no Pantanal em 2020, quando a ocorrência de OCs moderadas conjugadas com uma seca

³¹ Panisset, J. S.; Libonati, R.; Gouveia, C. M. P.; Machado-Silva, F.; França, D. A.; Franci, J. R.; Peres, L. F. (2018) Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin, *Int. J. Climatology*, 08 aug. 2017.

³² Libonati, R.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C. *et al.* Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon. *Sci. Rep.* 11, 2021, p. 4400.

³³ Silveira, M. V. F.; Silva-Junior, C. H. L.; Anderson, L. O.; Aragão, L. E. Amazon fires in the 21st century: The year of 2020 in evidence, *Global Ecol Biogeogr.* 2022, n. 31, p. 2026-2040.

³⁴ Mukherjee, S.; Mishra, A. K.; Zscheischler, J. *et al.* Interaction between dry and hot extremes at a global scale using a cascade modeling framework. *Nat. Commun* 14, 277, 2023.

³⁵ Zscheischler, J.; Martius, O.; Westra, S. *et al.* A typology of compound weather and climate events. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1, 2020, p. 333-347.

severa^{36,37,38,39} desencadeou a pior temporada de incêndios das últimas duas décadas.⁴⁰ Dos mais de 3,9 milhões de ha queimados,^{41,42} 71% ocorreram sob regime composto de secas e ondas de calor (CSOC),⁴³ levando a impactos alarmantes, como a morte de cerca de 17 milhões de vertebrados⁴⁴ e danos extensos a habitats de espécies ameaçadas de extinção.⁴⁵

-
- ³⁶ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; Michelin, C. M.; De Praga Baião, C. F.; Chuchón Angulo, E.; Almeida, E. K.; Kazmierczak, M. L.; Mateus, N. P. A.; Silva, R. C. and Bender, F. (2021) Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3:639204. doi: 10.3389/frwa.2021.639204.
- ³⁷ Geirinhas, J. L.; Russo, A. C.; Libonati, R. *et al.* Combined large-scale tropical and subtropical forcing on the severe 2019-2022 drought in South America. *Npj Clim. Atmos. Sci.* 6, 2023, p. 185.
- ³⁸ Thielen, D.; Ramoni-Perazzi, P.; Puche, M. L.; Marquez, M.; Quintero, J. I.; Rojas, W. R.; Soto-Werschitz, A.; Thielen, K.; Nunes, A.; Libonati, R. The Pantanal under Siege – On the Origin, Dynamics and Forecast of the Megadrought Severely Affecting the Largest Wetland in the World, *Water* 2021, 13(21), 2021, p. 3034.
- ³⁹ Cunha, A. P. M. A.; Buermann, W. & Marengo, J. A. Changes in compound drought-heat events over Brazil's Pantanal wetland: an assessment using remote sensing data and multiple drought indicators. *Clim. Dyn.* 62, 2024, p. 739-757.
- ⁴⁰ Libonati, R.; Geirinhas, J. L.; Silva, P. S.; Russo, A.; Rodrigues, J. A.; Belém, L. B. C.; Nogueira, J.; Roque, F. O.; Da Camara, C. C.; Nunes, A. M. B.; Marengo, J. A. & Trigo, R. M. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. *Environmental Research Letters*, 17(1), 2022b, 015005.
- ⁴¹ Garcia, L. C.; Szabo, J. K.; Oliveira Roque, F.; Martins Pereira, A. M.; da Cunha, C. M.; Damasceno-Júnior, A.; Morato, R. G.; Moraes, W.; Libonati, R.; Ribeiro, D. B. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans, *Journal of Environmental Management*, v. 293, 2021, 112870.
- ⁴² Libonati, R.; Da Camara, C. C.; Peres, L. F.; Sander de Carvalho, L. A. & Garcia, L. C. (2020). Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature*, 588 (7837), p. 217-219. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-03464-1>.
- ⁴³ Libonati, R.; Geirinhas, J. L.; Silva, P. S.; Russo, A.; Rodrigues, J. A.; Belem, L. B. C.; Nogueira, J.; Roque, F. O.; Da Camara, C. C.; Nunes, A. M. B.; Marengo, J. A. & Trigo, R. M. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. *Environmental Research Letters*, 17(1), 2022b, 015005.
- ⁴⁴ Tomas, W. M.; Berlink, C. N.; Chiaravalloti, R. M. *et al.* Distance sampling surveys reveal 17 million vertebrates directly killed by the 2020's wildfires in the Pantanal, Brazil. *Sci. Rep.* 11, 2021, 23547.
- ⁴⁵ dos Santos Ferreira, B. H.; da Rosa Oliveira, M.; Rodrigues, J. A. *et al.* Wildfires Jeopardise Habitats of Hyacinth Macaw (*Anodorhynchus hyacinthinus*), a Flagship Species for the Conservation of the Brazilian Pantanal. *Wetlands* 43, 2023, 47.

O Brasil está sofrendo atualmente (2024) a pior seca em mais de 70 anos.⁴⁶ Além disso, muitas áreas conservadas em todo o país, como a floresta amazônica e as áreas úmidas do Pantanal e no Cerrado, estão queimando, principalmente devido a atividades antrópicas conjugadas com a situação severa do estresse hídrico. Com um aumento das temperaturas globais e eventos extremos, agravam-se os incêndios. Durante a temporada de incêndios de 2023-2024, cerca de 3,9 milhões de km² foram queimados em todo o mundo, gerando emissões de carbono (C) do fogo associadas a estes eventos em torno de 16% acima da média, totalizando 2,4 Pg C.⁴⁷ Somam-se a este cenário diversos impactos na biodiversidade, perdas econômicas, poluição do ar e redução na produção de chuvas. Com episódios de incêndios da vegetação e secas, doenças respiratórias podem aumentar devido à exposição aos materiais particulados e gases tóxicos; eles também geram poluição do ar, que pode viajar por quilômetros, impactando regiões e países distantes do local de ocorrência do fogo. Neste capítulo abordaremos características dos padrões de seca e incêndios no Brasil e suas interações, discutindo seus impactos na sociedade e nos biomas do país.

A seca

A seca é um extremo climático originado pelo déficit de precipitação, que resulta na baixa disponibilidade hídrica para as diferentes atividades humanas.^{48,49} A seca é uma ameaça na medida em que ocorre de forma intensiva e extensiva em áreas densamente povoadas, podendo resultar

⁴⁶ Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/09/secas-estao-se-tornando-mais-frequentes-e-intensas-no-brasil-aponta=-Cemaden#:~:text=An%C3%A1lise%20do%20Centro%20Nacional%20de,Brasil%20dos%20%C3%BAltimos%2070%20anos.>

⁴⁷ Jones, M. W.; Kelley, D. I.; Burton, C. A.; Di Giuseppe, F.; Barbosa, M. L. F.; Brambleby, E.; ... & Xanthopoulos, G. State of Wildfires 2023-2024. *Earth System Science Data*, 16(8), 2024, p. 3601-3685. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/essd-16-3601-2024>.

⁴⁸ Wilhite, D. A. and Glantz, M. H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water* 110(3), 1985, p. 111-120.

⁴⁹ Cunha, A. P. M. A.; Zeri, M.; Deusdará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Vieira, R. M.; Barbosa, A. A.; Cunningham, C. *et al.* Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 10, 642. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

em desastres quando as capacidades locais dos diferentes sistemas são insuficientes para evitar danos significativos.^{50, 51, 52} É importante ressaltar que os efeitos da seca se acumulam lentamente ao longo de um período, podendo perdurar por meses ou anos após a finalização do evento, quando as chuvas se restabelecem. Sendo assim, dependendo da intensidade, extensão espacial e frequência das secas, estas podem causar graves implicações para diferentes setores produtivos no país.

Historicamente no Brasil, as secas têm sido mais recorrentes e intensas na região semiárida, região essa que também é caracterizada pela maior vulnerabilidade socioeconômica aos efeitos das secas, principalmente pela proporção de pessoas vivendo em situação de extrema pobreza e pobreza. Entre os anos de 2012 e 2017, a região semiárida foi intensamente impactada por um processo prolongado de seca, já definido como o “evento” mais intenso dos últimos 30 anos.^{53, 54, 55} De acordo com Marengo *et al.*,⁵⁶

⁵⁰ Cunha, A. P. M. A.; Zeri, M.; Deusdará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Vieira, R. M.; Barbosa, A. A.; Cunningham, C.; *et al.* Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 10, 2019, p. 642. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>

⁵¹ Marengo, J. A.; Souza, C. M.; Thonicke, K.; Burton, C.; Halladay, K.; Betts, R. A. *et al.* Changes in Climate and Land Use over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Frontiers in Earth Science*, 6, Article 228, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>.

⁵² Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; Michelin, C. M.; De Praga Baião C. F.; Chuchón Angulo, E.; Almeida, E. K.; Kazmierczak, M. L.; Mateus, N. P. A.; Silva, R. C. and Bender, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3:639204, 2021. doi: 10.3389/frwa.2021.639204.

⁵³ Jones, M. W., Kelley, D. I., Burton, C. A., Di Giuseppe, F., Barbosa, M. L. F., Brambleby, E., ... & Xanthopoulos, G. (2024). State of Wildfires 2023–2024. *Earth System Science Data*, 16(8), 3601–3685. <https://doi.org/10.5194/essd-16-3601-2024>

⁵⁴ Brito, S. S. B.; Cunha, A. P.; Cunningham, C. C.; Alvalá, R. C. S.; Marengo, J. Á.; Carvalho, M. G. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *Int. J. Climatol.* 2017, Published online in Wiley Online Library, doi: 10.1002/joc.5225.

⁵⁵ Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Alvala, R. S. C.; Cunha, A. P.; Brito, S.; Moraes, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2017.

⁵⁶ Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Alvala, R. S. C.; Cunha, A. P.; Brito, S.; Moraes, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2017.

esta seca pluriannual apresentou uma intensidade e impacto não vistos em várias décadas na economia e na sociedade regional.

No entanto, embora historicamente as secas sejam mais recorrentes na região semiárida, nos últimos anos, as secas têm sido bastante severas, causando impactos em diferentes regiões do Brasil, como, por exemplo, na Amazônia. Apenas no século XXI, estas aconteceram em 2005, 2010, 2015-2016 e 2023-2024, que foram anos de El Niño.^{57,58,59,60} Durante os anos de seca na Amazônia, os níveis dos rios caem drasticamente, provocando alta mortalidade de peixes, especialmente se combinada com ondas de calor e falta de saneamento, como aconteceu em 2023.^{61,62} Tal condição contribui para impactos na navegação fluvial, o que causa o isolamento das comunidades locais ribeirinhas, que utilizam os rios e afluentes como forma de locomoção.⁶³

⁵⁷ Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Soares, W. R.; Rodriguez, D. A.; Camargo, H.; Riveros, M. P. e Pablo, A. D. Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. *J. Clim.* 26 (22), 2013, p. 9137-9154.

⁵⁸ Marengo, J. A.; Souza, C. M.; Thonicke, K.; Burton, C.; Halladay, K.; Betts, R. A. *et al.* Changes in Climate and Land Use over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Frontiers in Earth Science*, 6, Article 228, 2018.

⁵⁹ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Espinoza, J.-C.; Fu, R.; Schongart, J.; Jimenez, J. C.; Costa, M. C.; Ribeiro, J. M.; Wongchuig, S.; & Zhao, S. Y. The Drought of Amazonia in 2023-2024. *American Journal of Climate Change*, 13, 2024, p. 567-597.

⁶⁰ Jiménez-Muñoz, J. C.; Mattar, C.; Barichivich, J.; Santamaría-Artigas, A.; Takahashi, K.; Malhi, Y.; Sobrino, J. A.; van der Schrier, G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016, *Scientific Reports*, 2016, 6:33130, doi: 10.1038/srep33130.

⁶¹ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Espinoza, J.-C.; Fu, R., Schongart, J.; Jimenez, J. C.; Costa, M. C.; Ribeiro, J. M.; Wongchuig, S.; & Zhao, S. Y. The Drought of Amazonia in 2023-2024. *American Journal of Climate Change*, 2024, 13, p. 567-597.

⁶² Fleischmann, A.; Papa, F.; Hamilton, S.; Melack, J. *et al.* Extreme Warming of Amazon Waters in a Changing Climate, 2024.

⁶³ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Espinoza, J.-C.; Fu, R.; Schongart, J.; Jimenez, J. C.; Costa, M. C.; Ribeiro, J. M.; Wongchuig, S.; & Zhao, S. Y. The Drought of Amazonia in 2023-2024. *American Journal of Climate Change*, 2024, 13, p. 567-597.

O Pantanal também experimentou secas graves entre 2009-2012 (os três últimos foram anos de El Niño) e atualmente, em 2023-24.^{64,65,66,67} Desde 2019, o Pantanal sofreu uma seca prolongada que significou um desastre para a região, e os incêndios subsequentes consumiram centenas de milhares de hectares.⁶⁸ A falta de chuvas durante os verões de 2019 e 2020 foi causada pela redução do transporte do ar quente e úmido do verão da Amazônia para o Pantanal. Esta seca teve graves impactos na hidrologia do Pantanal. Os níveis hidrométricos caíram ao longo de todo o Rio Paraguai. Em 2021, os níveis dos rios atingiram valores extremamente baixos e, em alguns setores do neste rio, o transporte teve que ser restringido. Até 2023, os níveis mais baixos foram alcançados na seca de 1964, mas em 2024 os níveis foram mais baixos ou comparáveis aos de 1964. Tudo dá a entender que a seca atual afetando o Pantanal começou em 2019. Níveis muito baixos dos rios afetaram a mobilidade de pessoas e o transporte de soja e minerais para o Oceano Atlântico pela Hidrovia-Paraná-Paraguai.⁶⁹ Estes dados e os registros abaixo do normal da precipitação indicam uma situação crítica e perigosa, potencializando os riscos para a ocorrência de

⁶⁴ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; Michelin, C. M.; De Praga Baião C. F.; Chuchón Angulo, E.; Almeida, E. K.; Kazmierczak, M. L.; Mateus, N. P. A.; Silva, R. C. and Bender, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3, 2021, p. 639204, doi: 10.3389/frwa.2021.639204.

⁶⁵ Leal Filho, W.; Azeiteiro, U. M.; Salvia, A. L.; Fritzen, B. & Libonati, R. Fire in Paradise: Why the Pantanal is burning. *Environmental Science and Policy*, 123(May), 2021, p. 31-34, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.005>.

⁶⁶ Libonati, R.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C. *et al.* Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon. *Sci. Rep.* 11, 2021, 4400.

⁶⁷ Geirinhas, J. L.; Russo, A. C.; Libonati, R. *et al.* Combined large-scale tropical and subtropical forcing on the severe 2019-2022 drought in South America. *Npj Clim. Atmos. Sci.* 6, 185, 2023.

⁶⁸ Libonati, R. *et al.*, *Environ. Res. Lett.*, 2022a,17 015005.

⁶⁹ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; Michelin, C. M.; De Praga Baião C. F.; Chuchón Angulo E.; Almeida, E. K.; Kazmierczak, M. L.; Mateus, N. P. A.; Silva, R. C. and Bender, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3, 2021, 639204.

incêndios florestais no Pantanal, além de outras consequências atreladas ao uso dos recursos hídricos.

De acordo com Geirinhas *et al.*,⁷⁰ a maior parte da América do Sul tem observado, especialmente após a década de 1990, uma tendência significativa de diminuição de umidade do solo, especialmente sobre o Pantanal, sudeste do Brasil, Paraguai central e norte da Argentina. Ao analisar as mudanças de longo prazo no clima para esta região, os autores observaram um acentuado aumento das temperaturas de 1959-1989 para 1990-2022. Em relação à precipitação, há um contraste menos pronunciado na distribuição entre ambos os períodos. A correlação entre precipitação e temperatura indica que, nas últimas três décadas, anos secos são mais frequentemente associados a condições extremamente quentes nesta região. Essas condições recentes mais quentes explicam uma diminuição contínua nos níveis de umidade do solo, especialmente após a década de 1990, levando a condições de secas persistentes desde 2019.

A Bacia do Prata também experimentou secas desde 2019 até a primeira metade de 2023, durante o fenômeno La Niña. A região Sul do Brasil foi impactada por um evento severo e prolongado de déficit hídrico, que causou impactos no abastecimento urbano em grandes cidades como, por exemplo, Curitiba e, impactos na produção agrícola em grande parte da região (Figura 1). No evento de seca de 2019 a 2020, o primeiro trimestre de 2020 foi o mais crítico em termos de intensidade e expansão, uma vez que 100% dos municípios de toda a região foram classificados com condição de seca severa a excepcional.⁷¹ O impacto deste evento de seca também pôde ser observado pela queda da vazão do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

⁷⁰ Geirinhas, J. L.; Russo, A. C.; Libonati, R. *et al.* Combined large-scale tropical and subtropical forcing on the severe 2019-2022 drought in South America. *Npj Clim. Atmos. Sci.* 6, 185, 2023.

⁷¹ V. R. Fernandes *et al.* Secas e os impactos na região sul do Brasil, *Revista Brasileira de Climatologia*, 28, 561-584, 2021.

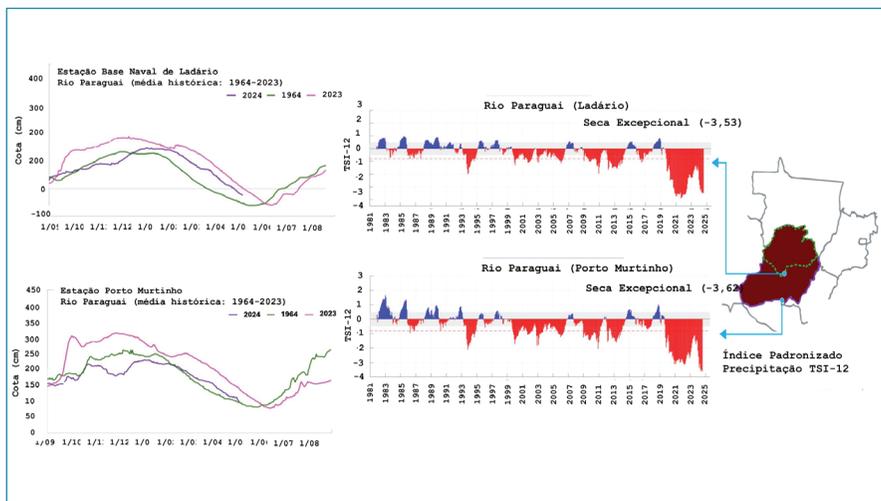


Figura 1. Comportamento dos níveis do Rio Paraguai em Ladário e Porto Murinho durante anos de seca. (Fonte: Cemaden)

A série temporal do índice de seca, denominado Spei (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index),⁷² mostra que a partir da década de 1990, as secas no Brasil se tornaram mais frequentes e intensas (valores mais negativos e consecutivos de Spei). O Spei é considerado um indicador mais amplo de seca, uma vez que inclui o papel da temperatura nas condições de seca. O cálculo do Spei é similar ao cálculo do Índice Padronizado de Precipitação (SPI); no entanto, usando a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração, que é uma forma simples de contabilizar os desvios do balanço hídrico de uma determinada região. Conforme os dados da Figura A, o país enfrentou três grandes secas (picos negativos e consecutivos de Spei): a primeira entre 1997 e 1998, a segunda entre 2015 e 2016, e a última em 2023 e 2024. Vale ressaltar que a seca de 2015–2016 superou a de 1997–1998, mas a atual (2023–2024), mesmo com dados parciais, já apresenta valores de Spei mais negativos, indicando ser a mais intensa e extensa da série histórica.

⁷² Vicente-Serrano, S. M.; Beguería, S.; López-Moreno, J. I.; Angulo, M. & El Kenawy, A. A New Global 0.5° Gridded Dataset (1901–2006) of a Multiscalar Drought Index: Comparison with Current Drought Index Datasets Based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology. American Meteorological Society* 11, 2010, p. 1003–1043.

De acordo com os dados, essa seca mais recente já tem uma duração de pelo menos 12 meses em grande parte do país (Figura 2).

De acordo com os dados do Índice Integrado de Seca (IIS),^{73,74} índice operacional para o monitoramento de secas no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden/MCTI, em termos de extensão, a seca de 2023-2024 lidera, abrangendo cerca de 5 milhões de km², o que corresponde a aproximadamente 59% do território brasileiro (Figura 3). Em segundo lugar, a seca de 2015-2016 afetou cerca de 4,6 milhões de km² (aproximadamente 54% do país). Já a seca de 1997-1998 atingiu cerca de 3,6 milhões de km², o equivalente a 42% do território nacional (Cemaden).

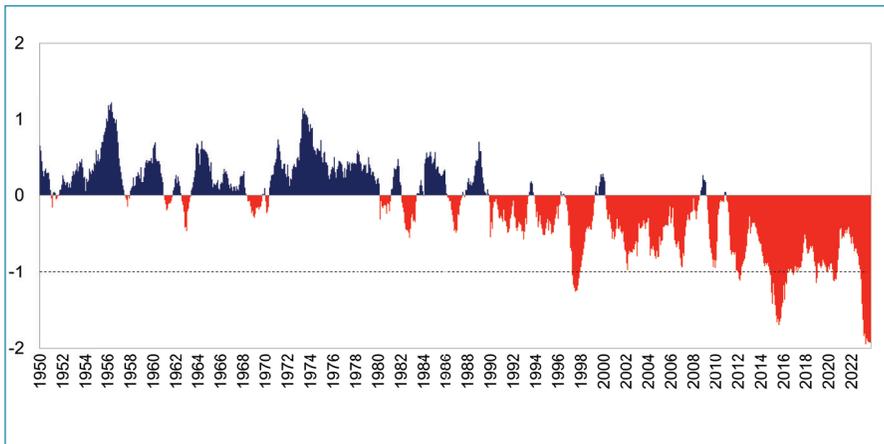


Figura 2. Evolução temporal das secas no Brasil considerando o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração de dezembro de 1951 a agosto de 2024. As barras em azul indicam períodos com chuvas acima da média, ao passo que as barras vermelhas indicam períodos com chuvas abaixo da média. (Fonte dos dados: Vicente-Serrano *et al.*, 2010)

⁷³ Cunha, A. P. M. A.; Zeri, M.; Deusdará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Vieira, R. M.; Barbosa, A. A.; Cunningham, C. *et al.* Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 10, 2019, p. 642. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

⁷⁴ Zeri, Marcelo; Cunha, Ana Paula; Cunningham, Christopher; Guedes, Márcia; Costa, Lidiane. “A long-term database of the Integrated Drought Index for Brazil from 2003 to 2023”, Mendeley Data, V1, 2024, doi: 10.17632/dd95bhn7mh.1.

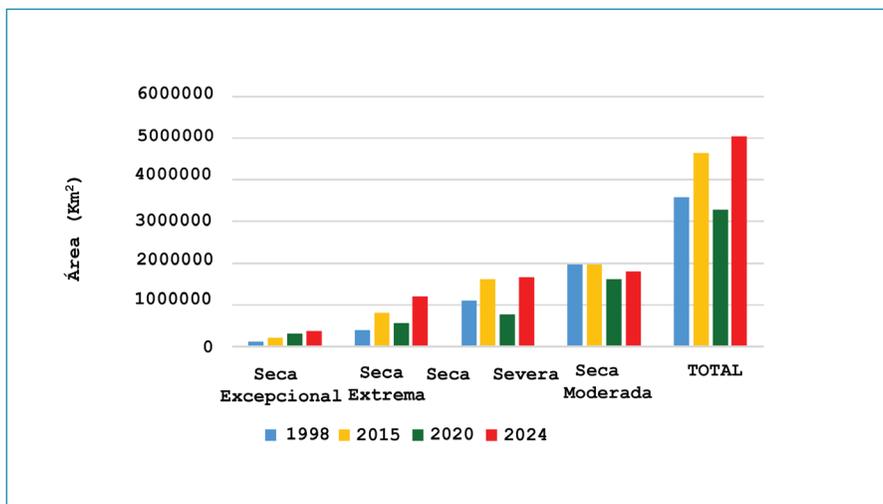


Figura 3. Comparação das áreas afetadas por diferentes intensidades de secas no Brasil em 1998, 2015, 2020 e 2024. (Fonte: Cemaden)

Dados do Cemaden⁷⁵ mostram que, em 2024, mais da metade do Brasil sofre os impactos diretos da crise climática, onde os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estão enfrentando a pior seca dos últimos 70 anos. Até setembro de 2024, aproximadamente 1.200 municípios no Brasil enfrentam condições de seca severa. Já em situação de seca extrema, são 263 cidades brasileiras. O déficit de chuvas observado desde a primavera de 2023 em uma área tão extensa do Brasil, e a ocorrência de altas temperaturas, ondas de calor e baixa umidade relativa do ar, chegando a registrar valores próximos de 7% em parte da região Centro-Oeste, impulsiona o alastramento das queimadas.

A criticidade da seca em todo o território brasileiro em 2024 foi avaliada no âmbito do monitoramento de secas do Cemaden.⁷⁶ Historicamente, o período de seca no Pantanal ocorre no segundo semestre, mas os efeitos do El Niño em 2023 e 2024 anteciparam e agravaram a estiagem, deixando

⁷⁵ Disponível em www.cemaden.gov.br.

⁷⁶ Disponível em: www.gov.br/Cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-agosto-2024.

a estação seca mais longa. O Índice Integrado de Seca do Cemaden^{77,78,79} corrobora a informação de déficit de precipitação, com seca fraca, moderada e grave persistentes na região hidrográfica do Rio Paraguai. Na Amazônia, a Figura 4 mostra os impactos da seca nos níveis do Rio Negro em Manaus, e os níveis em 2024 são ainda menores que durante a seca de 2023.

As causas da seca resultam de uma combinação de fatores que abrangem diferentes escalas espaciais e temporais. Em primeiro lugar, a estação chuvosa passada (2023) foi deficitária e começou 3 meses mais tarde na Amazônia, em decorrência da atuação do fenômeno El Niño, que normalmente causa diminuição das precipitações nesta região. Em consequência, a fraca estação chuvosa passada não conseguiu repor adequadamente a umidade do solo e da vegetação, nem recarregar os aquíferos, mantendo os níveis dos rios abaixo dos níveis esperados.⁸⁰ Em segundo lugar, a atual estação seca começou de forma antecipada, já no mês de abril de 2023, com o qual o solo e a vegetação começaram a perder umidade de forma prematura e sistemática, e os níveis dos rios foram diminuindo gradativamente, atingindo níveis inferiores aos observados no mesmo período de 2023. Ainda, a estação seca atual (2024) foi mais seca que o normal, incluindo vastas regiões que não receberam nenhuma precipitação desde maio. Essa situação deixou o solo e a vegetação extremamente secos, criando um ambiente favorável para a propagação de grandes incêndios.

⁷⁷ Cunha, A. P. M. A.; Zeri, M.; Deusdará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Vieira, R. M.; Barbosa, A. A.; Cunningham, C. *et al.* Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 2019, 10, p. 642.

⁷⁸ Marengo J. A.; Cunha A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel E.; Seluchi, M. E.; Michelin, C. M.; De Praga Baião, C. F.; Chuchón Ângulo, E.; Almeida, E. K.; Kazmierczak, M. L.; Mateus, N. P. A.; Silva, R. C. and Bender F. (2021). Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3, p. 639204.

⁷⁹ Zeri, Marcelo; Cunha, Ana Paula; Cunningham, Christopher; Guedes, Márcia; Costa, Lidiane. "A long-term database of the Integrated Drought Index for Brazil from 2003 to 2023", *Mendeley Data*, V1, 2024, doi: 10.17632/dd95bhn7mh.1.

⁸⁰ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Espinoza, J.-C.; Fu, R.; Schongart, J.; Jimenez, J. C.; Costa, M. C.; Ribeiro, J. M.; Wongchuig, S.; & Zhao, S. Y. The Drought of Amazonia in 2023-2024. *American Journal of Climate Change*, 13, 2024, p. 567-597.

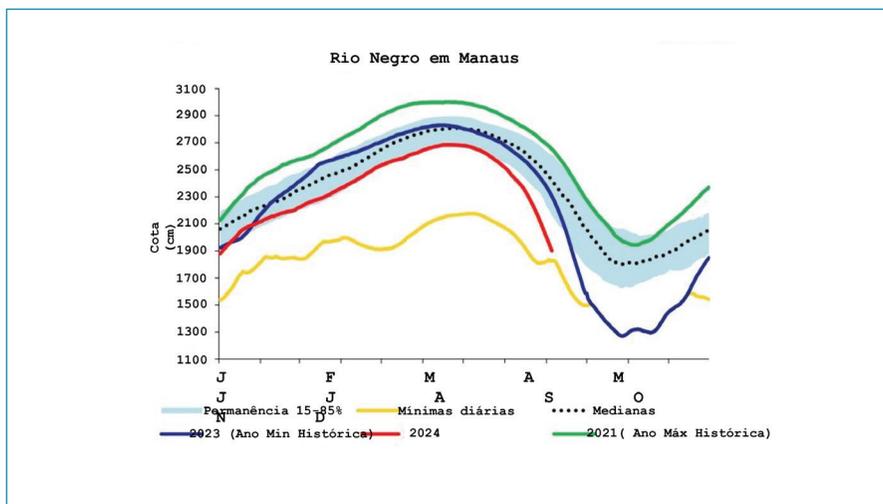


Figura 4. Cotas do Rio Negro em Manaus. (Fonte: Serviço Geológico do Brasil SGB)

O fogo

Os diferentes biomas no Brasil têm diferentes relações com o fogo.⁸¹ Por exemplo, o Cerrado e parte do Pantanal são considerados tolerantes ao fogo, onde a fauna e flora desenvolveram, ao longo de milênios/séculos, adaptações à ocorrência de incêndios e dependem dele para a manutenção do ecossistema. Em contrapartida, a Amazônia e a Mata Atlântica são biomas sensíveis à ocorrência de incêndios, onde o fogo é um agente nocivo à biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Porém, mesmo no caso dos ecossistemas que evoluíram com o fogo, modificações no regime natural do fogo, podem levar a consequências negativas. De acordo com estas dinâmicas, simulações desenvolvidas com modelos excluindo a componente fogo do sistema terrestre indicam uma maior homogeneização da superfície terrestre e uma menor biodiversidade.⁸² O estudo aponta que, no Brasil, por exemplo, a grande

⁸¹ Pivello, V. R.; Vieira I.; Christianini A. V.; Bandini Ribeiro, D.; Menezes, L. S.; Berlink, C. N.; Melo, F. P. L.; Marengo, J. A.; Tornquist, C. G., Tomas, W. M., Overbeck, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies, *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 19, Issue 3, 2021, p. 233-255.

⁸² Bond, W. J.; Woodward, F. I. & Midgley, G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New phytologist*, 165(2), 2005, p. 525-538.

diversidade de biomas desapareceria e o Pantanal, Cerrado, Mata Atlântica e Pampas, devido ao clima favorável, dariam lugar à floresta tropical. Por exemplo, nos biomas tolerantes do fogo, ele atua como controle da biomassa nas camadas superficiais do solo e da sua biodiversidade, e qualquer alteração gera uma perturbação desse equilíbrio: a exclusão do fogo leva a um aumento da biomassa acumulada acima do solo, potenciando a ocorrência de fogos de grandes dimensões e diminuindo a biodiversidade; por sua vez, o aumento da frequência e intensidade dos fogos leva a uma exclusão das espécies arbóreas e uma diminuição da biodiversidade.⁸³

De forma geral, os incêndios na vegetação são iniciados devido a causas humanas, considerado o meio mais comum de ignição no mundo inteiro, ou a causas naturais. Dentre as causas naturais estão as ignições por erupção vulcânica, e que, portanto, trata-se de ignições raras, enquanto os tipos mais frequentes de ignição natural são causados por descargas atmosféricas nuvem-solo.⁸⁴ Porém, vale a pena ressaltar que apenas a ocorrência do raio não é suficiente para desenvolver um incêndio na vegetação, dado que para um incêndio se desenvolver é necessário combustível (biomassa) para sustentá-lo, além de condições meteorológicas favoráveis.⁸⁵ No Brasil, a principal causa natural de incêndios na vegetação são as descargas atmosféricas, já que não há presença de atividade vulcânica. Em contrapartida, os incêndios iniciados por raios no país são raros, dado que existe uma defasagem entre os meses de maior incidência de raios (período úmido) e os meses com condições me-

⁸³ Pivello, V. R.; Vieira, I.; Christianini, A. V.; Bandini Ribeiro, D.; Menezes, L. S.; Berlinck, C. N.; Melo, F. P. L.; Marengo, J. A.; Tornquist, C. G.; Tomas, W. M.; Overbeck, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies, *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 19, Issue 3, 2021, p. 233-255.

⁸⁴ Kobziar, L. N. Fire on Earth: An Introduction. Resenha sobre o livro Scott, A. C.; Bowman, D. M. J. S.; Bond, S. J.; Pyne and Alexander, M. E. *Fire on Earth: An Introduction*. New Jersey: Wiley Blackwell, Hoboken, 2014, 434 p. Disponível em: <https://doi.org/10.4996/fireecology.1001088>.

⁸⁵ Moritz, M. A.; Morais, M. E.; Summerell, L. A.; Carlson, J. M. & Doyle, J. Wildfires, complexity, and highly optimized tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(50), 2005, 17912-17917.

teorológicas favoráveis a ocorrência de fogo, período seco (altas temperaturas, baixa umidade e ausência de chuvas).⁸⁶

Devido à larga extensão latitudinal do Brasil, espera-se que o regime de incêndios naturais no país não seja semelhante em todo o território, apresentando variações sazonais marcantes, porém, existem poucos estudos regionais sobre o tema. No Parque Nacional das Emas, no Cerrado, estima-se que raios são responsáveis por 2% das ignições.⁸⁷ Na região sudeste e os estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, apesar de em pouca quantidade, incêndios naturais tendem a ocorrer em condições de baixa precipitação, altas temperaturas, baixa velocidade do vento e umidade relativa moderada.⁸⁸ No Pantanal, por exemplo, estima-se que apenas 1% dos incêndios possuem como origem os raios, correspondendo a cerca de 3% da área total queimada ao ano.^{89,90,91} Ao longo de todas as estações do ano, observa-se que incêndios naturais permanecem integrando apenas uma pequena parcela da quantidade total, atingindo o seu ápice na primavera e seu mínimo durante o outono. As descargas atmosféricas durante os meses de verão não possuem tanta eficácia em provocar grandes incêndios naturais quanto na primavera devido às condições de falta de *stress* hídrico na vegetação.

Porém, nas últimas décadas, a atividade humana tem alterado significativamente vários aspectos do regime natural do fogo no Brasil, como sua frequência, extensão, intensidade e sazonalidade. Os incêndios estão evoluindo

⁸⁶ Coughlan, M. R.; Magi, B. I. & Derr, K. M. A global analysis of hunter-gatherers, broadcast fire use, and lightning-fire-prone landscapes. *Fire*, 1(3), 2018, p. 41.

⁸⁷ Ramos-Neto, M. B. & Pivello, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. *Environmental management*, 26, 2000, p. 675-684.

⁸⁸ Schumacher, V.; Setzer, A.; Saba, M. M.; Naccarato, K. P.; Mattos, E. & Justino, F. Characteristics of lightning-caused wildfires in central Brazil in relation to cloud-ground and dry lightning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 2022, p. 108723.

⁸⁹ Menezes, L. S.; de Oliveira, A. M.; Santos, F. L.; Russo, A.; de Souza, R. A.; Roque, F. O. & Libonati, R. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. *Science of the total environment*, 820, 2022, p. 153021.

⁹⁰ Schumacher, V.; Setzer, A.; Saba, M. M.; Naccarato, K. P.; Mattos, E. & Justino, F. Characteristics of lightning-caused wildfires in central Brazil in relation to cloud-ground and dry lightning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 2022, p. 108723.

⁹¹ Menezes, L. S.; de Oliveira, A. M.; Santos, F. L.; Russo, A.; de Souza, R. A.; Roque, F. O. & Libonati, R. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. *Science of the total environment*, 820, 2022, p. 153021.

no país, impulsionados por mudanças socioeconômicas e ambientais. Eles são iniciados pelas atividades humanas, tanto para eliminar a biomassa da área recentemente desmatada, muitas vezes de forma ilegal, quanto para manejo da área agropecuária. Existem também os incêndios criminosos realizados para afrontar comunidades tradicionais, para se apropriar de terras públicas ou mesmo como uma arma de ameaça, geralmente associada aos conflitos fundiários. O fogo iniciado por estas atividades pode se espalhar para áreas de vegetação natural e florestas.

Nos três biomas, a recorrência de fogo é alta (Figura 5), sendo que na Amazônia e no Cerrado os eventos acompanham o padrão das principais rodovias, o Arco de Desmatamento e fronteiras agrícolas como o Matopiba. No caso do Pantanal, esta dinâmica de fogo varia de acordo com o pulso de inundação e os diversos tipos de vegetação. Regiões florestais mais a norte queimam anualmente uma menor percentagem; regiões savânicas a sul queimam com mais regularidade.⁹²

Na bacia amazônica, mais de 50% da média anual de focos de calor são concentrados em um mês, denominado mês de pico de ocorrências. Em 52% da região, os picos de ocorrência de fogo ocorreram entre agosto e setembro e em 48%, entre outubro e março, mostrando padrões sazonais bem definidos relacionados à variação espaço-temporal da estação seca. Os picos de focos de calor ocorrem nos últimos dois meses da estação seca em 67% da região, e em 20% no primeiro mês da estação chuvosa. Quanto mais curta a estação seca, mais concentrada é a ocorrência de focos de calor no mês de pico, com predominância acima de 70% nas regiões com estação seca entre um e três meses.⁹³ No entanto, este padrão pode mudar. Nos últimos 40 anos, a região sul e leste da Amazônia tiveram um aumento de temperatura e redução de chuvas durante a estação seca de 2,5 °C e 1,9 °C, e 24% e 34%, respectivamente, sendo estes padrões mais intensos que no oeste

⁹² Damasceno-Junior, G. A.; Pereira, A. D. M. M.; Oldeland, J.; Parolin, P. & Pott, A. Fire, flood and Pantanal vegetation. *Flora and vegetation of the pantanal wetland*. Cham: Springer International Publishing, 2022, p. 661-688.

⁹³ Carvalho, N. S.; Anderson, L. O.; Nunes, C. A. *et al.* Spatio-temporal variation in dry season determines the Amazonian fire calendar. *Environmental Research Letters*.

da bacia.⁹⁴ Tanto a redução de chuvas o quanto aumento de temperaturas são variáveis que podem amplificar a flamabilidade da vegetação, fazendo com que os incêndios aumentem em área, velocidade de espalhamento ou mesmo na severidade dos impactos.⁹⁵

A época seca (junho a outubro) corresponde a mais de 90% da área queimada anual do Cerrado, com os meses de agosto a outubro representando pelo menos 64% do total.⁹⁶ Em geral, incêndios de menores proporções começam mais cedo na estação e se estendem após a estação seca, enquanto incêndios maiores e mais intensos ocorrem majoritariamente de agosto a outubro, quando o estresse da vegetação está no auge.⁹⁷ Esta variabilidade anual é controlada pela disponibilidade de combustível⁹⁸ no período que precede a estação seca, que tende a modular a atividade do fogo, afetando o acúmulo de combustíveis finos e sua umidade.⁹⁹ As variações regionais da ocorrência de fogo dependem de uma variedade de fatores tanto naturais quanto antropogênicos, incluindo condições meteorológicas, topografia, disponibilidade e continuidade de combustível e as atividades humanas ligadas ao uso e cober-

⁹⁴ Gatti, L. V.; Basso, L. S.; Miller, J. B.; Gloor, M.; Gatti Domingues, L.; Cassol, H. L. G. *et al.* Amazonia as a Carbon Source Linked to Deforestation and Climate Change. *Nature*, 595, 2021, p. 388-393.

⁹⁵ Li, S.; Rifai, S.; Anderson, L. O.; Sparrow, S. Identifying local-scale meteorological conditions favorable to large fires in Brazil, *Climate Resilience and Sustainability*, v. 1, issue 1 e 11, 2021.

⁹⁶ Silva, P. S.; Nogueira, J.; Rodrigues, J. A.; Santos, F. L. M.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C.; Daldegan, G. A.; Pereira, A. A.; Peres, L.; Schmidt, I. B.; Libonati, R. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions, *Journal of Environmental Management*, v. 296, 2021.

⁹⁷ Silva, P. S.; Nogueira, J.; Rodrigues, J. A.; Santos, F. L. M.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C.; Daldegan, G. A.; Pereira, A. A.; Peres, L.; Schmidt, I. B.; Libonati, R. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions, *Journal of Environmental Management*, v. 296, 2021.

⁹⁸ Wooster, M. J.; Roberts, G.; Perry, G. L. W. & Kaufman, Y. J. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110 (D24), 2005.

⁹⁹ Nogueira, J. M.; Rambal, S.; Barbosa, J. P. R. & Mouillot, F. Spatial pattern of the seasonal drought/burned area relationship across Brazilian biomes: Sensitivity to drought metrics and global remote-sensing fire products. *Climate*, 5(2), 42, 2017.

tura do solo.^{100,101} A variabilidade interanual do fogo no Cerrado está relacionada a padrões de variabilidade atmosférica, sendo que 71% desta variabilidade é explicada pelo clima.¹⁰² Por exemplo, o ano de 2007 foi caracterizado como um dos mais altos em termos de atividade de fogo, neste caso influenciado por uma seca induzida pelo La Niña.¹⁰³ Em 2010, uma forte fase positiva do Atlântico (A Oscilação Multidecadal – AMO) induziu condições recordes de seca ao longo da Amazônia oriental e meridional e as ecorregiões ocidentais adjacentes do Cerrado,¹⁰⁴ o que refletiu em alto índice de queimadas. As extensas queimadas em 2012 na região do Matopiba¹⁰⁵ também acontecem em paralelo com uma seca extrema,¹⁰⁶ que pode ter sido agravada pelo aumento das taxas de desmatamento e incentivos para a conversão de terras resultante de alterações no regime brasileiro do Código Florestal, que também ocorreu neste ano (Lei Federal 12.651/2012).

-
- ¹⁰⁰ Silva, P. S.; Nogueira, J. Rodrigues, J. A.; Santos, F. L. M.; Pereira, J. M. C.; Da Camara, C. C.; Daldegan, G. A.; Pereira, A. A.; Peres, L.; Schmidt, I. B.; Libonati, R. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions, *Journal of Environmental Management*, v. 296, 113098, 2021.
- ¹⁰¹ Rodrigues, J. A.; Libonati, R.; Pereira, A. A.; Nogueira, J. M.; Santos, F. L.; Peres, L. F.; ... & Setzer, A. W. (2019). How well do global burned area products represent fire patterns in the Brazilian Savannas biome? An accuracy assessment of the MCD64 collections. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 78, p. 318-331.
- ¹⁰² Silva, P. S.; Bastos, A.; Libonati, R.; Rodrigues, J. A. & Da Camara, C. C. Impacts of the 1.5 C global warming target on future burned area in the Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 446, 2019, p. 193-203.
- ¹⁰³ De Araújo, F. M.; Ferreira, L. G. & Arantes, A. E. Distribution patterns of burned areas in the Brazilian biomes: An analysis based on satellite data for the 2002-2010 period. *Remote Sensing*, 4(7), 2012, p. 1929-1946.
- ¹⁰⁴ Andreoli, R. V.; de Oliveira, S. S.; Kayano, M. T.; Viegas, J.; de Souza; R. A. F. & Candido, L. A. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, 37(3), 2017, p. 1374-1390.
- ¹⁰⁵ Silva, P. S.; Rodrigues, J. A.; Santos, F. L. M.; Pereira, A. A.; Nogueira, J.; Da Camara, C. C., & Libonati, R. Drivers of burned area patterns in cerrado: the case of Matopiba region. In: *2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LA-GIRS)*, 2020, March, p. 542-547.
- ¹⁰⁶ Cunha, A. P. M. A.; Zeri, M.; Deusdará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Vieira, R. M.; Barbosa, A. A.; Cunningham, C. *et al.* Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 10, 2019, p. 642. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

No Pantanal, o fogo não se comporta da mesma forma em todo o bioma e está profundamente ligado ao pulso de cheia anual e plurianual, associado às variações climáticas, além das ações antrópicas.¹⁰⁷ A maior parte das áreas do Pantanal queima num período de cinco meses: de julho a novembro.¹⁰⁸ A biomassa produzida durante a cheia fica disponível para ser queimada durante a estação seca onde, havendo ignição, ocorrem a maior parte dos fogos. Nos últimos 20 anos, a maior parte ocorreu em regiões de gramíneas e, assim como em florestas, é quando os fogos atingem maiores dimensões.^{109,110} Nas zonas de pastagem, os fogos são menores, delimitados pela fragmentação da paisagem. Estudos recentes mostram que as grandes temporadas de fogo no Pantanal, como em 2020, estiveram associadas a condições meteorológicas extremas¹¹¹ e ao uso negligente do fogo.¹¹² O nível de água do rio Paraguai durante a época

¹⁰⁷ Garcia, L. C.; Szabo, J. K.; Oliveira Roque, F.; Martins Pereira, A. M.; da Cunha, C. M.; Damasceno-Júnior, A.; Morato, R. G.; Moraes, W.; Libonati, R.; Ribeiro, D. B. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans, *Journal of Environmental Management*, v. 293, 2021, 112870.

¹⁰⁸ Correa, D. B.; Alcântara, E.; Libonati, R.; Massi, K. G. & Park, E. Increased burned area in the Pantanal over the past two decades. *Science of the total environment*, n. 835, 2022, p. 155386.

¹⁰⁹ Kumar, S.; Getirana, A.; Libonati, R.; Hain, C.; Mahanama, S. & Andela, N. Changes in land use enhance the sensitivity of tropical ecosystems to fire-climate extremes. *Scientific reports*, 12(1), 2022, p. 964, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05130-0>.

¹¹⁰ Ferreira Barbosa, M. L.; Haddad, I.; da Silva Nascimento, A. L.; Máximo da Silva, G.; Moura da Veiga, R.; Hoffmann, T. B., ... & Oighenstein Anderson, L. Compound impact of land use and extreme climate on the 2020 fire record of the Brazilian Pantanal. *Global Ecology and Biogeography*, 31(10), 2022, p. 1960-1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/geb.13563>

¹¹¹ Libonati, R.; Geirinhas, J. L.; Silva, P. S.; Russo, A.; Rodrigues, J. A.; Belém, L. B. C.; Nogueira, J.; Roque, F. O.; Da Camara, C. C.; Nunes, A. M. B.; Marengo, J. A. & Trigo, R. M. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. *Environmental Research Letters*, 17(1), 2022b, p. 015005.

¹¹² Garcia, L. C.; Szabo, J. K.; Oliveira Roque, F.; Martins Pereira, A. M.; da Cunha, C. M.; Damasceno-Júnior, A.; Morato, R. G.; Moraes, W.; Libonati, R.; Ribeiro, D. B. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans, *Journal of Environmental Management*, v. 293, 2021, p. 112870.

úmida de 2020 atingiu valores extremamente baixos^{113 114} (ocorrência conjunta de seca extrema e ondas de calor),^{115 116} o que propiciou as condições meteorológicas ideais para a ocorrência de fogos descontrolados de grandes dimensões.

Segundo o INPE, até setembro de 2024 o país está prestes a ultrapassar a marca de 160 mil focos de incêndio em 2024 – número 104% maior em comparação ao mesmo período de 2023, no qual foram registrados quase 78 mil focos. Dados da Plataforma Alarmes¹¹⁷ do Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais¹¹⁸ da Universidade Federal do Rio de Janeiro¹¹⁹ indicam que em 2024 o acumulado do perigo meteorológico de fogo (DSR), índice que representa a facilidade de propagação de incêndios diante das condições meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa, intensidade do vento e precipitação), é o maior já registrado desde pelo menos 1980 na Amazônia, Pantanal e Cerrado (Figura 6). De acordo com o Alarmes, de janeiro a setembro de 2024 o total de área queimada na Amazônia atingiu 12.044.525 hectares (aproximadamente 3% do bioma), o que corresponde a um aumento de 24% em relação ao ano de 2020 (9.694.950 hectares), pior ano até então da série histórica (2012-2024) (Figura 6). No Cerrado, em 2024 o fogo atingiu até setembro cerca de 12.853.050 hectares, correspondendo a 6,5% do bioma. Até o momento, 2024 é o segundo ano com maior área queimada no Cerrado, seguido de 2012 (15.092.475 hectares) (Figura

¹¹³ Menezes, L. S., de Oliveira, A. M., Santos, F. L., Russo, A., de Souza, R. A., Roque, F. O., & Libonati, R. (2022). Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. *Science of the total environment*, 820, 153021.

¹¹⁴ Garcia, L. C.; Szabo, J. K.; Oliveira Roque, F.; Martins Pereira, A. M.; da Cunha, C. M.; Damasceno-Júnior, A.; Morato, R. G.; Moraes, W.; Libonati, R.; Ribeiro, D. B. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans, *Journal of Environmental Management*, v. 293, 2021, p. 112870.

¹¹⁵ Menezes, L. S., de Oliveira, A. M., Santos, F. L., Russo, A., de Souza, R. A., Roque, F. O., & Libonati, R. (2022). Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. *Science of the total environment*, 820, 153021.

¹¹⁶ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; Michelin, C. M.; De Praga Baião C. F.; Chuchón Angulo E.; Almeida, E. K.; Kazmierczak, M. L.; Mateus, N. P. A.; Silva, R. C. and Bender F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3, 2021, p. 639204.

¹¹⁷ Disponível em: <https://alarmes.lasa.ufrj.br/>

¹¹⁸ Disponível em: [LASA: https://lasa.ufrj.br/home/](https://lasa.ufrj.br/home/)

¹¹⁹ Disponível em: [UFRJ: https://ufrj.br/](https://ufrj.br/)

6). O Pantanal é o bioma mais atingido em termos relativos, com 13,5% de sua área afetada pelo fogo. A área queimada até setembro corresponde a 2.039.875 hectares, segundo valor mais alto já registrado para o mesmo período, a seguir apenas de 2020 (2.604.850 ha). (Figura 6).

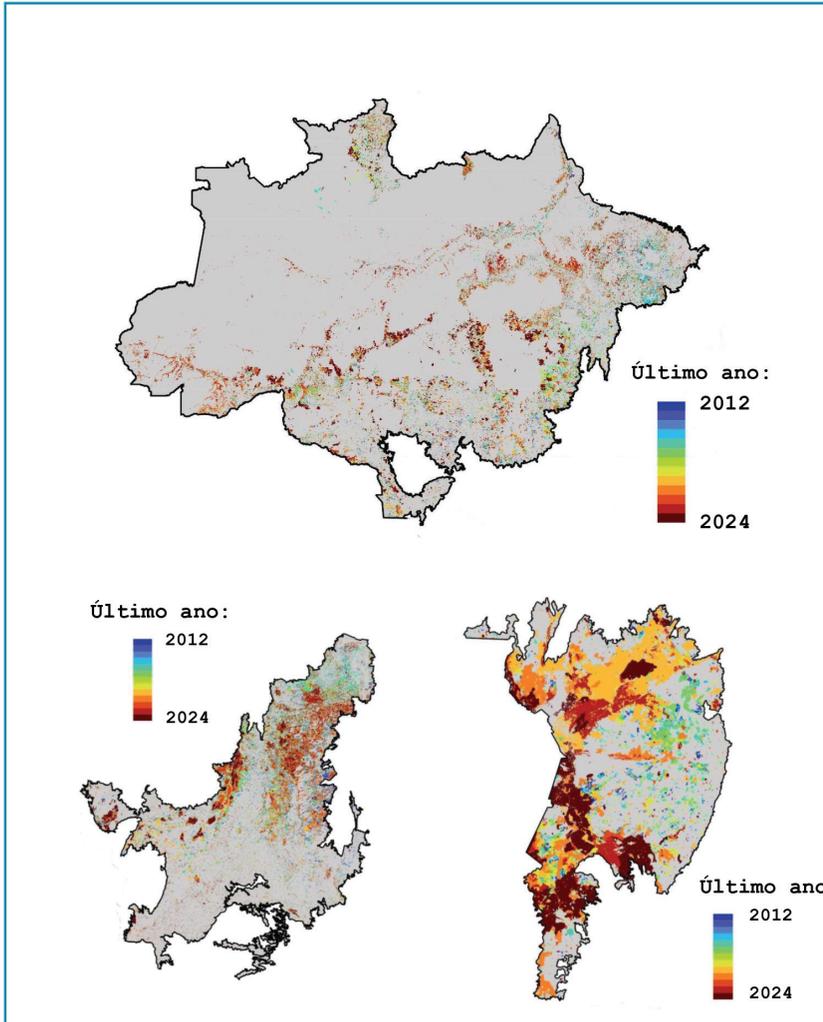


Figura 5. Recorrência de área queimada na Amazônia, Cerrado e Pantanal de 2012 a 2024. (Fonte: Plataforma Alarmes)¹²⁰

¹²⁰ Disponível em: <https://alarmes.lasa.ufrj.br/>

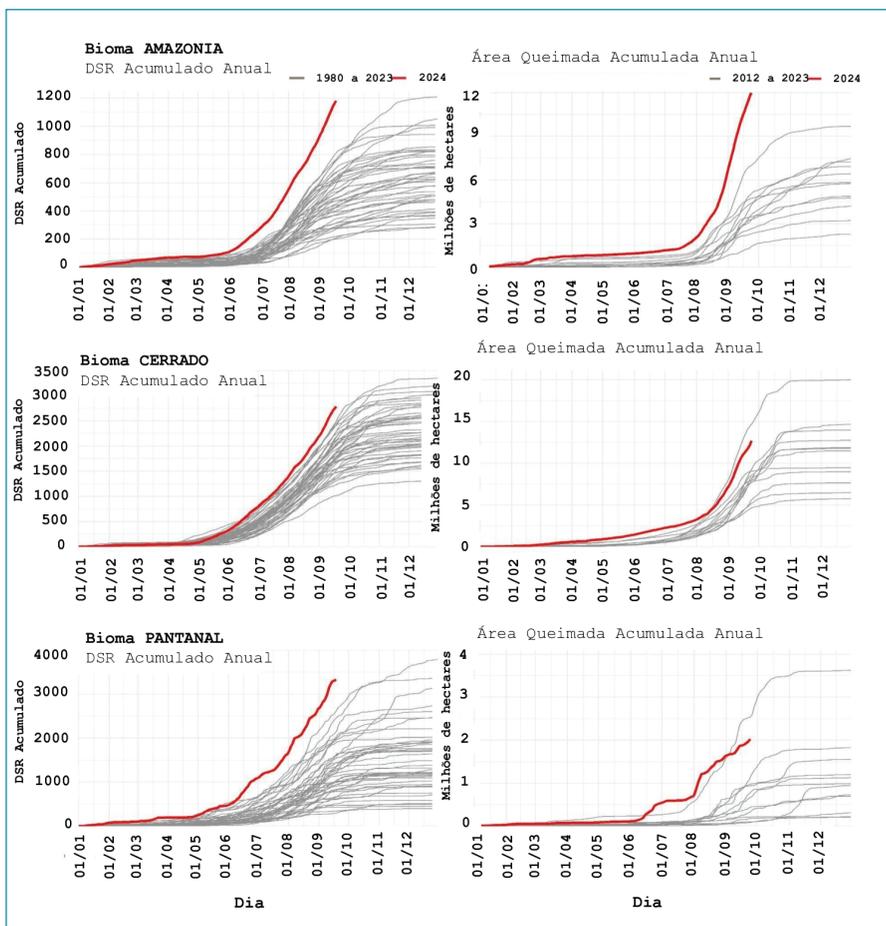


Figura 6. Séries temporais do perigo meteorológico de fogo acumulado (DSR) (painéis da esquerda) e da área queimada acumulada (painéis da direita) desde 1 de janeiro até 31 de dezembro para Amazônia (primeira linha), Cerrado (segunda linha) e Pantanal (terceira linha). As curvas cinzas indicam os anos de 1980 até 2023 (DSR) e de 2012 até 2023 (área queimada), e a curva vermelha, o ano de 2024. (Fonte: Plataforma Alarmes)¹²¹

Os dados do monitor do fogo do MapBiomas apontam para cerca de 114 mil km² de área afetada pelo fogo em todo território nacional nestes primeiros nove meses de 2024, um aumento de 52.300km² em relação à

¹²¹ Disponível em: <https://alarmes.lasa.ufrj.br/>

média dos anos anteriores. Estima-se que mais de 18.700km² foram de florestas afetadas pelo fogo, sendo esta uma vegetação altamente sensível a incêndios. Na área de uso agrícola em que geralmente se usa o fogo para o manejo, as pastagens somam cerca de 24.400km² afetados pelo fogo; somando-se as demais áreas agrícolas, são aproximadamente outros 8 mil km². Isso significa que grande parte de nossas paisagens que queimaram constam de formações de vegetação natural, o que causa diretamente perda de serviços ecossistêmicos, como emissão de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade de fauna e flora, impacto na qualidade da água e ar, e que provavelmente não irão recuperar totalmente seus serviços ambientais na íntegra nas próximas décadas, sendo imprescindível evitar que novos incêndios atinjam estas áreas. Dentre as áreas protegidas, as unidades de conservação e territórios indígenas queimaram, nesse ano de 2024, mais de 8 mil km² e 29 mil km², respectivamente, contabilizando um aumento de 123% e 89% em relação aos anos anteriores. Estes dados revelam o tamanho da atual crise ambiental que estamos enfrentando.

Os quatro principais distúrbios que levam à degradação das florestas amazônicas estão intrinsecamente inter-relacionados e podem se retroalimentar, sendo eles as secas extremas, incêndios, extração de madeira e efeitos de borda. Entre 2001 e 2018, os incêndios afetaram 122.624 km² na bacia amazônica. Os incêndios florestais na Amazônia se intensificam durante os anos de seca, levando a picos agudos na área queimada: 14.584 e 32.815 km² nos anos secos de 2005 e 2010, respectivamente.¹²² Estima-se que em média 18% dos incêndios na Amazônia ocorram em áreas de florestas. No entanto, durante os anos de El Niño de 2015 e 2016, foram registrados um aumento de 20% e 31% na área de florestas afetadas pelo fogo, respectivamente.¹²³ Os impactos dos incêndios nas florestas amazônicas vão desde a redução dos estoques de carbono, sendo em média 25% menores que em florestas prístinas, até alterações na estrutura e composição florísticas. A fumaça produzida

¹²² Lapola, D. M.; Pinho, P.; Barlow, J.; Aragão, L. E. O. C.; Berenguer, E.; Carmenta, R. *et al.* The Drivers and Impacts of Amazon Forest Degradation. *Science*, 379, 2023, p. 349.

¹²³ Silva Junior, C. H. L.; Anderson, L. O.; Silva, A. L.; Almeida, C. T.; Dalagnol, R.; Pletsch, M. A. J. S.; Penha, T. V.; Paloschi, R. A. and Aragão, L. E. O. C. Fire Responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian Droughts. *Front. Earth Sci.* 7, 2019, p. 97.

está cheia de partículas do incêndio florestal, que pode estar associada à morbidade respiratória, como asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, bronquite e pneumonia.¹²⁴ Nos primeiros dias de setembro 2024, parte da fumaça das queimadas da floresta Amazônica foi transportada pelos ventos para o sudeste da América do Sul, gerando episódios de “chuva preta” em centros urbanos da região. A dispersão de partículas poluentes se acumula na atmosfera e as queimadas na Amazônia, Pantanal e no Sudeste são as principais responsáveis por esse cenário.

Huang *et al.*¹²⁵ mostram que a mudança climática antropogênica exacerbou os riscos de seca e de incêndio, e que as emissões de incêndio e de aerossóis de poluição no sul da Amazônia e na região do Pantanal apresentaram uma evolução consistente no longo prazo, diminuindo durante a estação seca (agosto-outubro) entre 2003 e 2019. Eles encontraram que a tendência decrescente nas emissões de incêndios, localizadas principalmente na região não desmatada, foi associada a condições climáticas desfavoráveis à intensificação e propagação de incêndios, o que pode ser atribuída ao enfraquecimento da fase positiva da AMO. Aragão *et al.*¹²⁶ mostraram relações entre a AMO e as secas de 2005 e 2010, o que levou ao consequente aumento da incidência de incêndios na Amazônia. Segundo a NOAA,¹²⁷ desde meados de 1990 estamos na fase quente da AMO. As secas de 2015-16 e 2023-24 também ocorreram devido a presença do El Niño.

Conclusões

Apresentamos as principais conclusões deste capítulo:

- a seca é uma ameaça natural generalizada, que pode afetar profundamente os ecossistemas e as sociedades em todo o mundo.

¹²⁴ The Lancet. The Lancet Regional Health – Americas 2023; 20, 100470, published online 28 March 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023>.

¹²⁵ Huang, S.; Wang, S.; Gan, Y. *et al.* Widespread global exacerbation of extreme drought induced by urbanization. *Nat Cities* 1, 597-609, 2024.

¹²⁶ Aragão, L. E. O. C.; Anderson, L. O.; Fonseca, M. G.; Rosan, T. M.; Vedovato, L. B.; Wagner, F. H. *et al.* 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun.* 9, 2018, p. 536.

¹²⁷ Disponível em: www.noaa.gov

- o Brasil tem experimentado grandes secas desde o início do século XXI, e estas têm afetado biomas como Amazônia, Pantanal, Cerrado e Caatinga, afetando a população e a biodiversidade.
- as causas da seca resultam de uma combinação da variabilidade natural e da mudança climática que abrangem diferentes escalas espaciais e temporais.
- nas últimas décadas, as mudanças do uso e cobertura do solo e as mudanças climáticas têm alterado significativamente vários aspectos do regime natural do fogo no Brasil, como sua frequência, extensão, intensidade e sazonalidade.
- no Brasil, os incêndios na vegetação são iniciados por causas humanas, considerado o meio mais comum de ignição no país, ou por causas naturais, tais como descargas atmosféricas (raios).
- os incêndios estão evoluindo no país, impulsionados por mudanças socioeconômicas e ambientais. Eles são iniciados pelas atividades humanas, tanto para eliminar a biomassa da área recentemente desmatada, muitas vezes de forma ilegal, ou para manejo da área agropecuária. O fogo iniciado por essas atividades pode se espalhar para áreas de vegetação natural e florestas.
- a ocorrência conjunta de seca extrema e ondas de calor (eventos compostos) providenciou as condições meteorológicas ideais para a ocorrência de fogos descontrolados de grandes dimensões. Isso aconteceu no Pantanal e na Amazonia, em 2020, e agora, em 2024.

Vulnerabilidade dos biomas brasileiros às mudanças climáticas

REGINA C. S. ALVALÁ¹

Introdução

Os efeitos negativos das alterações climáticas em todo o planeta têm culminado em um aumento significativo na frequência, intensidade e imprevisibilidade de todas as ameaças climáticas. Nos últimos 30 anos, o número de desastres tem aumentado devido à intensificação de eventos geodinâmicos, hidrometeorológicos e climáticos em muitas regiões, ou devido ao aumento da população que vive em áreas de riscos. O último relatório do Painel Intergovernamental (AR6) destacou que as mudanças climáticas antropogênicas têm contribuído para o aumento de eventos meteorológicos e climáticos extremos que culminam em mortes e significativos impactos em decorrência de inundações, enxurradas e deslizamentos de terra.

Impactos das mudanças climáticas nos biomas

Particularmente no Brasil, país de dimensões continentais, os impactos causados pelas mudanças do clima afetam todos os biomas. Em 2013, um panorama inicial sobre tais mudanças e seus impactos nos biomas foi reportado no escopo do Relatório de Avaliação Nacional I do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.² Neste relatório, destacou-se que algumas regiões do

¹ Pesquisadora do Cemadem/MCTI.

² Alvalá, R. C. S. Mudanças Climáticas na Esfera Nacional. Capítulo 3 do PBMC, 2014: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E. D.; Magalhães, A. R. (eds.)]. Coppe. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 414 p.

Brasil poderiam apresentar alterações na temperatura e na precipitação com o aquecimento global, e que poderiam ocorrer intensificações dos eventos severos com consequentes impactos em cidades e áreas vulneráveis às mudanças climáticas. Impactos em cada região do Brasil foram reportados, destacando-se que o desmatamento da Amazônia intensifica a vulnerabilidade do bioma às mudanças de clima; que a Região Nordeste é muito vulnerável às mudanças climáticas; na Região Centro Oeste as atividades agrícolas e pecuárias sofreriam redução de produtividade devido às mudanças no ciclo hidrológico, aumentos de temperatura e alterações na fenologia das culturas; aumento de eventos extremos associados a enchentes e inundações na Região Sudeste; desastres decorrentes de deslizamentos de terra, mortes por afogamentos e desabamentos poderiam ser mais frequentes na Região Sul.

Mais tarde, no escopo da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (divulgada em 2020), que considerou análises por recortes territoriais (biomas, cidades e zonas costeiras), destacou-se que desastres associados a inundações, enxurradas e alagamentos concentram-se nas regiões Sudeste, Nordeste (principalmente RN e PB) e no Sul (SC e RS), bem como *hotspots* associados a deslizamentos de terra se concentram nas regiões Sul, Nordeste e Sudeste.

Cenários futuros de clima e vulnerabilidades

Estudos considerando cenários futuros de clima também têm sido conduzidos no Brasil, com vistas a subsidiar análises setoriais dos impactos causados pelas mudanças climáticas atuais e futuras. Como exemplos, citam-se o Projeto Brasil 2040 e estudos conduzidos no contexto do Projeto INCT-Mudanças Climáticas – Fase 1 (liderado pelo INPE/MCTI), que não incorporaram aprofundamento sobre indicadores climáticos e não climáticos. Em contrapartida, como resultado destacado na Terceira Comunicação Nacional, cita-se o estudo de Debortoli *et al.* (2017),³ que proveram um índice da vulnerabilidade do Brasil associado aos aumentos esperados de desastres decor-

³ Debortoli, N. S.; Camarinha, P. I. M.; Marengo, J. A.; Rodrigues, R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. *Natural Hazards* (Dordrecht), v. 85, p. 1-25, 2017.

rentes de inundações e de deslizamentos de terra no contexto das mudanças climáticas, que combinaram indicadores climáticos específicos com variáveis físico-ambientais e socioeconômicas, em âmbito nacional, incluindo validação do método proposto ao comparar com dados reais de histórico de desastres.

Com vistas a aprimorar os resultados obtidos anteriormente, no âmbito do INCT-Mudanças Climáticas – Fase 2 (este liderado pelo Cema-den/MCTI), e de um estudo encomendado pelo MMA (Identificação da Vulnerabilidade dos Municípios Brasileiros aos Impactos Biofísicos e Socioeconômicos Associados à Mudança do Clima), as análises obtidas anteriormente foram aprofundadas, com o propósito de estabelecer critérios de priorização dos municípios brasileiros visando identificar regiões de especial atenção, isto é, de maior risco no território brasileiro considerando o clima presente e futuro (2021-2050).⁴ Em termos gerais, os resultados indicaram explicitamente que a Região Sul do país, em especial os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, se destacaram por incluir municípios críticos para inundações e enxurradas. Em outro estudo, considerando novos modelos climáticos para as análises e diferentes níveis de aquecimento global (1,5; 2,0 e 4,0°C), em vez de cenários de emissões (SRES), Marengo *et al.* (2021b)⁵ obtiveram resultados ainda mais contundentes sobre o elevado impacto potencial de inundações no estado do Rio Grande do Sul. Ainda nesse estudo, avaliaram a situação das principais regiões metropolitanas do Brasil, tendo se destacado a cidade de Porto Alegre, ao lado do Vale do Itajaí, como aquelas em que houve maior combinação dos indicadores para o tempo presente e aumento esperado para o futuro segundo o nível de aquecimento global. Estudo mais recente⁶ evidencia que a região Sul do Brasil

⁴ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; Michelin, C. M.; De Praga Baião, C. F.; Chuchón Ângulo, E.; Almeida, K.; Kazmierczak, M. L.; Mateus, N. P. A.; Silva, R. C.; Bender, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal. *In: 2019-2020a: Characterization, Causes, and Impacts. Frontiers in Water*, 2021, 3, 639204. doi: 10.3389/frwa.2021.639204.

⁵ Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Young, A.; Barreto, N. J. C.; Ramos, A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2020b. 1472, 5-20, <https://doi.org/10.1111/nyas.14307>.

⁶ Dunn, R. J. H.; Herold, N.; Alexander, L. V.; Donat, M. G.; Allan, R.; Bador, M.; Brunet, M.; Cheng, V.; Ibadullah, W. M. W.; Ibrahim, M. K. I. B.; Kruger, A.; Kubota, H.;

apresenta uma tendência de aumento de extremos de chuvas desde 1950. Em especial, dias de precipitação intensa (R10mm) apontam áreas contíguas de variação positiva em várias regiões da América do Sul, incluindo o Sul do Brasil, corroborando com os estudos anteriores quanto ao aumento ser uma ameaça às populações vulneráveis e expostas nesta região do Brasil, uma vez que indicam um aumento de frequência e magnitude de eventos de chuva potencialmente deflagradores de processos geo-hidrológicos, tais como as inundações e os deslizamentos de terra.

Particularmente na América do Sul, o Brasil tem sido impactado por eventos climáticos extremos em diversas regiões, como na Amazônia^{7,8} e na região Nordeste,^{9,10} que sofreu com secas prolongadas, enquanto graves inundações causaram grandes perdas nas regiões Sudeste e Sul, culminando em diversas mortes e um número significativo de desalojados e desabrigados.^{11,12,13} Especificamente em relação às inundações, o Brasil ficou em segundo lugar no total de estudos desenvolvidos sobre o tema de 2000 a 2020 em compa-

Lippmann, T. J. R.; Marengo, J.; Mbatha, S.; Mcgree, S.; Ngwenya, S.; Pabon Caicedo, J. D.; Ramos, A.; Salinger, J. Observed Global Changes in Sector-Relevant Climate Extremes Indices-An Extension to HadEX3. *Earth and Space Science*, v. 11, p. 1, 2024.

- ⁷ Marengo, J. A.; Souza, C. M.; Thonicke, K.; Burton, C.; Halladay, K.; Betts, R. A.; Alves, L. M.; Soares, W. R. Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends, *Front. Earth Sci.* 6 (2018).
- ⁸ Anderson, L. O.; Ribeiro Neto, G.; Cunha, A. P.; Fonseca, M. G.; Mendes de Moura, Y.; Dalagnol, R.; Wagner, F. H.; de Aragão, L. E. O. e C. Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts, *Phil. Trans. Biol. Sci.* 373, 2018, 20170411.
- ⁹ Brito, S. S. B.; Cunha, A. P. M. A.; Castro, C. C.; Alvalá, R. C. S.; Marengo, J. A.; Carvalho, M. Frequency, duration, and severity of drought in the Brazilian semiarid. *International Journal of Climatology*, v. 41, p. 487, 2018, doi:10.1002/joc.5225.
- ¹⁰ Jimenez, J. C.; Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Sulca, J. C.; Takahashi, K.; Ferrett, S.; Collins, M. The role of ENSO flavours and TNA on recent droughts over Amazon forests and the Northeast Brazil region, *Int. J. Climatol.* 41, 2021, p. 3761-3780.
- ¹¹ Ávila, A.; Justino, F.; Wilson, A.; Bromwich, D.; Amorim, M. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil, *Environ. Res. Lett.* 11, 2016, 114029.
- ¹² Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Young, A.; Barreto, N. J. C.; Ramos, A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2020b. 1472, 5-20.
- ¹³ Marengo, J. A.; Ambrizzi, T.; Alves, L. M.; Barreto, N. J. C.; Simões Reboita, M.; Ramos, A. M. Changing trends in rainfall extremes in the metropolitan area of São Paulo: causes and impacts, *Frontiers in Climate* 2, 2020c, p. 1-13.

ração com outros países da América Latina e do Caribe.¹⁴ A análise disponibilizada em 2023 pela Confederação Nacional de Municípios¹⁵ mostrou que 93% das cidades brasileiras (com mais de 5 mil habitantes) foram atingidas por algum desastre hidro-meteorológico que culminou no registro de emergência ou estado de emergência/calamidade pública devido a tempestades, inundações, inundações repentinas ou inundações urbanas nos últimos 10 anos. Ainda assim, segundo a CNM, de 2013 a 2022, mais de 2,2 milhões de habitações foram danificadas em todo o país devido a estes acontecimentos, afetando diretamente mais de 4,2 milhões de pessoas, que tiveram de abandonar as suas casas em 2.640 municípios de todo o país.

Eventos extremos de tempo e clima e desastres

Especificamente sobre eventos extremos que deflagram desastres, estes têm impactado cidades e regiões dos vários biomas brasileiros. De um lado, secas generalizadas e recorrentes têm impactado a região semiárida brasileira, que possui a maior proporção de pessoas vivendo na pobreza no país. Entre 2012 e 2017, a região semiárida foi intensamente impactada por um processo prolongado de seca, definido como o “evento” mais intenso dos últimos 30 anos.^{16,17} Considerando os impactos acumulados entre 2012 e 2016, aproximadamente 1.100 municípios foram afetados (33,4 milhões de pessoas atingidas por ano), especialmente com relação ao abastecimento de água e às perdas dos sistemas agroprodutivos, com impactos estimados em

¹⁴ Pinos, J.; Quesada-Román, A. Flood risk-related research trends in Latin America and the Caribbean, *Water (Switzerland)*, 14, 2022.

¹⁵ CNM, Desastres obrigam mais de 4,2 milhões de pessoas que foram negligenciadas pelas políticas públicas a buscarem alternativas de moradia nos últimos dez anos. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/noticias/2023/Links/27072023_Estudo_Habitata%C3%A7%C3%A3o_Desastre_revisado_area_publica%C3%A7%C3%A3o.pdf, 2021. Acesso em: 20 jan. 2024.

¹⁶ Brito, S. S. B.; Cunha, A. P. M. A.; Castro, C. C.; Alvalá, R. C. S.; Marengo, J. A.; Carvalho, M. Frequency, duration, and severity of drought in the Brazilian semiarid. *International Journal of Climatology*, v. 41, p. 487, 2018, doi:10.1002/joc.5225.

¹⁷ Cunha, A. P. M. A.; Marchezini, V.; Lindoso, D. P.; Saito, S. M.; Alvalá, R. C. dos Santos. The challenges of Consolidation of a Drought-Related Disaster Risk Warning System to Brazil. *Sustainability in Debate*, v. 10, p. 43-76, 2018.

aproximadamente R\$ 104 bilhões.¹⁸ Ainda que historicamente as secas sejam recorrentes na região semiárida, nos últimos anos eventos severos têm sido registrados em diferentes regiões do Brasil, com impactos em diversos setores estratégicos do país.^{19,20,21,22,23,24}

De outro lado, eventos extremos também têm deflagrado desastres com significativos impactos nos biomas brasileiros. Mais recentemente, entre outubro de 2021 e fevereiro de 2023, fortes chuvas associadas a enchentes e deslizamentos de terra impactaram diversas cidades em diferentes regiões do Brasil, como Petrópolis, localizada na região serrana do estado do Rio de Janeiro em fevereiro-março de 2022;²⁵ Recife, região Nordeste, em maio-

¹⁸ Marengo J. A.; Alves L. M.; Alvalá, R. C. S.; Cunha, A. P. M. A.; Brito, S. S. B.; Moraes, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, v. 90, n. 2, Supl. 1. Rio de Janeiro, aug. 2018. Epub Aug 14, 2017, p. 1973-1985.

¹⁹ Coelho, C. A. S.; de Oliveira, C. P.; Ambrizzi, T.; Reboita, M. S.; Carpenedo, C. B.; Campos, J. L. P. S.; Tomaziello, A. C. N.; Pampuch, L. A.; de Souza Custódio, M.; Dutra, L. M. M.; *et al.* The 2014 southeast Brazil austral summer drought: Regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*, 2016, 46, 3737-3752.

²⁰ Nobre, C. A.; Marengo, J. A.; Seluchi, M. E.; Cuartas, A.; Alves, L. M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *J. Water Resources Protection*. 2016, 8, p. 252-262.

²¹ Cunha, A. P. M. A.; Zeri, M.; Deusdará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Vieira, R. M.; Barbosa, A. A.; Cunningham, C.; Cal Garcia, J. V.; Broedel, E.; Alvalá, R.; Ribeiro-Neto, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 2019, 10, p. 642.

²² Cuartas, L. A.; Cunha, A. P. M. A.; Alves, J. A.; Parra, L. M. P.; Deusdará-Leal, K.; Costa, L. C. O.; Molina, R. D.; Amore, D.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; Cunningham, C.; Alvalá, R. C. S.; Marengo, J. A. Recent hydrological droughts in Brazil and their impacts on hydropower generation. *Water*, 2022, 14 (4), p. 601.

²³ Fernandes, Valesca Rodriguez; Cunha, Ana Paula Martins do Amaral; Cuartas Pineda, Luz Adriana; Leal, Karinne R. Deusdará; Costa, Lidiane C.O.; Broedel, Elisângela; França, Daniela de Azeredo; Alvalá, Regina Célia dos Santos; Seluchi, Marcelo E.; Marengo, Jose. Secas e os Impactos na Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 17, v. 28, jan./jun. 2021, p. 561-584.

²⁴ Deusdará-Leal, K. R.; Cuartas, L. A.; Zhang, R.; Mohor, G. S.; de Castro Carvalho, L. V.; Nobre, C. A.; Mendiondo, E. M.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; dos Santos Alvalá, R. C. Implications of the New Operational Rules for Cantareira Water System: Re-Reading the 2014-2016. *Water Crisis*. *J. Water Resources Protection*, 2020, 12, p. 261-274.

²⁵ Alcântara, E.; Marengo, J. A.; Mantovani, J.; Londe, L. R. ; San, R. L. Y.; Park, E.; Lin, Y. N.; Wang, J.; Mendes, T.; Cunha, A. P.; Pampuch, L.; Seluchi, M.; Simões, S.; Cuartas, L. A.; Gonçalves, D.; Massi, K.; Alvalá, R.; Moraes, O.; Souza Filho, C.; Mendes,

-junho de 2022;²⁶ São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo, em fevereiro de 2023;²⁷ entre outros. Tais eventos culminaram em mais de 500 mortes no período. Considerando o período de 1991 a 2022, foram documentados 57.581 eventos de desastre, sendo mais de 47% atribuídos a fenômenos hidrogeometeorológicos.

Chuvas extremas no Rio Grande do Sul em setembro de 2023 e em maio de 2024

Entre os dias 1 e 7 de setembro de 2023, o estado do Rio Grande do Sul viveu um episódio inédito de chuvas extremas, resultando em desastres associados principalmente a enchentes, impactando 107 municípios, resultando em 54 mortes e afetando mais de 400 mil pessoas.²⁸ Mais recentemente, o estado do Rio Grande do Sul foi novamente afetado por temporais que deflagraram inundações e deslizamentos de terra que afetaram grande parte do estado, incluindo a capital, Porto Alegre. De acordo com a Portaria 1.802 de 31/05/2024, 95 cidades estão em estado de calamidade pública e 323 em emergência. Segundo a Confederação Nacional de Municípios, os prejuízos financeiros no estado somam 11 bilhões de reais, e, de acordo com boletim da Defesa Civil do estado, até 03 de julho de 2024 foram registrados 180

R. Deadly Disasters In Southeastern South America: Flash Floods and Landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio De Janeiro, *Natural Hazards And Earth System Sciences*, v. 23, p. 1157-1175, 2023.

²⁶ Marengo, J. A.; Alcantara, E.; Cunha, A. P.; Seluchi, M.; Nobre, C. A.; Dolif, G.; Gonçalves, D.; Assis Dias, M.; Cuartas, L. A.; Bender, F.; Ramos, A. M.; Mantovani, J. R.; Alvalá, R. C.; Moraes, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. *Weather and Climate Extremes*, v. 25, p. 100545, 2023b.

²⁷ Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Seluchi, M. E.; Camarinha, P. I.; Dolif, G.; Sperling, V. B.; Alcântara, E. H.; Ramos, A. M.; Andrade, M. M.; Stabile, R. A.; Mantovani, J.; Park, E.; Alvalá, R. C.; Moraes, O. L.; Nobre, C. A.; Gonçalves, D. Heavy rains and hydrogeological disasters on February 18th-19th, 2023a, in the city of São Sebastião, São Paulo, Brazil: from meteorological causes to early warnings. *Natural Hazards*, v. 56, p. 1, 2024.

²⁸ Alvalá, R. C. dos S.; Ribeiro, D. F.; Marengo, J.; Seluchi, M. E.; Gonçalves, D. A.; da Silva, L. A.; Cuartas Pineda, L. A.; Saito, S. M. Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: vulnerabilities and risk management capabilities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, aug. 2024a, 104645.

óbitos, 32 pessoas desaparecidas, 478 municípios afetados, 2.398.255 pessoas afetadas e 806 feridos.

Considerando o monitoramento e alertas de desastres, a partir da rede de monitoramento de chuvas do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres do Ministério da Ciência e Tecnologia (Cemaden/MCTI), foram registrados acumulados de chuvas entre 22 de abril a 6 de maio de 2024 que variaram entre 368 mm em Porto Alegre e 778 mm em Fontoura Xavier. O Cemaden, que monitora as condições geo-hidro-meteorológicas que deflagram desastres geológicos e hidrológicos, emitiu mais de 80 alertas para 45 cidades do estado do RS. Mudanças na circulação atmosférica associada ao fenômeno El Niño que estava agindo sobre o Brasil contribuíram para a estacionalidade das frentes frias e consequentes altos volumes de chuva no Estado do Rio Grande do Sul. Estes fenômenos fazem parte da variabilidade natural do clima. Outrossim, a tendência de aumentos nos extremos de chuvas faz parte de uma tendência já observada no Sudeste da América do Sul durante os últimos 60 anos, isto é, de aumento de extremos de chuvas, o qual tem sido previsto em projeções dos modelos do IPCC para as próximas décadas. Esta tendência de aumento de extremos observada em todo o mundo está associada ao aquecimento global, em que um aumento da temperatura pode incrementar o conteúdo de umidade da atmosfera e acelerar o ciclo hidrológico, gerando chuvas intensas.

Considerações finais

A falta de resiliência dos biomas do Brasil frente aos extremos de clima e mudanças climáticas tem sido detectada, e muitas cidades do país não estão preparadas para extremos climáticos, como os ocorridos nos últimos 4 anos, e para os que ocorrerão nas próximas décadas. Assim, as mudanças climáticas podem aumentar os cenários de riscos de desastres em áreas urbanas do Brasil, nesta década, como já registrado nas cidades de Petrópolis-RJ, e Recife-PE, em 2022, em São Sebastião-SP, e no Vale do Rio Taquari-RS, em 2023, e em Porto Alegre-RS, em 2024, demandando ações urgentes de enfrentamento e ações das várias esferas de governo, bem como da sociedade.

Ainda que previsões de riscos, bem como alertas antecipados, estejam ocorrendo, eles não são suficientes para subsidiar ações para salvar vidas e

minimizar os impactos que as chuvas extremas têm causado nas cidades e nas comunidades atingidas. Portanto, garantir moradias adequadas e seguras e investir no planejamento urbano e na mobilização das pessoas são alguns dos caminhos que precisam ser priorizados na gestão do risco e redução de desastres em todos os municípios brasileiros críticos, no contexto de desastres.

Em tempos de mudanças climáticas, com consequentes extremos de chuvas, são necessários investimentos de curtíssimo, curto e médio prazo para minimizar os impactos socioeconômicos e ambientais, e para reduzir o quadro de fragilidade de muitas cidades brasileiras. É fundamental que o socorro imediato inclua, além da disponibilidade de abrigos, medicamentos, alimentos e água, apoio psicológico para todos os impactados. Além disso, identificar áreas seguras, estabelecer rotas de fuga bem-sinalizadas e construir abrigos temporários; priorizar obras de reurbanização, arborização, reflorestamento e drenagem, recuperação de vegetação nas margens de rios e nos topos das montanhas são também imperativos. A lista de investimentos deve incluir ainda a realização de simulados com a população, considerando diferentes cenários de desastres; aprimoramento da comunicação, para que a população compreenda riscos, alertas e alarmes; desenvolver a percepção do risco por meio de difusão científica em escolas, defesas civis e sociedade em geral, considerando o uso de estratégias educacionais contemporâneas para o desenvolvimento de uma sociedade sustentável e resiliente.²⁹

No que tange às secas, considerando que nas últimas décadas os eventos têm aumentado em frequência e intensidade no Brasil, é crucial se preparar para lidar com seus impactos. Conforme ressaltado por Cunha *et al.* (2018),³⁰ é necessário, entre vários aspectos relevantes explicitados, criar um sistema integrado de alerta de riscos de secas no Brasil, de caráter transdisciplinar e interinstitucional, inclusive centrado nas pessoas, para subsidiar a gestão

²⁹ Alvalá, R. C. S.; Marengo, J. A.; Seluchi, M. E. Desafios de la Gestión y Reducción de Riesgos de Desastres geo-hidro-meteorológicos en Brasil: Estudio de un Caso, p. 37-42. *Revista Digital del Grupo de Trabajo de Gestión de Riesgo de desastres de FELACBEJA*. (Coord. Delgado Pérez). Forjando un Futuro Más Resiliente Ante Desastres: La Conexión entre Japón, Latinoamérica y el Caribe. 2024b.

³⁰ Cunha, A. P. M. A.; Marchezini, V.; Lindoso, D. P.; Saito, S. M.; Alvalá, R. C. Dos Santos. The challenges of Consolidation of a Drought-Related Disaster Risk Warning System to Brazil. *Sustainability in Debate*, v. 10, p. 43-76, 2018.

de risco de secas, considerando que o risco é produto da interação entre a exposição à ameaça natural (déficit pluviométrico) e as vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais a um evento; logo, a gestão do risco de secas requer o entendimento integrado dessas duas componentes no tempo e no espaço.

Resiliência dos biomas brasileiros

MARIANA M. VALE¹

O que é resiliência

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) define resiliência como a capacidade de sistemas sociais, econômicos e ecológicos interconectados de lidar com um evento, tendência ou perturbação perigosa, respondendo ou se reorganizando de maneira a manter sua função, identidade e estrutura essenciais.² Dito de forma mais simples, a resiliência pode ser entendida como a capacidade de um sistema de retornar ao seu estado original após uma perturbação. A resiliência é, portanto, um atributo positivo que mantém a capacidade de adaptação do sistema às mudanças climáticas.

A figura 1 ilustra um esquema didático de um sistema socioecológico bastante estável ou que está sujeito a uma perturbação leve à moderada. Esse sistema vai mudar, saindo do seu estado de equilíbrio, mas sempre volta ao seu estado original (estado 1). Esse tipo de situação a gente vê, por exemplo, em florestas. A recuperação de florestas acontece com relativa facilidade após, por exemplo, a conversão em pasto. Se esse pasto for abandonado, ele voltará a se tornar uma floresta por meio do processo de restauração natural. É claro que não será uma floresta com a mesma riqueza e composição de espécies, mas ainda assim esse pasto, se deixado, voltará a ser o mesmo sistema anterior, uma floresta. Existem, portanto, sistemas que são relativamente estáveis e conseguem voltar ao seu estado original se a perturbação for leve

¹ Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

² Retirado do glossário contido no International Plant Protection Convention. Disponível em: <https://apps.ipcc.ch/glossary>

ou moderada. Isso é um exemplo de resiliência, ou seja, a capacidade de voltar ao seu estado original após uma perturbação.

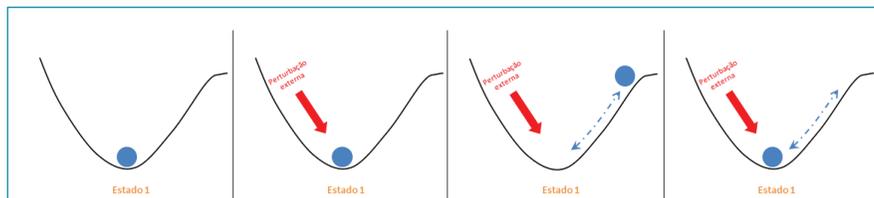


Figura 1 – Sistema socioecológico (bola azul) bastante estável ou que está sujeito a uma perturbação externa (seta vermelha) leve à moderada.

Existe, no entanto, situações em que o sistema socioecológico sofre uma perturbação muito intensa, sendo levado ao chamado Ponto de Não Retorno. Nesses casos, como ilustrado na Figura 2, o sistema sai de seu ponto de equilíbrio original (estado 1) e entra em um estado de equilíbrio diferente (estado 2). Um exemplo que vocês talvez já tenham ouvido falar é a possibilidade de savanização da Amazônia. Essa possibilidade de savanização da Amazônia não é exatamente uma savanização, porque a ideia não é que a Amazônia vai se tornar um cerrado. A composição de espécies de árvores não vai conter as árvores do cerrado, mas vai ser uma Amazônia muito degradada. E aí, qual seria esse Ponto de Não Retorno para a Amazônia? Ele é dado por uma perturbação, por desmatamento ou mudança climática, ou com as duas ao mesmo tempo. Segundo os trabalhos de Carlos Nobre e colaboradores,³ a gente poderia ter esse Ponto de Não Retorno para a Amazônia em três situações: 1) com um desmatamento de 40% da Amazônia em um cenário sem mudanças climáticas; ou 2) um aumento de 4 °C na temperatura média global do planeta em um cenário sem desmatamento; ou 3) um desmatamento de 20 a 25% da Amazônia combinado a um aumento de 2 a 2,5 °C de temperatura.

³ Menção à mesa-redonda: Economia/Políticas Públicas Que novos elementos econômicos passam a ter importância num cenário de neointustrialização de baixo carbono/verde já em curso? Quais os principais desafios para implementação das políticas públicas sobre mudanças do clima?, realizada na Conferência Nacional de Mudanças Climáticas, coordenada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), em Brasília, 20 de junho de 2024. O evento foi transmitido pela internet e pode ser assistido em: <https://www.youtube.com/watch?v=e9GZogDI47U&t=758s>.

Lembrando que hoje estamos em torno de 20% de desmatamento da Amazônia Legal e um aumento da temperatura média global que se aproxima de 1,5 °C, ou seja, chegando perto deste ponto crítico estimado de não retorno que extrapola a capacidade de resiliência da Amazônia.

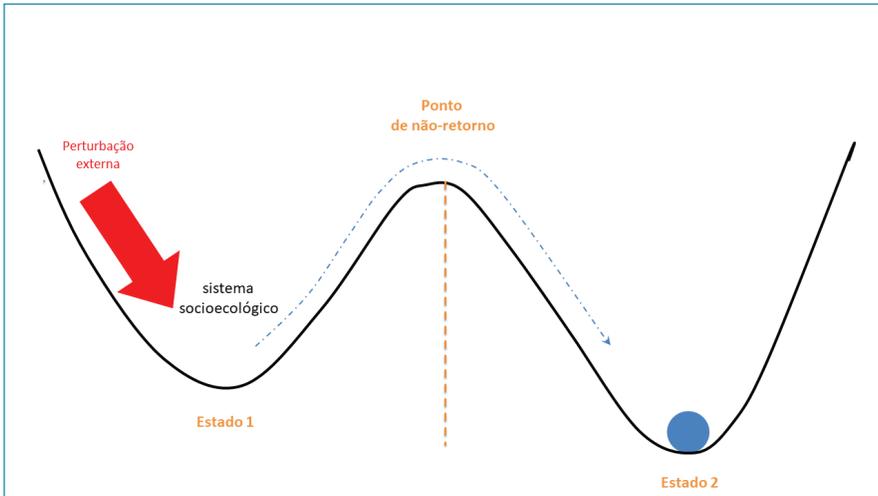


Figura 2 – Sistema socioecológico sujeito a uma perturbação externa intensa.

Outra maneira de mudar de estado de equilíbrio é quando você tem sistemas que não são tão estáveis quanto florestas tropicais, por exemplo. Para esses sistemas ditos muito sensíveis, uma pequena perturbação externa já leva a uma situação de passagem do Ponto de Não Retorno e, portanto, de mudanças de estado. Um exemplo são as restingas. As restingas são estabelecidas em solo arenoso, onde há uma sucessão ecológica, em que plantas pioneiras que vão criando as condições, inclusive criando o solo, para o estabelecimento da vegetação de restinga. Leva, portanto, bastante tempo para o desenvolvimento de uma restinga. Assim, quando a vegetação de restinga é removida, demora muito tempo para que ela se restabeleça e, em muitos casos, ela pode nunca se reestabelecer. Os corais também são um exemplo de sistemas altamente sensíveis. Quando um recife de coral é removido, vai demorar centenas a milhares de anos para se restabelecer. Então, existem sistemas que são inerentemente muito mais sensíveis e, portanto, caracteristicamente pouco resilientes.

Componentes do risco climático e resiliência dos biomas brasileiros

Então como articulamos esse conceito de resiliência e de sensibilidade dos biomas às mudanças climáticas? Existe o modelo conceitual da Flor de Risco Climático do IPCC, ilustrado na Figura 3. O risco associado às mudanças climáticas tem três principais componentes: 1) a ameaça climática, 2) a vulnerabilidade e 3) a exposição.

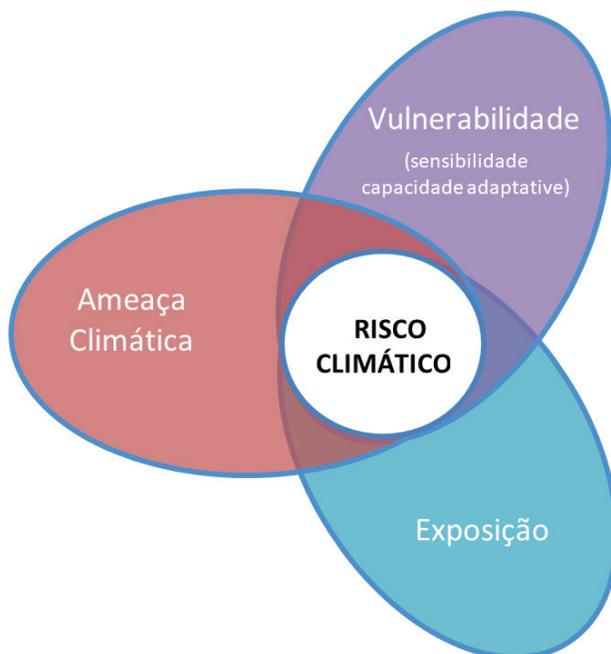


Figura 3 – Os três componentes do risco associado às mudanças climáticas.

A ameaça climática é simplesmente a magnitude da mudança do clima. Onde você tiver maior magnitude de mudanças do clima, você vai ter maior ameaça climática. Então, o bioma que tiver, por exemplo, as maiores ondas de calor, maior incidência de secas e eventos climáticos extremos vai ter maior ameaça climática e, portanto, a menor resiliência. A ameaça externa equivale àquela perturbação externa quando conceituamos resiliência.

A vulnerabilidade é um componente mais complexo, pois tem vários subcomponentes: a sensibilidade, a capacidade adaptativa e outros elementos que conferem vulnerabilidade a um sistema. A sensibilidade é inerente ao

sistema e já foi mencionada aqui – restinga e corais são ecossistemas particularmente sensíveis – e, quanto mais sensível, menor a resiliência do sistema. Mas existe também a capacidade adaptativa: quanto maior a capacidade adaptativa do sistema, maior a sua resiliência às mudanças climáticas. Então, o que confere capacidade de se ajustar à mudança, à perturbação, de modo a reduzir o impacto dessa perturbação?

Em termos de sistemas naturais, especificamente dos biomas, existem alguns aspectos que são importantes para aumentar sua capacidade adaptativa frente às mudanças climáticas. O principal deles, eu diria, é o estado de perturbação: a quantidade de perda de cobertura vegetal original do bioma. Quanto maior a perda, menor a resiliência. Por quê? Se você tem um bioma que perdeu muita cobertura vegetal, a biota, ou seja, os organismos que vivem naquele ambiente já estão sob *stress* em termos de perda de recursos de todo tipo: habitat, recursos alimentares, parceiros, locais de nidificação. Além disso, a mobilidade desses organismos também fica prejudicada, comprometendo a resposta mais comum da biota às mudanças climáticas, que é a mudanças de distribuição geográfica. O clima muda, e os organismos se deslocam em busca do clima ideal ao qual estão adaptados. Essa é uma resposta muito bem documentada. Mas quando o ambiente está completamente fragmentado, esse deslocamento não acontece, fora o fato de que os organismos já estão intensamente sob *stress* pela falta de recursos. Tudo isso diminui a capacidade adaptativa da fauna associada ao bioma.

Um outro elemento que é muito importante para a capacidade adaptativa dos biomas é a presença de unidades de conservação. As unidades de conservação servem como ilhas seguras onde a fauna e a flora podem se manter, aumentando assim a capacidade adaptativa dos biomas. Quanto mais unidades de conservação, maior vai ser a resiliência desses biomas.

Então, já temos três elementos importantes para avaliar a resiliência dos biomas brasileiros às mudanças climáticas: 1) a ameaça climática; 2) a perda de cobertura vegetal; e 3) a porcentagem de proteção em unidades de conservação. E como esses elementos estão nos biomas brasileiros?

Em termos daquela perturbação externa, a ameaça climática, se usarmos os dados do IPCC, vemos na Figura 4, quanto à mudança de temperatura esperada para 2040, que para a Amazônia, Cerrado e uma parte da Mata

Atlântica é esperado um aumento muito maior de temperatura. Esses biomas são os que teriam, portanto, a menor resiliência em termos de aumento da temperatura. Já a Figura 5 ilustra as mudanças na precipitação. As marcações em tons de verde representam o aumento previsto da precipitação e as em tons de marrom representam a redução da precipitação. Então, espera-se, novamente uma baixa resiliência da Amazônia, devido a uma forte redução da precipitação. Já na porção sul do país, no bioma Pampa e em parte da Mata Atlântica, espera-se uma baixa resiliência devido a um aumento da precipitação.

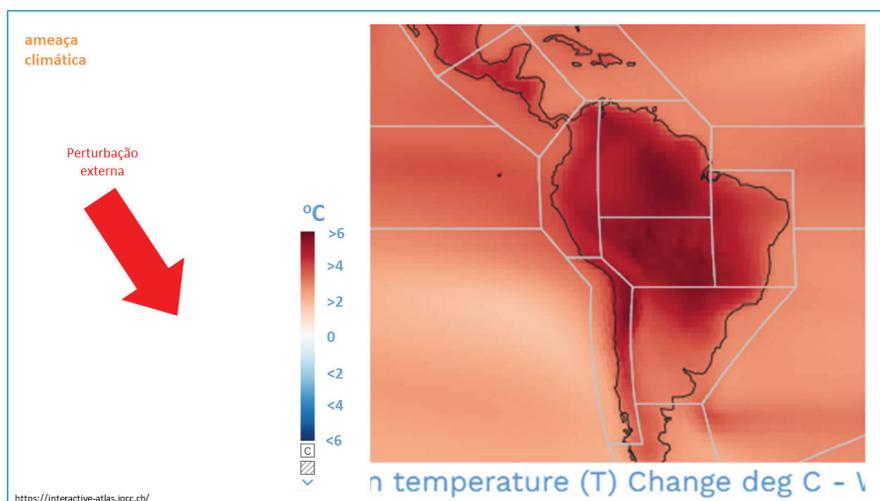


Figura 4 – Ameaça climática em termos de mudanças de temperatura. (Fonte: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>)

Em termos de capacidade adaptativa, há muita variação na quantidade de unidades de conservação nos diferentes biomas (Figura 6). A Amazônia, sem dúvida, tem muito mais unidades de conservação, apresentando, portanto, muito mais resiliência nesse quesito que os demais biomas. Se a gente for ver quem é que tem menor capacidade adaptativa, nesse sentido, sem dúvida é o Pampa, com 3%, e o Pantanal, com 5% de área coberta por unidade de conservação. Mas todos os biomas, exceto a Amazônia, estão muito longe da meta de 30% de proteção da Convenção da Biodiversidade, a ser alcançada até 2030.

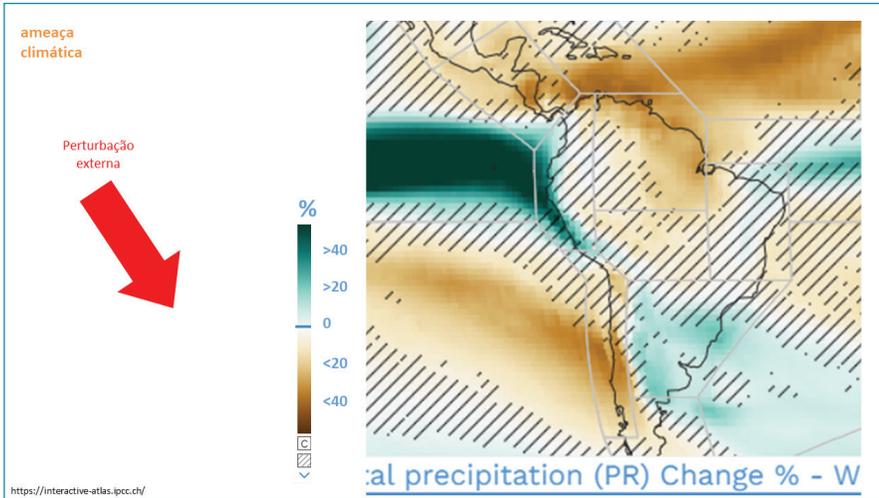


Figura 5 – Ameaça climática em termos de mudanças de precipitação. (Fonte: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>)

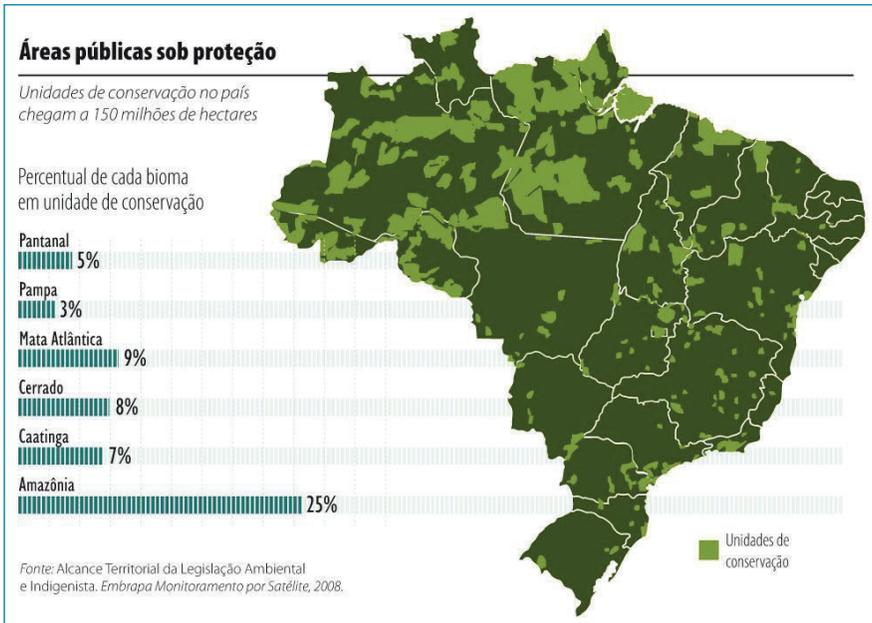


Figura 6 – Unidades de conservação nos biomas brasileiros. (Fonte: <https://www.ecodebate.com.br/2014/09/30/sistema-nacional-de-unidades-conservacao-snucc-vive-crise-sem-precedentes/>)

A Figura 7 apresenta os dados de perda de cobertura vegetal dos biomas para 2020. Nesse quesito, vemos que a Mata Atlântica, com 32% de cobertura vegetal, tem, sem dúvida, a menor capacidade adaptativa e, portanto, a menor resiliência. Lembrando que essa porcentagem inclui não só remanescentes de floresta, mas também reflorestamento. E, em seguida, com as menores estimativas de resiliência, temos a Caatinga, o Pampa e o Cerrado. Já a Amazônia e Pantanal, com mais de 80% de cobertura vegetal remanescente, têm grande capacidade adaptativa nesse quesito.

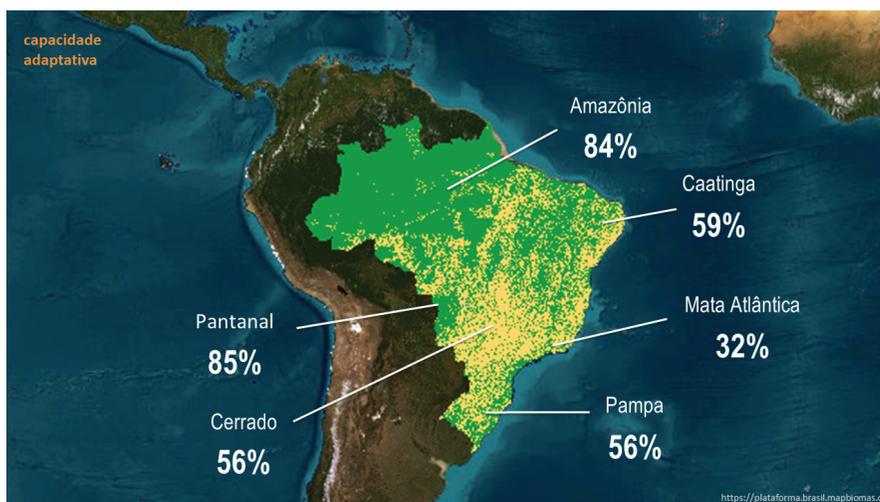


Figura 7 – Cobertura vegetal nos biomas brasileiros. (Fonte: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>)

Como vimos, há muita variação na posição dos biomas quanto à sua resiliência às mudanças climáticas segundo o quesito elencado. De fato, não é simples determinar, de forma categórica, qual bioma é mais ou menos resiliente, pois isso dependerá do componente de risco que está sendo considerado. Um exercício nesse sentido foi feito por um estudo nosso sobre a propensão a queimadas dos biomas brasileiros.⁴ Nesse estudo, desenvolvemos

⁴ Viegas, L. M. D.; Sales, L.; Hipólito, J.; Amorim, C.; de Pereira, E. J.; Ferreira, P.; Fearnside, P.; Malhado, A. C. M.; Rocha C. F. D.; Vale, M. M. We're building it up to burn it down: fire occurrence and fire-related climatic patterns in Brazilian biomes. *PeerJ*, 10, 2022, e14276.

um índice de resiliência “R”. Se levarmos em conta os quesitos das unidades de conservação e os remanescentes florestais, a Mata Atlântica é o bioma menos resiliente às mudanças climáticas que a gente tem. Já a Amazônia é um dos biomas mais resilientes, porque ela tem uma cobertura vegetativa remanescente muito maior e muito mais unidades de conservação. É claro que tudo depende de como é construído o índice de resiliência: quais componentes são incluídos e qual peso é colocado em cada componente.

O que eu queria trazer aqui são componentes que devem ser considerados quando falamos de resiliência dos biomas brasileiros frente às mudanças climáticas, em termos da sua biodiversidade. E teremos hoje aqui também uma palestra sobre serviços ecossistêmicos. Eu tenho certeza de que ela vai levantar a importância da biodiversidade para a provisão de serviços ecossistêmicos e como esses serviços aumentam a resiliência das pessoas às mudanças climáticas.

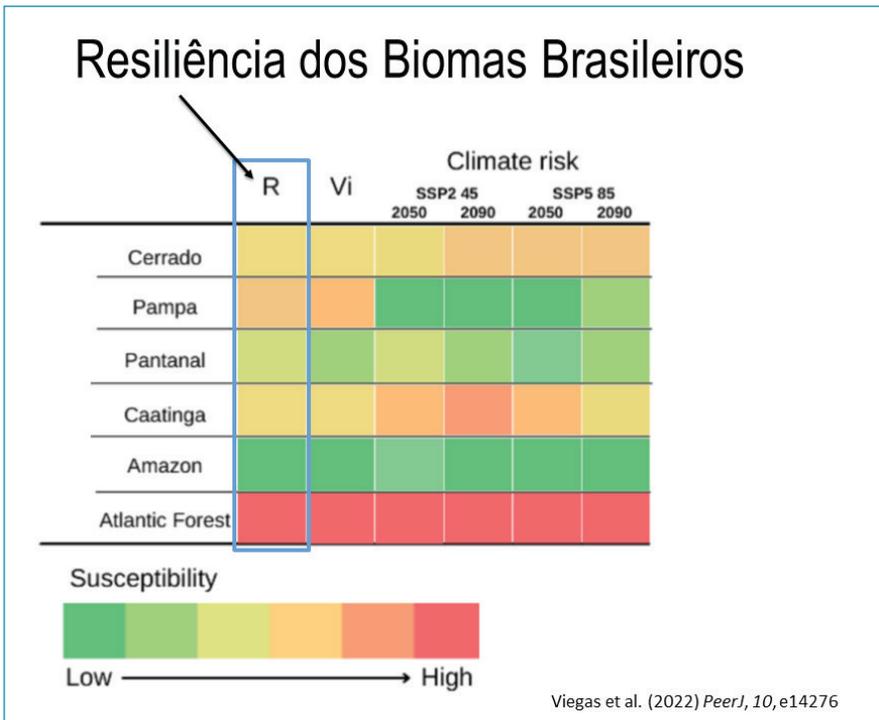


Figura 8 – Índice de resiliência (R) dos biomas brasileiros às mudanças climáticas. (Fonte: modificado de Viegas *et al.* (2022))

Serviços ecossistêmicos, vulnerabilidade socioambiental e ameaças aos biomas

IMA VIEIRA¹

Situação dos biomas brasileiros

O Brasil abriga seis biomas continentais: a Amazônia, o Pantanal, o Cerrado, a Caatinga, os Pampas e a Mata Atlântica. Cada um desses biomas tem suas características distintas, localizados em diferentes zonas climáticas e contendo uma rica biodiversidade. Desde a chegada dos europeus, esses biomas enfrentam modificações significativas devido a explorações, alterações da cobertura vegetal e transformações na paisagem, tornando-se cada vez mais vulneráveis.

A vegetação natural remanescente está distribuída por uma variedade de ecossistemas e ocupa cerca de 64,5% do território brasileiro,² incluindo densas florestas tropicais, florestas secas, áreas úmidas, savanas arbustivas e campos. No entanto, desde os tempos coloniais, o Brasil tem se transformado gradualmente em um país agrícola. E nesta trajetória, a Mata Atlântica e a Caatinga foram os biomas que mais sofreram com as consequências da colonização e da ocupação, com paisagens fortemente impactadas.

Ao longo do tempo, a expansão da agropecuária, aliada à concentração da propriedade da terra em mãos de poucos grandes proprietários, resultou em altas taxas de desmatamento e degradação em todos os biomas. Entre 1985 e 2023, a agropecuária aumentou significativamente, expandindo-se na Amazônia de 3% para 16%, no Pantanal de 5% para 17%, no Pampa de 28% para

¹ Pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi; assessora da Presidência da Finep.

² MapBiomas. Relatório de mudanças de uso da terra no Brasil (1985-2023). 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/07/05/ate-25-da-vegetacao-nativa-do-brasil-pode-estar-degradada/>

45%, na Caatinga de 28% para 38%, na Mata Atlântica, de 63% para 65% e no Cerrado, de 28% para 47%.² Esta atividade não só afeta a biodiversidade, mas também influencia várias outras características dos ecossistemas, como a saúde do solo, os ciclos hidrológicos e as emissões de gases de efeito estufa. Em termos de áreas protegidas, a Amazônia possui a maior cobertura (~45%), incluindo terras indígenas e unidades de conservação, contrastando com o baixo nível de proteção em biomas como Pampa, Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, que aumenta a vulnerabilidade socioambiental desses biomas.

A expansão da agricultura transformou os biomas em centros de uma economia agrícola globalizada, gerando tensões fundiárias e conflitos territoriais, especialmente em áreas ocupadas por povos indígenas e comunidades tradicionais.³ Esses grupos sociais, que historicamente mantiveram relações socioculturais profundas com os territórios que ocupavam, foram marginalizados e considerados obstáculos ao desenvolvimento nacional. Mais recentemente, reconhece-se que os povos tradicionais são os principais responsáveis pela proteção territorial e conservação da biodiversidade nos biomas. Não é por acaso que as áreas mais preservadas do Brasil continuam sendo as Terras Indígenas, que cobrem 13% do território nacional. De 1985 a 2023, elas perderam menos de 1% de sua área de vegetação nativa, enquanto nas áreas privadas foram 28%.⁴

Serviços ecossistêmicos e ameaças aos biomas

Serviços ecossistêmicos (SE) são os benefícios proporcionados pelos ecossistemas à sociedade (Millennium Ecosystem Assessment – MEA, 2005). Esses serviços incluem a regulação do clima, a manutenção da qualidade da água, a produção de oxigênio e a oferta de recursos genéticos, além de outros serviços culturais e recreativos. Esses serviços são, essencialmente, fluxos de materiais, energia e informações provenientes de ecossistemas naturais e cultivados, que, em conjunto com outros tipos de capital (humano,

³ Sauer, S. & Almeida, M. L. 2010. Agrarian structure, foreign investment in land, and land prices in Brazil. *Journal of Peasant Studies*, 37(4), p. 871-898.

⁴ MapBiomas. Relatório de mudanças de uso da terra no Brasil (1985-2023). 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/07/05/ate-25-da-vegetacao-nativa-do-brasil-pode-estar-degradada/>.

manufaturado e social), promovem o bem-estar humano.⁵ A biodiversidade é a base para todos os SEs, pois sustenta os processos e o funcionamento dos ecossistemas.⁶ Portanto, a conservação ou a perda da biodiversidade ocasiona impactos diretos sobre o funcionamento dos ecossistemas e sobre o bem-estar humano.

A Amazônia é reconhecida como um dos biomas mais ricos em biodiversidade do planeta, desempenhando um papel fundamental na provisão de serviços ecossistêmicos, que beneficiam tanto as populações locais quanto a sociedade global. Dentre os serviços ecossistêmicos mais importantes oferecidos pela Amazônia, destaca-se a regulação do clima. A floresta atua como um imenso sumidouro de carbono, armazenando bilhões de toneladas de CO₂ na biomassa e no solo, importante para mitigar as mudanças climáticas.⁷ Estima-se que a Amazônia armazene aproximadamente 100 bilhões de toneladas de carbono, contribuindo substancialmente para a redução das emissões globais de gases de efeito estufa.⁸

Além da regulação climática, a Amazônia desempenha um papel essencial na regulação dos ciclos hidrológicos.⁹ A evapotranspiração das árvores contribui para a formação de nuvens e precipitações, influenciando padrões de chuva localmente e em regiões distantes. A Amazônia é reconhecida como a principal fonte dos “rios voadores”, que são correntes de vapor de água na atmosfera que se movem pela região e transportam grandes quantidades de água para outras regiões do continente sul-americano.¹⁰

⁵ Andrade, D. C. & Romeiro, A. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e bem-estar humano. *Texto para discussão*. Campinas, SP: Unicamp/IE, 2009, n. 155 (fev., 2009), p. 1-44.

⁶ Mace, G. M.; Norris, K.; Fitter, A. H. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol Evol*. 27(1), p. 19-26. 2012.

⁷ Pan *et al.* A large and persistent carbon sink in the world's forests, *Science*, 333 (6045), 2011, p. 988-993, 2011.

⁸ Nobre *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 113, 2016, p. 10759-10768.

⁹ Marengo, J. On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: A historical review and current State-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3a, p. 19, 2006.

¹⁰ Marengo *et al.* Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalysis: Characteristics and temporal variability. *Journal of Climate* 17(12), 2004.

O Cerrado suporta um regime hídrico que abastece grande parte do Brasil central e as mudanças no uso da terra na Amazônia têm implicações significativas para a dinâmica do Cerrado.¹¹ Este bioma sustenta diversas atividades econômicas, como a agricultura e a pecuária, e a conversão da vegetação nativa formou um complexo mosaico de florestas úmidas, florestas decíduais, pastos e áreas agrícolas em grande escala, com consequências significativas para o clima regional.¹²

O desmatamento e a conversão para a agricultura criam microclimas em escalas local e continental, e essas mudanças têm consequências importantes para a paisagem fragmentada das florestas e para a biodiversidade. As alterações no balanço de energia e água alteram os padrões de vento e chuva na fronteira agrícola, o que pode impactar a produção agrícola e a saúde das florestas em toda a região. Já temos dados científicos que mostram que a conversão da vegetação nativa em terras agrícolas está reduzindo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. Na região entre a Amazônia e o Cerrado, mudanças no clima podem inviabilizar a produtividade de 74% das terras agrícolas atuais até 2060.¹³

A Plataforma Brasileira de Serviços Ecossistêmicos e Biodiversidade-BPBES, lançada em 2018,¹⁴ tem contribuído para a atualização dos dados sobre biodiversidade e apresenta os vetores críticos de degradação como incêndios, mudanças climáticas e desmatamento, afetando todos os biomas brasileiros. No primeiro diagnóstico produzido pelo BPBES, demonstra-se que os biomas Pampa e Mata Atlântica têm os maiores riscos de conservação, quando se considera a relação entre o tamanho das áreas legalmente protegi-

¹¹ Silva *et al.* Evidências de Mudanças Climáticas na Região de Transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. *Rev. bras. meteorol.* 31 (3), jul-sep. 2016.

¹² Coe, M. T.; Brando, P. M.; Deegan, L. A.; Macedo, M. N.; Neill, C.; Silvério, D. V. The Forests of the Amazon and Cerrado Moderate Regional Climate and Are the Key to the Future. *Tropical Conservation Science.* 2017, p. 10.

¹³ Prado, R. B.; Overbeck, G. E.; Duarte, G. T.; Monteiro *et al.* Sumário para Tomadores de Decisão do Relatório Temático sobre Agricultura, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES). 30, p. 2024.

¹⁴ BPBES 2018. Disponível em: https://www.bpb.es.net/wp-content/uploads/2019/09/BPBES_Completo_VF-1.pdf.

das em cada bioma e a quantidade de vegetação nativa perdida regularmente. (Figura 1).

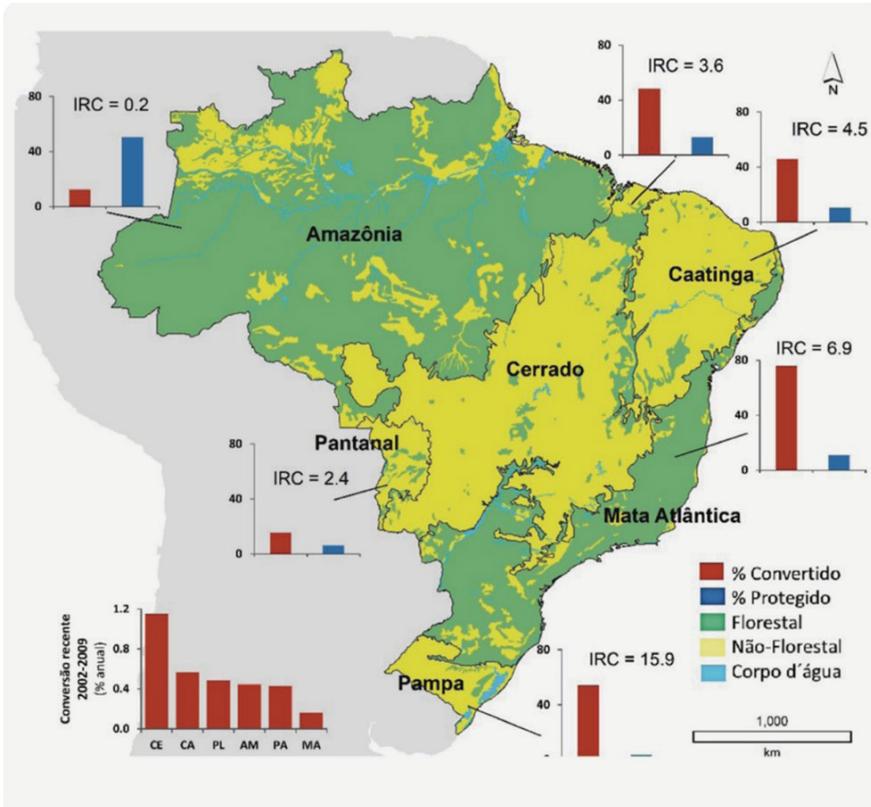


Figura 1 – O risco de conservação dos biomas. (Fonte: BPBES, 2018)

É evidente a relação entre o uso da terra e a mudança climática, com impactos variados nos diferentes biomas.¹⁵ O desmatamento provoca não apenas a liberação de CO², mas também a alteração do ciclo hidrológico, levando a uma redução na umidade e na precipitação, o que agrava a seca e os riscos relacionados às mudanças climáticas. Neste aspecto, a Amazônia

¹⁵ Braga, A.; Laurini, M. Spatial heterogeneity in climate change effects across Brazilian biomes. *Sci. Rep.* 14, 16414, 2024.

e o Cerrado, em particular, exibem vulnerabilidades acentuadas devido à degradação dos solos e à perda de cobertura florestal.

Evidências científicas reforçam que a conservação dos biomas brasileiros contribui diretamente para o bem-estar humano e a economia do país (BP-BES, 2018). A interdependência entre os biomas ressalta a complexidade dos ecossistemas brasileiros – a saúde de um bioma impacta diretamente a de outros. Além disso, a vulnerabilidade socioambiental se manifesta em diversas regiões, com grande parte da população vivendo em condições precárias.

Vulnerabilidade socioambiental

Os biomas brasileiros são caracterizados por diferentes níveis de pobreza e são reconhecidamente vulneráveis às mudanças climáticas. Kasecker e colaboradores¹⁶ combinaram três indicadores: 1) pobreza; 2) proporção de cobertura vegetal natural; e 3) exposição às mudanças climáticas para identificar municípios prioritários no Brasil para implementar políticas de adaptação baseadas em ecossistemas (EbA), no enfrentamento das mudanças climáticas. Foram identificados 398 municípios (de um total de 5570 municípios) que se destacaram pela combinação desses fatores, os chamados *hotspots* de EbA. Esses municípios abrangem 36% da área de vegetação nativa remanescente no país e abrigam 22% da população pobre. A maioria desses municípios está localizada na Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica – biomas reconhecidamente vulneráveis às mudanças climáticas.

Estudo de José Maria Cardoso¹⁷ analisou o grau de vulnerabilidade dos municípios com base nos indicadores de pobreza e cobertura de vegetação natural e revelou que apenas 5,3% dos municípios têm baixa vulnerabilidade (<10% população em extrema pobreza e >50% da área com vegetação natural), enquanto 37% possuem alta vulnerabilidade social e ambiental

¹⁶ Kasecker *et al.* Ecosystem-based adaptation to climate change: defining hotspot municipalities for policy design and implementation in Brazil. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 2018, 23, p. 981-993.

¹⁷ José Maria Cardoso da Silva. Análise preliminar da vulnerabilidade socioambiental dos municípios brasileiros, não publicado.

(Figura 2), inclusive municípios do sudeste do país. Claramente percebe-se que o desmatamento não impulsiona o desenvolvimento.

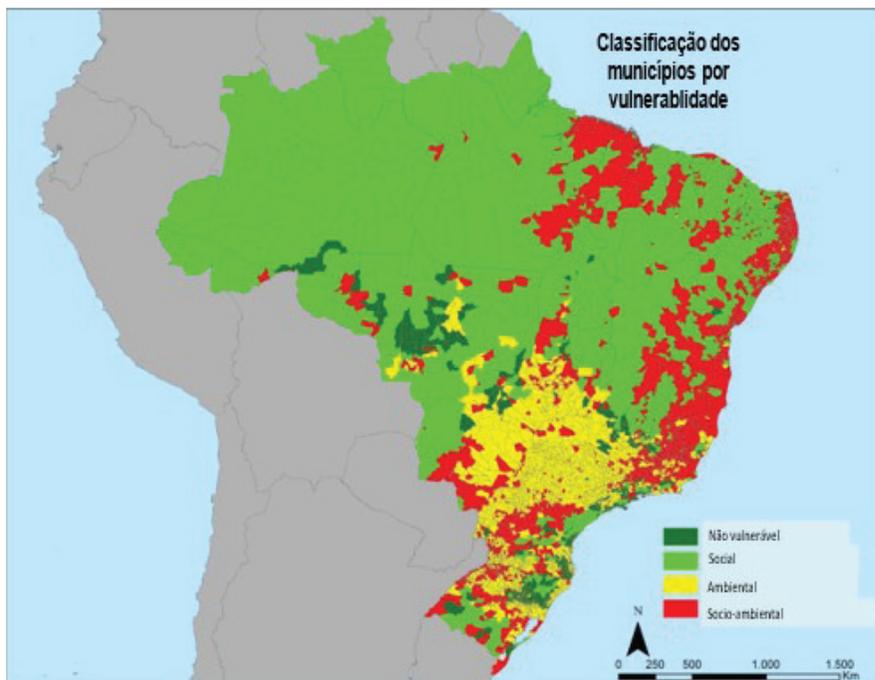


Figura 2 – Índice de Vulnerabilidade Social e Ambiental dos municípios brasileiros (Fonte: J. M. Silva, inédito)

A vulnerabilidade socioambiental atinge de forma desproporcional as populações mais pobres, que dependem diretamente dos ecossistemas naturais para sua subsistência. Ações que conciliem conservação e redução da pobreza são essenciais para aumentar a resiliência dessas populações frente aos impactos das mudanças climáticas e há necessidade urgente de alinhar políticas de adaptação e desenvolvimento sustentável nos municípios com alta vulnerabilidade socioambiental.

Por uma agenda socioambiental integrada para os biomas brasileiros

A proteção e restauração dos biomas brasileiros exigem uma abordagem integrada que concilie conservação, desenvolvimento sustentável e justiça

social. Prioridade deve ser dada ao controle do desmatamento na Amazônia e Cerrado e à expansão de áreas protegidas, especialmente nos biomas mais vulneráveis, como Pampa e Mata Atlântica.

A gestão sustentável dos recursos hídricos e a valorização dos serviços ecossistêmicos são fundamentais para garantir a resiliência dos biomas e das comunidades que deles dependem. O empoderamento e a proteção dos povos indígenas e comunidades tradicionais devem ser priorizados, reconhecendo seu papel importante na conservação da biodiversidade. Nesse sentido, o diálogo intercultural deve assegurar que as políticas públicas para os biomas respeitem e incluam as comunidades locais em sua formulação e implementação.

Para reduzir a vulnerabilidade socioambiental, é recomendado implementar programas de desenvolvimento sustentável focados em municípios de alta vulnerabilidade, promovendo geração de renda e acesso a serviços básicos.

O fortalecimento da governança ambiental, com melhor coordenação entre diferentes níveis de governo e setores da sociedade, é fundamental para a implementação efetiva dessas políticas. Além disso, investimentos em pesquisa e inovação devem ser ampliados para desenvolver soluções sustentáveis e monitorar os impactos das mudanças climáticas nos biomas.

Devemos reconhecer que muitos problemas estruturais subjacentes à implementação bem-sucedida de uma agenda socioambiental não estão sob a alçada de um único agente ou instituição. A complexidade técnica e política desse cenário demanda a mobilização de diversos atores e uma agenda integrada envolvendo vários ministérios.

Inteligência artificial para agricultura e meio ambiente no Brasil: resultados e lições aprendidas

GILBERTO CÂMARA¹

Introdução

Desde que os primeiros computadores foram desenvolvidos na década de 1950, pesquisadores têm buscado desenvolver métodos para reproduzir comportamentos humanos ditos inteligentes. Promessas grandiosas sobre a capacidade iminente dos computadores em ter comportamentos que se igualem ou superem as habilidades humanas são recorrentes na história da IA. Em 1965, o prêmio Nobel Herbert Simon declarou: “em 20 anos, as máquinas serão capazes de fazer qualquer trabalho que o ser humano possa fazer”. Poucos campos do conhecimento humano têm um histórico de tantas promessas não cumpridas como a IA. Por isso, a percepção da sociedade sobre a IA oscila entre euforia e decepção.

Na década de 2020, vivemos mais um período de euforia de IA. A principal diferença entre os métodos atuais de IA e aqueles adotados no século passado reside na primazia da representação numérica sobre a simbólica. Os grandes projetos de IA dos anos 1980 e 1990 se baseavam em métodos de representação do conhecimento usando dedução lógica, como os chamados sistemas especialistas. O fracasso dessas iniciativas levou ao quase abandono da IA simbólica em favor de técnicas baseadas em aprendizagem de máquina. Atualmente, todos os componentes da informação – textos, imagens, áudios e vídeos – são transformados em representações numéricas. A partir de exemplos organiza-

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Centro de Estudos do Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas (GV Agro).

dos em bases de treinamento e de métodos *ad hoc* de classificação e predição, a chamada IA generativa tem sido capaz de produzir resultados convincentes à primeira vista, levando a previsões exageradas sobre o iminente advento de uma IA que poderia igualar ou superar as capacidades humanas.

Uma análise mais detalhada da atual geração de IA generativa permite refutar essas previsões. Críticos rotulam o ChatGPT e similares como “papagaios estocásticos”, capazes de regurgitar dados acumulados de forma que parece inteligente, mas sem compreender o significado da linguagem que processam. Nessa perspectiva, efeitos bem documentados do ChatGPT ao produzir afirmações erradas não podem ser resolvidos com mais dados ou refinamentos nos algoritmos, mas representam dificuldades intransponíveis da atual geração de IA generativa. A incapacidade de distinguir entre invenção e realidade seria inerente à IA generativa e impediria seu uso em aplicações nas quais se pretenda substituir o poder de decisão humano. No máximo, a IA generativa poderia servir como informação útil para ajudar o trabalho intelectual de uma pessoa bem-informada, mas nunca seria capaz de substituir a capacidade de lidar com situações duvidosas ou inesperadas. Como o dia a dia de muitas ocupações humanas como médicos, advogados, motoristas, atendentes, professores e profissionais criativos, depende da capacidade de se ajustar a situações não codificadas previamente, é improvável que a IA generativa tenha o impacto que seus defensores proclamam.

Os avanços da IA generativa só foram possíveis graças a décadas de desenvolvimento de engenharia de dados por empresas como Google, Microsoft, Amazon e Meta/Facebook. O grande salto na tecnologia de informação no século XXI é a capacidade de organizar megadados para permitir buscas e respostas rápidas. Sem uma coleta maciça de textos, não seria possível treinar sistemas como ChatGPT. Segundo dados disponíveis, não há informação textual acessível via internet ou por digitalização de livros e periódicos que ainda não tenha sido utilizada pela atual geração de IA generativa.

Essas considerações iniciais são essenciais para todos que se interessam pela questão do uso de IA no Brasil, incluindo cientistas, empreendedores e gestores públicos. A compreensão das virtudes e fraquezas da atual geração de IA é imprescindível para dimensionar esforços de política pública e expectativas de retorno de investimentos privados. Quais os componentes técnicos

e institucionais necessários para desenvolver sistemas públicos de IA? Que políticas públicas têm maior chance de sucesso na área de IA? O que se pode aprender com experiências bem-sucedidas no Brasil?

Relatamos aqui a experiência da construção de um *software* livre avançado para análise de megadados de observação da Terra com uso de técnicas de IA, realizado por uma equipe liderada pelo autor. O *software* chama-se *sits* (acrônimo de “satellite image time series”). Esse *software* é usado de forma operacional por equipes do INPE, Embrapa e IBGE para produzir informações oficiais de uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros.

Engenharia de dados como condição para IA avançada

A condição necessária e imprescindível para sistemas que usem técnicas de aprendizagem por máquina, como é o caso do ChatGPT, é a existência de uma arquitetura de informação que permita o acesso rápido e eficiente a quantidades significativas de dados. O mesmo acontece no caso de observação da Terra. As principais fontes de dados são os satélites de sensoriamento remoto que geram imagens do planeta de forma sistemática, consistente e repetitiva. Embora os primeiros satélites tenham sido lançados nos anos 1970, foi apenas a partir da década de 2010 que surgiram serviços de nuvem para dados de observação da Terra.

O principal obstáculo para a criação desses serviços organizados foi a lenta evolução das políticas de dados adotadas pelas agências espaciais. O Brasil foi pioneiro ao liberar suas imagens em acesso aberto em 2006, seguido pelos EUA em 2008 e pela Comissão Europeia em 2013. Posteriormente, foi necessário um entendimento entre as agências espaciais para definir formatos padronizados de geração de imagens, permitindo comparabilidade e integração entre diferentes sensores. No entanto, as instituições públicas estadunidenses e europeias demoraram para dar o próximo e necessário passo, que seria criar serviços públicos e gratuitos de acesso organizado a dados espaciais. Nesse vácuo, empresas privadas estadunidenses, como Google, Amazon e Microsoft, ocuparam o espaço que deveria ser público, criando serviços de nuvem para dados de observação da Terra. Assim, essas empresas se beneficiaram comercialmente de investimentos públicos feitos por outros países.

O primeiro serviço de nuvem foi Google Earth Engine (GEE), que oferece uma interface de programação que permite algumas análises sobre imagens disponíveis na nuvem da Google. Esse sistema é limitado; suas funções são limitadas e com código fechado. Não permite a transferência de dados para máquinas locais e não pode ser usado por agências de governo para produtos oficiais. Os sistemas de nuvens mais recentes criados a partir de 2018, como os ambientes da AWS e Microsoft, permitem o acesso e transferência de dados, mas não oferecem ambientes de desenvolvimento abertos. Tal limitação representa uma oportunidade para desenvolvedores de *software* livre, como a equipe brasileira do *sits* que podem oferecer soluções abertas que funcionem nesses sistemas.

Em 2018, consciente do risco de depender de serviços privados de nuvem para acessar dados espaciais essenciais às políticas públicas brasileiras, a equipe do INPE iniciou o desenvolvimento do Brazil Data Cube, um serviço público de imagens de satélite sobre o país. Apesar de resultados significativos, o trabalho do Brazil Data Cube carece do apoio necessário de órgãos de financiamento à C&T brasileira, e de uma estrutura administrativa e gerencial adequada. Esses desafios serão analisados numa seção posterior deste texto.

Em resumo, uma arquitetura eficiente de serviços de acesso em nuvem é condição fundamental para um sistema de análise de megadados. Essa constatação é válida não apenas na área de observação da Terra, mas em qualquer domínio do conhecimento, e precisará ser levada em conta na estratégia nacional na área de IA.

IA, observação da Terra e geo-ontologias

A criação de serviços de nuvem para dados de observação da Terra abriu a oportunidade de desenvolver tecnologias de análise de megadados capazes de produzir informações sobre o planeta com qualidade e eficiência. No Brasil, esse trabalho foi sustentado por três pilares de conhecimento construídos ao longo dos últimos 40 anos: a) a aplicação de sensoriamento remoto para mapeamentos em grande escala; b) a experiência em projetos de desenvolvimento de *software*; e c) o conhecimento teórico em Ciência da Geoinformação.

O INPE e a Embrapa são líderes internacionais no uso de imagens de sensoriamento remoto para mapeamento ambiental. Sistemas como Prodes

e Deter fornecem evidências para a tomada de decisões governamentais, a definição de investimentos públicos e privados, e o cumprimento de compromissos internacionais assumidos pelo Brasil. Boa parte desses sistemas ainda usa fotointerpretação para garantir resultados de qualidade. No *design* do software “sits”, tomamos esses produtos como referência, indicando o patamar de acurácia a ser alcançado. Compreender como foto-intérpretes classificam imagens ajuda a pensar em como sistemas de IA podem substituir parte desse trabalho.

Outro fator importante é a experiência da equipe em *software* livre para a análise de dados espaciais. Desde 1984, o INPE desenvolve *software* livre; o atual sistema de IA representa a quinta geração desses esforços. Em cada geração, a equipe buscou atualizar-se com as técnicas de desenvolvimento mais recentes. Esse processo de aprendizado permitiu-nos entender os benefícios e problemas dos diferentes paradigmas de programação. Além disso, mantivemos um constante contato com grupos internacionais de desenvolvimento de *software* livre para dados geográficos. Ao conceber o sistema sits, optamos por um *design* atualizado que maximiza a cooperação internacional e o reuso de *software* livre de qualidade desenvolvido por terceiros. Essa capacidade de escolha e entendimento do panorama internacional foi essencial para que o desenvolvimento pudesse se concentrar nas questões inovadoras.

A experiência em Ciência da Geoinformação foi importante, em particular nos estudos sobre representação de conhecimento geográfico. Conforme discutimos acima, um desafio difícil para a IA generativa é representar significados. Esse desafio é particularmente crucial na área ambiental, pois os conceitos que utilizamos para descrever a natureza não conseguem capturar a variabilidade dos ecossistemas. Termos como “floresta”, “desmatamento”, “degradação”, e “pastagem” são ambíguos; seu significado depende do contexto. O número de conceitos que usamos é limitado e não captura todas as possibilidades da realidade externa. Portanto, é pouco provável que um único sistema de IA generativa possa ser usado para classificar os ecossistemas de todo o planeta.

Entender as limitações da IA generativa foi um passo necessário para o projeto de um sistema de IA eficiente na área de observação da Terra. Modelos como ChatGPT usam a frequência das relações entre palavras para

construir textos. Essa estratégia não funciona quando as palavras mudam de significado dependendo da localização. Uma floresta na Finlândia não tem o mesmo significado que uma floresta no Pará. Por isso, é necessário ter flexibilidade ao construir dados de treinamento para classificadores que usam IA. Dados de treinamento não podem ser facilmente generalizados entre ecossistemas distintos. Cada caso é um caso. Cada aplicação demanda um conjunto de dados de treinamento distintos.

Boas aplicações de IA para o meio ambiente dependem de especialistas com conhecimento de campo, que sejam capazes de relacionar o que veem nas imagens com sua experiência em contato com a realidade. Por isso, dedicamos esforço considerável para conceber métodos inovadores para avaliar e melhorar a qualidade dos dados de treinamento. Em quase todos os casos, esses métodos são mais importantes para produzir bons resultados do que os próprios algoritmos de IA. Outra decisão relevante de projeto foi a de buscar utilizar, para cada estudo, todos os dados de satélite disponíveis. Resultados obtidos desde o início da década de 2010 por equipes de pesquisa do INPE e da Embrapa mostram que o uso de séries temporais de imagens de satélite melhora significativamente os resultados. As tecnologias de IA ambiental desenvolvidas pela equipe se beneficiaram muito desse conhecimento prévio. Embora o uso de séries temporais de imagens pareça um caminho óbvio para quem trabalha com dados ambientais, o *sits* é hoje o único produto operacional (comercial ou livre) que usa esse paradigma. Sistemas comerciais como o Google Earth Engine, usado para gerar os resultados do MapBiomass, não usam séries temporais. Em consequência, seus resultados têm qualidade inferior ao TerraClass, produto desenvolvido pelas equipes do INPE, Embrapa e IBGE para produzir informações oficiais de uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros com base na tecnologia *sits*.

Em resumo, verifica-se que o desenvolvimento de tecnologia de IA não ocorre em um vácuo. No caso aqui discutido, o *design* de soluções avançadas na área de IA ambiental beneficiou-se muito de décadas de experiência do Brasil na área de sensoriamento remoto. Sem o uso do conhecimento acumulado, haveria um grande risco de construir-se um *toy system*: um *software* que adaptasse algoritmos e lógicas de outras áreas (como o ChatGPT) com

a equivocada suposição de que os métodos da IA generativa são universais e resolvem todas as questões do conhecimento humano.

Arquiteturas institucionais: realidades e desafios

Desenvolver *software* livre para uso público nunca é um projeto individual, feito por *nerds* nas madrugadas. Boa parte da comunidade científica e dos gestores de P&D ainda mantém uma visão romântica sobre como se faz *software* livre. Essa percepção é, em parte, resultado da generalização de declarações de pioneiros como Linus Torvalds, feitas em contextos históricos específicos. Torvalds disse em 1991 que criou o Linux “como um *hobby* para ter um sistema UNIX-like para usar em casa”. Essa fala, no entanto, não captura o substancial arcabouço institucional que foi criado para que Linux e seus derivados pudessem hoje rodar em mais de 90% dos servidores que sustentam a internet. Transformar um projeto pessoal num produto operacional confiável requer organizações dispostas a apoiar *softwares livres* com recursos humanos e financeiros, além de suporte legal.

O desenvolvimento da tecnologia de IA ambiental no Brasil tem enormes ganhos ao estar ancorado em instituições-chave como INPE, Embrapa e IBGE. Essas organizações públicas detêm o conhecimento necessário para o *design* de tecnologias avançadas na área, são seus maiores usuários e transmitem credibilidade ao *software*. Reproduzir a experiência exitosa na área de IA ambiental em outros domínios de interesse público não é apenas uma questão de vontade de gestores e de alocação tradicional de recursos. É preciso que instituições públicas com experiência em casos reais participem diretamente de projetos de inovação em IA.

No entanto, o engajamento de instituições públicas é insuficiente para desenvolver soluções avançadas de IA. As instituições públicas de C&T estão prisioneiras de um sistema de controle antagonista. Embora o Marco Legal e Lei das Fundações permitam compor equipes temporárias para projetos de inovação com contratos CLT, na prática os órgãos de controle (especialmente AGU e MPU) adotam entendimentos restritivos e não aceitam que institutos de C&T adotem tais práticas. Essa interpretação draconiana impede instituições públicas de montar equipes necessárias para ter sucesso em projetos inovadores.

Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologia brasileira de IA ambiental só foi possível porque o líder do projeto (e autor desse texto) está aposentado desde 2016 e pôde assim organizar as atividades de forma a combinar recursos privados e públicos. Boa parte dos recursos que custeiam a equipe de desenvolvimento provém de entidades externas e não está sujeita às amarras irracionais do sistema de controle. Para tornar esse arranjo público-privado factível, o regime de propriedade intelectual adotado foi essencial.

Desde o início do projeto, o *software* sits adotou a licença GPL de propriedade intelectual, a mesma usada pelo Linux. Trata-se de licença restritiva; trabalhos derivados de um produto originalmente licenciado pela GPL só podem ser distribuídos se utilizarem a mesma licença. Essa escolha permite contribuições de especialistas públicos e privados para o produto e impede apropriações indevidas. Isso permite que recursos fora do orçamento público possam ser usados para custear o desenvolvimento do *software*, sem restringir sua capacidade de uso por instituições governamentais.

A flexibilidade proporcionada pelo uso de uma licença de propriedade intelectual adequada foi crucial. Sem as limitações impostas pelo sistema de controle, é possível remunerar adequadamente a equipe de desenvolvimento e negociar acordos de trabalho flexíveis. Contribuições de servidores públicos são importantes e necessárias. No entanto, impõe-se a constatação de que não seria possível desenvolver uma tecnologia avançada de IA sob o jugo do sistema de controle que hoje restringe o progresso da C&T brasileira.

Lições aprendidas

A sociedade brasileira poderá ter grandes benefícios no uso de IA em áreas como Saúde, Educação, Energia e Seguridade Social. No entanto, a carência de tecnologias de amplo uso nesses domínios não será resolvida apenas por meio de editais convencionais do CNPq e da Finep. Por natureza, esses editais financiam projetos de curta duração a grupos isolados, sejam eles em universidades ou *startups*. Sem arquiteturas institucionais adequadas, os resultados serão inevitavelmente projetos demonstrativos que dificilmente poderão ser aplicados em escala.

No momento em que o Brasil toma consciência da necessidade de investir em IA para beneficiar a sociedade, a maior pergunta é se os gestores

de C&T serão capazes de aprender com as boas experiências. A tendência inercial do CNPq, Finep e MCTI é pulverizar recursos. Soa bem para a comunidade científica e, à primeira vista, parece consistente com a macrovisão de reduzir as desigualdades sociais e regionais. No entanto, essa abordagem não será eficaz.

A experiência internacional de desenvolvimento de tecnologias de informação mostra que o “efeito Mateus” funciona, gostemos ou não. A concentração de talentos e recursos em poucos centros de pesquisa privados e públicos é essencial para o sucesso dessas tecnologias. Modelos industriais tradicionais, nos quais a produção de bens é dividida em partes mínimas gerenciáveis individualmente, não funcionam na produção de *software*. Desenvolver *softwares* é uma atividade criativa, com maior semelhança com produção artística do que com o trabalho fordista tradicional. Há enormes diferenças de produtividade entre os melhores programadores e aqueles meramente bons. Essas diferenças têm de ser refletidas em condições diferenciadas de trabalho se quisermos produzir soluções de qualidade de IA para uso público.

Será preciso romper barreiras mentais arraigadas na gestão de recursos públicos de C&T se quisermos que a população tenha acesso a produtos avançados de IA. A criação de centros de excelência em IA aplicados a temas como Saúde e Educação se impõe como imprescindível para que possamos ter soluções de IA eficientes para a sociedade. Esses centros precisam ser instituições independentes, sob o modelo das organizações sociais, com liberdade para contratar e demitir, estabelecer salários adequados, e ter segurança jurídica. Em vez do atual sistema kafkiano de controle *ex-ante* com uma legislação ultrapassada, é mister uma lógica *ex-post* baseada em resultados, modelo de sucesso já adotado nos países avançados.

Este texto apresentou uma das poucas experiências até agora exitosas de desenvolvimento de *software* livre de IA para apoio a políticas públicas. Espera-se que a experiência relatada aqui possa motivar gestores públicos a rever suas concepções de financiamento de C&T no Brasil. Mudar a gestão de C&T é necessário e urgente.

Nossas instituições de C&T estão paralisadas por modelos rígidos: salários controlados, incapacidade de contratar e demitir, e uma enorme insegurança jurídica. Professores, reitores, pesquisadores e dirigentes vivem sob

ameaça constante de punição. O clima de terror instaurado na C&T brasileira é olímpicamente ignorado pelo governo. O modelo de organizações sociais, que hoje é a única forma de criar centros de excelência com gestão baseada em resultados, está sendo marginalizado, vítima de uma visão incompatível com a realidade da C&T no século XXI. Renunciar ao controle excessivo e do microgerenciamento de C&T é condição essencial para o sucesso de uma estratégia nacional de IA.

A experiência exitosa de desenvolvimento de *software* livre para aplicações em IA ambiental mostra que, dadas as condições certas, é possível ter bons resultados no desenvolvimento de tecnologia de ponta no Brasil. Espera-se que as lições decorrentes venham a ser entendidas e internalizadas na gestão pública. Caso isso não aconteça, teremos de dar a razão a Nelson Rodrigues: “subdesenvolvimento não se improvisa; é obra de séculos”.

Agradecimentos

O autor agradece a colaboração de colegas no Brasil e no exterior que lhe ajudaram e lhe ensinaram muito ao longo de sua carreira. Entre os muitos a quem é devedor, cite-se: Karine Ferreira, Lubia Vinhas, Isabel Escada, Michelle Picoli, Alexandre Coutinho, Claudio Almeida, Felipe Carlos, Felipe Souza, Gilberto Queiroz, João Antunes, Júlio Esquerdo, Marco Casanova, Miguel Monteiro, Nelson Mascarenhas (*in memoriam*), Ricardo Cartaxo e Rolf Simões. Fora do Brasil, agradece a Andrew Frank, David Mark, Edzer Pebesma, Fred Fonseca, Roger Bivand e Werner Kuhn.

Gestão de risco e gestão de desastre: a gestão do risco é a gestão das vulnerabilidades

OSVALDO LUIZ LEAL DE MORAES¹

Sobre o desastre no Rio Grande do Sul em 2024, o chefe do Departamento de Estatísticas do Banco Central, Fernando Rocha, afirmou que a situação de calamidade do estado trará impacto para as projeções de mercado, que se dividirão em antes e depois da catástrofe e que afetará o conjunto econômico do país.²

Mas não é só economia.

O número de mortes confirmadas no Rio Grande do Sul em razão dos temporais que atingem a região nas últimas semanas já superou o somatório de mortes registradas em 30 anos, no mesmo estado, considerando todos os desastres naturais.³

Mas não é apenas 2024.

2010: Entre 03 e 05 de janeiro ocorreu um importante desastre hidrológico na porção central do Rio Grande do Sul (RS), onde dezenas de municípios apresentaram danos humanos, materiais ou prejuízos. A precipitação intensa e volumosa desencadeou uma série de processos hidrogeológicos, como deslizamentos, enxurradas e inundações, conforme as particularidades de cada local atingido.⁴

¹ Secretário Adjunto de Políticas e Programas Estratégicos do MCTI.

² Fonte: infomoney.com.br.

³ Fonte: G1.

⁴ Guilherme Garcia de Oliveira, www.lume.ufrgs.br.

2020: O Rio Grande do Sul se manteve com 100% de seu território com seca entre dezembro e janeiro, confirmou a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A condição permanece consecutivamente há um ano e quatro meses no estado, desde outubro. É a segunda maior sequência do Brasil, inferior apenas ao um ano e sete meses de Mato Grosso do Sul.

2021: O Rio Grande do Sul sofreu com a passagem de um ciclone extratropical que provocou fortes chuvas, enchentes, ventanias, alagamentos e queda de árvores. Deixou 27 mortes, uma pessoa desaparecida, milhares de desabrigados e desalojados, e danos em infraestrutura e serviços. Foi o maior desastre natural relacionado a chuvas dos últimos 40 anos no estado.⁵

2022: O Rio Grande do Sul enfrentou uma das piores tragédias climáticas. Chuvas persistentes por pelo menos uma semana colocaram o estado inteiro em situação de calamidade, causando danos significativos. O número de mortos já chega a 32, e dezenas de pessoas estão desaparecidas devido às enchentes. Os meteorologistas apontam que essa catástrofe é resultado da atuação de três fenômenos na região, agravados pelas mudanças climáticas. Esses fenômenos incluem um cavado, um corredor de umidade vindo da Amazônia e um bloqueio atmosférico. Além disso, o aquecimento global influencia a intensidade desses eventos climáticos, transformando o que seria um evento isolado em uma catástrofe. Essa tragédia é considerada o maior desastre natural dos últimos 40 anos no estado.

2023: O desastre climático no Rio Grande do Sul deverá demandar ao menos uma década para a reconstrução da infraestrutura local, mas a priorização dos recursos para esse processo é inevitável, avalia Venilton Tadini, presidente-executivo da Associação Brasileira da Infraestrutura e Indústrias de Base (Abdib).⁶

Mas, afinal, que lições aprendemos, ou somos capazes de aprender algo a partir deste histórico de desastres e de seus impactos?

Essa sequência de desastres com impactos crescentes evidencia duas coisas. Por um lado, a realidade de que os eventos extremos estão se tornando

⁵ Fonte: G1.

⁶ Fonte: Valor Econômico.

mais frequentes e mais intensos. Por outro lado, a incapacidade de lidarmos com a diminuição das vulnerabilidades.

Essa constatação é decorrência de uma das mais conhecidas contribuições da Ciência ao Gerenciamento do Risco.

O risco, como definido ainda no século XVIII, por Pascal e Fermat, é a probabilidade de que um evento aleatório venha a ocorrer. No caso do desastre, quais são os eventos aleatórios? Para quem desconhece da Ciência dos Desastres, o comentário mais rotineiro é de que o desastre é o evento extremo. Assim, para estes, basta fazer uma boa previsão de tempo que já estamos preparados para enfrentar a natureza. Nada mais simplista, ou reducionista do que isso. O desastre é a combinação, o encontro, do evento da natureza com alguma vulnerabilidade. Mas, com certeza, essa teoria reforça mais ainda o quanto a vulnerabilidade é predominante para um desastre.

O rompimento da barragem e a sua triste consequência não foi causada por um evento extremo de tempo ou de clima. Foi a vulnerabilidade tecnológica que desencadeou aquele desastre.

O desastre no RS, em 2024, também evidencia o quanto as vulnerabilidades foram o determinante para o impacto. A Ciência Meteorológica, com dias de antecedência, emitiu o aviso (não o alerta) de que chuvas intensas iriam ocorrer. *Então, por que o impacto foi alto? Foi alto por uma série de vulnerabilidades.*

A vulnerabilidade tecnológica (casa de bombas que não funcionou, diques que romperam). Vulnerabilidade social. Vulnerabilidade urbana (edificações construídas em áreas de risco). Vulnerabilidade da forma de comunicação entre os tomadores de decisão e a população exposta. Vulnerabilidade cultural (a tragédia de 1941 não irá se repetir!). Vulnerabilidade de infraestrutura (rodovias, pontes, aeroporto construídos para enfrentar situações distintas da que ocorreu). Vulnerabilidade econômica (não há nos cenários de crescimento econômico a projeção de eventos similares). Vulnerabilidade Educacional (não há nos currículos escolares percepção e conhecimento do risco). E assim por diante.

Então, de forma simples e direta: Fazer a Gestão do Risco é mais do que fazer a previsão do tempo e emitir os alertas.

O Brasil, desde 2011, conta com uma capacidade ímpar de monitorar as ameaças e prever os seus impactos caso tal ameaça venha a se concretizar. A criação de um centro dedicado para esta tarefa, que trabalha de forma ininterrupta em regime de 24 por 7, com uma equipe multidisciplinar e altamente qualificada, foi uma das maiores contribuições do MCTI para a ciência tangível. Desde então, quase todos os desastres acima foram alertados com tempo hábil para a tomada de decisão. Exceção foi o de 2010, pois o Cemaden ainda não havia sido criado. Em outras palavras: o Brasil possui capacidade de monitorar e alertar.

Enquanto continuarmos a ter uma visão distorcida de onde residem as fragilidades vamos continuar assistindo, lamentando e chorando as consequências dos eventos extremos. Muito pior: com o aumento da frequência e das intensidades destes eventos, isso pode se tornar uma rotina.

A Gestão do Risco significa entender as fragilidades e atuar para as atenuar. É muito verdadeiro que nunca seremos capazes de eliminar todas as fragilidades, assim como é verdadeiro que o evento meteorológico de 2024 foi muito acima do normal. Mas a ocorrência de um evento desta natureza já vem sendo alertada pela ciência faz muitos anos. Não é aceitável jogar na natureza a culpa pelos impactos.

Para concluir: o monitoramento e alerta é parte essencial da Gestão do Risco, mas a Gestão do Risco requer, também, a identificação das vulnerabilidades, em todas as suas dimensões, e a elaboração de planos para reduzi-las ou mitigá-las.

É gratificante ter assistido a solidariedade com os gaúchos, assim como com todas as populações que foram, em algum momento, afetadas por desastres. É um orgulho ver a capacidade dos indivíduos e do sistema nacional de Proteção e Defesa Civil. Tais indivíduos e tal sistema representa a fortaleza existente para a Gestão do Desastre. Desastre após desastre testemunhamos a bravura destes homens e mulheres. Testemunhamos, também, os esforços de reconstrução. Os investimentos feitos na recuperação das cidades. Na recuperação das infraestruturas atingidas. Na assistência às pessoas que foram afetadas. Isto significa que, se por um lado possuímos capacidade de monitorar e emitir alertas e, por outro lado, capacidade de fazer a gestão do desastre, nos falta a gestão do processo localizado entre essas duas pontas. E isso, reforço, significa,

de forma ininterrupta e contínua, *a identificação das vulnerabilidades, em todas as suas dimensões, e a elaboração de planos para reduzi-las ou mitigá-las*. De forma ininterrupta e contínua, uma vez que elas são dinâmicas no tempo e no espaço.

Feito esse diagnóstico, ou, talvez, elaborado uma tese, resta apresentar uma proposta de como avançar e, ao menos, tentar superar esse gargalo.

Não podemos, como cientistas, deixar os tomadores de decisão isolados nessa tarefa. A eles compete a ação para a redução das vulnerabilidades. Mas como eles a irão identificar? Reduzir vulnerabilidades, como as listadas acima ou qualquer outra que possa ter ficado de lado, significa, antes de tudo saber onde elas residem. E a ciência possui as ferramentas para isso.

O Rio Grande do Sul conta com uma das mais robustas estruturas de ensino e pesquisa do Brasil, que cobre todas as regiões do estado. Em termos de Universidades Federais, o estado conta com 6 (UFRGS, UFSM, UFPEL, FURG, Unipampa e UFCSPA). Há, também, Universidades Eclesiásticas como a PUC, Unisinos e UCPEL, além dos Institutos Federais. Conta com outra dezena de Universidades Comunitárias.

Além de cursos de graduação como nota máxima do MEC, o estado conta com centenas de programas de pós-graduação.

Todas, verdadeiramente todas, as áreas de conhecimento estão contempladas. As Engenharias, a Saúde, a Economia, a Meteorologia, as Ciências Sociais, Arquitetura e Urbanismo, Comunicação etc. Todas essas áreas possuem profissionais capacitados para auxiliar na tarefa de identificar as vulnerabilidades e desenhar planos para as atenuar.

Os tomadores de decisão esperam essa contribuição da ciência.

Não resta, pois, dúvida de que o estado possui capacidade científica para colaborar com a recuperação do estado e auxiliar no planejamento de seu futuro.

Coloquemos, então, essa nossa capacidade a serviço do país, pois é isso que a sociedade espera da ciência.

Experiências públicas e
privadas no enfrentamento
dos desafios climáticos

Crise climática, degradação ambiental e reconstrução do Rio Grande do Sul

RUI OPPERMANN¹

O estado do Rio Grande do Sul e muitas cidades, inclusive Porto Alegre, sofreram sua pior tragédia ambiental. As inundações que castigaram o estado deixaram um rastro de mortes e destruição, economias devastadas, famílias desabrigadas e um enorme desafio na reconstrução.

O período pós-pandemia poderia ter sido aproveitado para que a sociedade humana compreendesse que os riscos mundiais a que estamos submetidos são muito sérios. Durante a pandemia, a comunidade científica superou barreiras e fomentou parcerias, desde o acompanhamento epidemiológico da doença, das mortes decorrentes das associações populacionais até o estudo do vírus, o desenvolvimento de vacinas e sua aplicação em populações inteira, incluindo o estudo dos efeitos pós-covid que ainda perduram. Embora, nesse contexto, tenham perdurado os desequilíbrios regionais decorrentes da ação do mercado na distribuição das vacinas para regiões como a África, essas populações foram beneficiadas por vacinas produzidas fora do contexto dos grandes laboratórios, por países como Cuba e Rússia.

Nós, os que sobrevivemos à pandemia, poderíamos ter aprendido a lição de que a superação de diferenças históricas, interesses do mercado e a hegemonia dos países do Norte Global seria uma forma de superarmos também outros desafios, especialmente aqueles associados à presença da vida na Terra. A crise ambiental e climática que está se manifestando de forma cada vez mais evidente em vários locais do planeta precisa de um esforço comum para

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

a sua superação. Infelizmente, o cenário pós-pandemia revela que desavenças históricas e interesses econômicos que se alimentam dos conflitos bélicos não só continuam, como se alastram e se agravam. Com isso, a agenda ambiental e climática, embora aceita como prioridade, não tem se expressado em ações de caráter mundial capazes de assegurar que todos os países estão comprometidos com a redução dos riscos existentes.

Emergência climática e neoliberalismo

Os anos de pandemia foram seguidos por anos de radicalização e de guerras que ameaçam se ampliar, e isso tem um significado muito grande, colocando em risco a democracia e a segurança, não só no Brasil, não só na América Latina, mas em todo o mundo. Isso fere de morte a luta contra as mudanças climáticas, algo muito importante de se pensar, e relega a segundo plano o combate às desigualdades em todas as suas dimensões. Marcos Nobre aponta para o nexo entre as crises climáticas e a incapacidade de enfrentamento das políticas neoliberais:

Na verdade, foi a pandemia de Covid-19 que souou o último alerta: a regulação neoliberal não é capaz de lidar com ameaças globais dessa magnitude. É preciso criar formas de governança global, uma governança econômica em especial. Também porque uma série de conflitos bélicos eclodiram nesse período ou logo depois dele, com a ameaça de se tornarem guerras mais ou menos generalizadas. O neoliberalismo acelerou a emergência climática, desmontou mecanismos universais de solidariedade e exacerbou disputas distributivas.²

A crise ambiental e climática reúne desafios de enorme complexidade, com múltiplas causalidades, interesses e propostas. Valério Pata Pilar e Mercedes Bustamante, em recente artigo, pontuam que o falacioso discurso que contrapõe a conservação de nossos ecossistemas e seus povos ao desenvolvimento social e econômico impede a construção de alternativas que conciliem usos e valores e que garantam condições de bem-estar à sociedade brasileira e suas futuras gerações. Uma dimensão da gravidade é exemplificada pela

² Questões de ordem mundial II – O mundo e o Brasil depois do neoliberalismo. Produzir uma teoria da dependência renovada pode ajudar o Sul Global a escapar da armadilha neoextrativista. Marcos Nobre. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/o-mundo-e-o-brasil-depois-do-neoliberalismo/>

observação de que as crianças de 10 anos de idade ou menos em 2020 vivenciarão eventos extremos com um aumento de quase quatro vezes se o aquecimento global for de 1,5 °C até 2100; e um aumento de cinco vezes, se o aquecimento chegar a 3 °C nesse período. Em contraste, uma pessoa com 55 anos em 2020 não sofrerá esses impactos em seu tempo de vida restante em nenhum cenário de aquecimento.

Os autores lembram que os avanços científicos e novas tecnologias, como o sensoriamento remoto e o acompanhamento em larga escala dos processos ecológicos, produzem informações que nos seu todo permitem reconhecer os vetores dos processos de degradação ambiental e climática. Nessa área, o Brasil tem uma posição de liderança na comunidade científica internacional. Os autores lembram que, apesar de ainda termos muito o que conhecer e pesquisar, o que hoje já conhecemos por meio da ciência e de outros sistemas de conhecimento é suficiente para apontar de forma contundente que nenhuma sociedade que despreza a proteção da natureza conseguirá garantir um futuro a suas populações. Somos imersos e dependentes do mundo natural.³

As raízes da tragédia no Rio Grande do Sul

Problemas complexos demandam soluções complexas com a participação de atores governamentais, políticos e sociais tanto no âmbito nacional como regional e, principalmente, internacional. A tragédia que se abateu sobre o Rio Grande do Sul é um exemplo de como a desarticulação desses atores acabou resultando em um cenário de destruição, morte e crises sociais, econômicas e políticas. Os dados mais publicados pela Defesa Civil do Estado dão conta que:

- no dia 08 de julho subiu para 182 o número de mortes devido às fortes chuvas que causaram estragos nos municípios gaúchos em abril e maio.⁴ A atualização aponta que 31 pessoas ainda seguem desaparecidas.

³ Aquecimento global: conta dos eventos extremos será paga pelas futuras gerações (the-conversation.com).

⁴ Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-07/numero-de-mortos-por-cao-da-chuvas-no-rs-sobe-para-182>

- 2,398 milhões de pessoas foram afetadas de alguma maneira pela tragédia climática, o equivalente a 22,04% da população do Rio Grande do Sul, que, segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022, era de 10.882.965 pessoas.
- os impactos das inundações causaram danos em 478 dos 497 municípios gaúchos, ou seja, 96,18% do total.
- no ápice da crise climática, o estado contabilizou mais de 626 mil pessoas que tiveram que abandonar suas casas de forma temporária ou definitiva e que buscaram moradia em lares de parentes, amigos ou em abrigos emergenciais.

O professor e pesquisador da UFRGS Rualdo Menegat aponta cinco fatores que estão associados a essa tragédia. O primeiro fator é a estruturação geológica geomorfológica e hidrográfica que, em seu conjunto, podem contribuir para a proporção assumida pela inundação. O segundo fator é a degradação ambiental, tanto nas áreas rurais como urbanas, decorrentes de uma desestruturação dos órgãos governamentais do estado e de municípios como Porto Alegre. A inundação da cidade se deu em decorrência desse desmantelamento, da falta de conservação das comportas e casas de bombas dos sistemas de proteção contra inundações de Porto Alegre. O quarto fator foi o reconhecimento do esforço heroico da Defesa Civil com salvamentos emocionantes. Contudo, sob o ponto de vista técnico, é preciso reconhecer que falhou o sistema de alerta e prevenção. Os apontamentos feitos pelo professor Menegat trazem, em si, um conteúdo que é de natureza política na medida em que neles as ações dos governos, das representações políticas e da sociedade civil têm responsabilidades sobre como se pode, também em nível local, assegurar a prevenção de tragédias como a que se abateu sobre o Rio Grande do Sul e mitigar seus efeitos sobre as populações e o meio ambiente.⁵

A inundação não nos pegou de surpresa

Além das múltiplas advertências geradas pelos sistemas de monitoramento ambiental, principalmente sediados nas universidades, no caso de Porto

⁵ Disponível em: <https://red.org.br/noticia/a-https://red.org.br/noticia/a-producao-da-catastrofe-no-rs-fatores-climaticos-ambientais-e-descasos-da-gestao-publica/>

Alegre, a cidade tem desde a década de 1970 um sistema para contenção de enchentes. Esse sistema falhou fragorosamente nos dois sentidos: primeiro, permitiu que a água entrasse em Porto Alegre e, depois, impediu que ela saísse. Não há como concordar com aqueles que afirmaram ter sido pegos de surpresa. Não, não fomos pegos de surpresa.

Já havia várias sinalizações, havia vários estudos tanto nas universidades – como o da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – quanto também dentro das áreas técnicas dos departamentos de água, dizendo que havia problemas com a manutenção das comportas, havia problemas com as bombas que não estavam com a manutenção em dia. Em 2017, a vereadora Sofia Cavedon enviou para o prefeito, na época, uma solicitação de que as bombas e as comportas passassem por manutenção sob o risco de inundação. Neste ano, nada foi feito. Por que ela falou isso? Porque tinham vários estudos mostrando que, se houvesse fortes chuvas, nós estávamos em risco. Na última campanha para a prefeitura, a candidata Manuela D’Ávila colocou como proposta para o combate a alagamento, o retorno das obras de drenagem e o estabelecimento de ações permanentes de limpeza dos arroios, além do resgate dos projetos das casas de bomba. Então, nós todos estávamos prevenidos. Se não encaminhamos as ações foi porque isso foi uma opção política de quem estava no poder. Como sempre, as diferenças político-partidárias impediram que os governos estadual e municipal reconhecessem o esforço rápido e substancial empreendido pelo governo federal, tanto em relação à limitação do dano da inundação como em ações para a atenção àqueles que tiveram seus bens e imóveis perdidos. A nomeação de um ministro extraordinário para ouvir, planejar e executar obras, encaminhar financiamentos e subsídios e outras iniciativas empreendidas pelo governo federal, inclusive um financiamento voltado para o governo do estado e municípios realizarem ações no mesmo sentido, foram ignoradas, criticadas e cobradas como insuficientes por esses políticos incapazes de trabalharem para o bem comum. Nesse processo, não vamos esquecer que o atual governador do estado prometia “devolver” o Guaíba para Porto Alegre demolindo o muro de contenção!!!!

Realmente temos uma situação que precisa ser colocada: não se trata de uma questão meramente técnica e acadêmica, porque essa parte nós temos [garantida], [temos] as estruturas, temos pessoal, e eu tenho certeza de que

a reitora vai colocar isso melhor do que eu. Temos organização dentro do estado – ainda que de modo subaproveitado, porque, na verdade, temos hoje o Instituto de Pesquisas Hidráulicas do Rio Grande do Sul, uma grande referência no estudo do comportamento das bacias de rios e lagos do Estado. É um instituto de várias décadas, com reconhecimento nacional e internacional, e que acertou tudo em termos de previsão do que ia acontecer, tanto que hoje é uma referência para a mídia social no Rio Grande do Sul.

Pois bem, temos vários instrumentos de consultoria e representação, mas o que fez o governo municipal? Contratou uma auditoria estadunidense de má fama, inclusive chamou holandeses para fazer uma consultoria sobre a questão. E o que os holandeses concluíram? Que os técnicos que o prefeito não ouviu tinham toda razão em dizer que as coisas iam acontecer do jeito que aconteceu.

Novos paradigmas para a gestão pública e educação ambiental

Nesse sentido, eu acho que nós temos que ter muito claro que nós da academia, nós que estamos no governo, temos que olhar não mais colocando responsabilidades fora da nossa área de abrangência, mas assumir as nossas responsabilidades e entender que os novos paradigmas que hoje se colocam para a gestão pública ambiental requerem que você mude a forma como temos abordado, ou seja, não priorizando as questões ambientais e os riscos em decorrência desses desequilíbrios.

De acordo com o professor Menegat, o quinto ponto a ser considerado é a Educação. É necessário que sejam incorporadas as temáticas climáticas, ambientais, geográficas e geológicas, preparando profissionais com uma visão contemporânea como agentes da superação das crises climáticas que nos desafiam. Uma última palavra com relação à própria Capes: desde o começo, a Capes, como de resto todo o governo, se mobilizou. Nós hoje temos uma secretaria especial, que está à frente, e o ministro Paulo Pimenta está cuidando dessa questão pelo governo federal. Mas nós nos mobilizamos, adiamos todos os editais e prorrogamos prazos de bolsas para que ninguém fosse prejudicado em função da tragédia que aconteceu no Rio Grande do Sul. Para este autor, é essencial que a Educação incorpore as temáticas climáticas, ambientais, geográficas e geológicas preparando profissionais com uma visão

contemporânea como agentes da superação das crises climáticas que nos desafiam. E, nesse sentido, eu vejo que a tragédia é reconhecida na população.

Houve aqui uma pesquisa da Quest que mostra que a maioria das pessoas, 64%, reconhecem o que aconteceu no Rio Grande do Sul como um evento ligado às mudanças climáticas. A poluição industrial e o desmatamento são as causas das mudanças climáticas para 29% dos entrevistados. 22% disseram que é a ocupação desordenada nas cidades e 20%, que é o uso de combustíveis fósseis. O problema que mais preocupa os entrevistados são as enchentes e inundações, com 21%, seguido por ondas de calor (16%), acabar a água no mundo (15%), desmatamento (14%), poluição da água (10%), poluição do ar (9%), lixo plástico (6%), extinção de plantas e animais (6%) e erosão do solo (2%).

Quando perguntados sobre qual dessas iniciativas você acredita ser mais efetiva para preservar o meio ambiente, as três respostas mais frequentes foram: preservar as áreas verdes e regenerar as áreas degradadas (23%); educar a população sobre proteção do meio ambiente (17%); e criar áreas verdes nas cidades e melhorar a permeabilidade (10%).⁶

Educação ambiental é reconhecida como uma prioridade. Isso coloca todas as *instâncias* da educação com responsabilidades. A Capes, como agência do MEC responsável pela formação de professores para a área básica, bem como mestres e doutores, têm sua responsabilidade estabelecida no Plano Nacional de Pós-Graduação. Para além disso, o Ministério de Ciência e Tecnologia como um todo, mas particularmente o CNPq e a Finep, estão sintonizados com essas prioridades. Da mesma forma acontece com outros ministérios, como é o caso do Meio Ambiente, dos Povos Indígenas, dos Direitos Humanos e o da Integração Racial, que precisam se colocar em sintonia. Teremos no ano de 2025 a presidência do G20 e dos Brics, importantes espaços de afirmação das políticas ambientais do atual governo. Teremos ainda a Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP 30), oportunidade em que o Brasil poderá mostrar que está fazendo sua parte e cobrar que se faça em todo o mundo, afinal temos uma grande responsabilidade de

⁶ Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2024/05/09/quaest-64percent-a-creditam-que-tragedia-no-rs-tem-ligacao-com-as-mudancas-climaticas.ghtml>.

acordo com um antigo provérbio do Quênia: “Trate bem a Terra. Ela não lhe foi doada pelos seus pais. Ela foi-lhe emprestada pelos seus filhos”.

Finalmente quero reconhecer, nesse espaço, a solidariedade do povo brasileiro, de suas instituições, bem como de várias iniciativas vindas de outros países. Toda essa ajuda foi essencial para dar um conforto material aos desabrigados e um calor de reconhecimento no coração de cada gaúcho e gaúcha.

A importância das universidades no apoio à sociedade e no enfrentamento à crise climática

ISABELA FERNANDES ANDRADE ¹

A apresentação realizada por ocasião do evento promovido pela Finep teve o objetivo de evidenciar o papel fundamental das nossas instituições públicas de Ensino Superior no apoio à sociedade, especialmente das instituições gaúchas, no contexto da maior crise climática que já acometeu o estado do Rio Grande do Sul. Nesta ocasião, representamos a Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior, cuja presidente é a professora Márcia Abraão, reitora da Universidade de Brasília.

As universidades e os institutos federais têm demonstrado seu papel fundamental à sociedade brasileira. Assim como ocorreu na pandemia de Covid-19, isso ficou novamente evidente durante o enfrentamento à crise climática sem precedentes que assolou o Rio Grande do Sul em maio de 2024.

A atuação em rede, através do Fórum das Universidades Públicas e dos Institutos Federais do Rio Grande do Sul (Foripes-RS), apoiado pela Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior (Andifes), teve papel diferenciado durante o evento e ainda se propõe a apontar soluções aos problemas que surgiram junto às comunidades locais.

¹ Reitora da Universidade Federal de Pelotas, Presidente do Fórum das Universidades Públicas e dos Institutos Federais do Rio Grande do Sul e Representante da Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior. Contato: isabelaandrade.ufpel@gmail.com.

A título elucidativo, a Andifes congrega 69 universidades federais e dois centros federais de educação tecnológica espalhados por todo o país, promovendo ações que fortalecem a resposta a emergências e o apoio às comunidades afetadas.

Já o Foripes-RS, criado oficialmente em 05/06/2023, reúne todas as instituições públicas de Ensino Superior do estado, incluindo sete universidades federais, uma universidade estadual e três institutos federais, com o objetivo de coordenar esforços, fortalecer parcerias e, assim, maximizar o impacto de suas ações para a sociedade, em especial em tempos de crise.

Durante a crise climática, nossas instituições e suas comunidades acadêmicas se desdobraram em esforços e ações, tanto técnico-científicas – como o monitoramento das condições hidro-meteorológicas e proposição de soluções para os problemas observados durante e em consequência da crise – quanto para socorrer e acolher a população gaúcha mais atingida. Apresentaremos aqui uma breve síntese dessas ações, tendo em vista que muitas delas se replicaram nas diferentes instituições.

A Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) realizou a criação de um grupo de enfrentamento a crises climáticas, fez parcerias com a Secretaria Municipal de Saúde, foi responsável pelo atendimento multidisciplinar em saúde em três abrigos e no atendimento de urgência nos resgates, primeiros-socorros psicológicos, participou de projeto de produção e distribuição de pães para abrigos em Porto Alegre, arrecadou doações financeiras, propiciou ações de comunicação e lançou o projeto Recomeça UFCSPA, com mutirões de limpeza e reorganização, conserto de eletrodomésticos e atendimento de saúde mental.

O Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) contribuiu com a organização de abrigo em Canoas para mais de 700 pessoas, desenvolveu uma central de recebimento e distribuição de doações no *campus* Bento Gonçalves, proporcionou projetos de panificação e produção de cartilhas e liderou iniciativas como “Cama Solidarietà” e “Winmaker” para ajudar as vítimas da enchente.

A Universidade Federal de Rio Grande (FURG) desenvolveu boletins diários de acompanhamento e estabeleceu um comitê de análise de eventos extremos, além de disponibilizar abrigo para pessoas e animais, fornecer pontos de arrecadação e contribuir com a modelagem de inundação.

Já a Universidade Federal do Pampa (Unipampa) criou espaços virtuais de apoio pedagógico e acolhimento, desenvolveu um *site* dedicado ao enfrentamento da crise climática, estabeleceu ações institucionais solidárias e apoiou o processo de doações ao Comitê Técnico e Social.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) produziu cobertas e proporcionou rede de apoio para animais resgatados. Sua farmácia-escola recebeu e distribuiu medicamentos e estudantes e servidores contribuíram no conserto de eletrodomésticos danificados.

No Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSul), foi estabelecido um alojamento para desabrigados. Lá também foi efetuado o processo de caracterização e distribuição de vestuários doados pela Receita Federal. Além disso, a instituição lançou edital de auxílio-emergencial para estudantes e contribuiu com o conserto de eletrodomésticos e produção de mobiliário emergencial.

A Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) fez o armazenamento de equipamentos e a arrecadação de doações. Também contribuiu com a disponibilização de veículos para coleta e transporte de doações. Assim como o IFSul, disponibilizou auxílio financeiro emergencial aos estudantes.

Na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs) foram realizadas diversas ações de apoio e acolhimento. A criação do Observatório Clima e Território se destaca entre as contribuições fornecidas pela Universidade, bem como a produção de mapas climáticos.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) foi responsável por importantes contribuições a partir do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), bem como pela disponibilização de previsões e notas técnicas durante a crise.

O Instituto Federal Farroupilha (IFFar) forneceu auxílio financeiro emergencial aos estudantes e participou ativamente do preparo e distribuição de alimentos. Contribuiu ainda na produção de sabão líquido e álcool gel, na distribuição de kits de hortifruti e na restauração de móveis. Suas edificações foram disponibilizadas para o recebimento de doações.

Por fim, a Universidade Federal de Pelotas (UFPel) disponibilizou dois espaços para servirem de abrigos a pessoas e animais, proporcionou auxílio financeiro para estudantes atingidos, disponibilizou sua frota de veículos para

o transporte e resgate de pessoas e contribuiu com o projeto Abrigos RS. A instituição teve ainda importante papel nas orientações acerca de temáticas meteorológicas e hidrológicas (principalmente) na sala de situação do Comitê de Crise da cidade e participa do Conselho do Plano Rio Grande, estabelecido pelo governo do estado do Rio Grande do Sul.

No âmbito nacional, a Andifes articulou diversas ações para apoiar as universidades e as comunidades atingidas durante a crise climática, como reuniões com senadores para discutir medidas de apoio, desenvolvimento de uma plataforma virtual de suporte à comunidade acadêmica (Projeto Acolher), realização de seminário exclusivo sobre a crise climática no estado, lançamento de um programa de Comunicação Universitária em Rede liderado pela UFSCar e a proposta de criação do Centro Sul Brasileiro de Previsão e Mitigação de Impactos de Eventos Extremos e Mudanças Climáticas.

A proposta de criação de um centro de previsão e mitigação de impactos climáticos visa articular as capacidades técnicas e científicas das universidades e institutos federais, a fim de constituir soluções em rede. Do ponto de vista técnico e científico, esse centro será essencial para planejar o desenvolvimento urbano e territorial, garantindo que as cidades cresçam de maneira resiliente e segura.

O trabalho das universidades e institutos federais no enfrentamento da crise climática no Rio Grande do Sul demonstrou a importância da ciência e do planejamento. As ações coordenadas das instituições públicas de ensino não só ajudaram a mitigar os impactos imediatos das enchentes e outros eventos extremos, mas também estabeleceram um modelo de cooperação e resiliência que pode servir de exemplo para outras regiões do Brasil e do mundo.

O papel da Finep e da Cooperação Internacional no apoio a ações e soluções sustentáveis para os biomas brasileiros

RODRIGO MORAES L. DE A. COSTA¹

Dentre os seminários realizados pela Finep, visando contribuir para a 5ª ENCTI e o Plano Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, um dos mais recentes ocorreu em 25 de junho de 2024, abordando a “Tragédia no Rio Grande do Sul: um alerta para os biomas brasileiros”. Nele, a parte da tarde foi voltada a aspectos de “Políticas públicas e experiências do setor privado em projetos de mitigação/adaptação”, onde tive a honra de fazer algumas colocações como empregado da Finep, explorando o tema “o Papel da Finep e da Cooperação Internacional no apoio a ações e soluções sustentáveis para os biomas brasileiros”. O texto a seguir resume minha apresentação.

I – Os Eixos Estruturantes definidos pelo MCTI

Os quatro Eixos Estruturantes definidos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), em sua Portaria MCTI n. 6998, de 10 de maio de 2023, com foco nas Diretrizes Estratégicas do ministério para a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI), são os seguintes:

1. Recuperação, expansão e consolidação do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (*Infraestrutura*);
2. *Reindustrialização* em novas bases e apoio à inovação nas empresas;
3. Ciência, Tecnologia e Inovação para *programas e projetos estratégicos nacionais*;
4. Ciência, Tecnologia e Inovação para o *desenvolvimento social*.

¹ Analista do Departamento de Cooperação Internacional da Finep.

II – A Finep e o FNDCT

O Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) foi criado em julho de 1969, sendo ligado, à época, ao Ministério do Planejamento, e voltado ao apoio financeiro ao desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Hoje o FNDCT é um fundo de natureza contábil e financeira, com governança específica, e sobre o qual mais informações podem ser verificadas em seu *site*.²

A Finep – Financiadora de Estudos e Projetos – é uma empresa pública federal independente, que precedeu em poucos anos o FNDCT, e à qual ele se tornou absolutamente conectado.³

Oriunda de um fundo estabelecido em 1965 (no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico), a Finep é criada em 24 de julho de 1967, no Ministério do Planejamento da época. Em junho de 1971 é designada a secretaria-executiva do FNDCT, exercendo continuamente esta função até os dias atuais.

A – Os Programas Estruturantes e Mobilizadores do FNDCT

Recentemente, o FNDCT teve definidos dez Programas Estruturantes e Mobilizadores para o período de 2023-2025. São eles:

1. Programa de Recuperação e Expansão da Infraestrutura de Pesquisa Científica e Tecnológica Nacional – *Pró-Infra*;
2. Programa de Inovação para a Reindustrialização Nacional – *Mais Inovação*;
3. Programa *Conecta e Capacita Brasil*: Difusão e suporte à Transformação Digital;
4. Programa Integrado de Desenvolvimento Sustentável da Região Amazônica – *Pró-Amazônia*;
5. Programa de Repatriação de Talentos – *Conhecimento Brasil*;

² Disponível em: <http://www.Finep.gov.br/a-Finep-externo/fndct>.

³ Mais informações estão disponíveis em: <http://www.Finep.gov.br/a-Finep-externo/sobre-a-Finep>.

6. Programa de Apoio a Políticas Públicas Baseadas em Conhecimento Científico – *Política com Ciência*;
7. Programa de Apoio à Recuperação e Preservação de Acervos Científicos, Históricos e Culturais Nacionais – *Identidade Brasil*;
8. Programa de Apoio a *Projetos Nacionais Estratégicos*: CBERS, RMB, NB4, Sirius;
9. Programa de Apoio a *Projetos Nacionais Estratégicos de Defesa* – Autonomia Tecnológica;
10. Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para *Segurança Alimentar e Erradicação da Fome*.

Estes Programas se encontram bastante integrados aos Eixos Estruturantes e à ENCTI, o que não os libera de algumas considerações adversativas por parte deste narrador.

Há alguns pontos interessantes de atenção relacionados a soluções para biomas brasileiros e cooperação internacional nos programas citados.

O primeiro e mais significativo deles se refere ao tratamento exclusivo dado ao bioma amazônico na listagem dos programas. Embora seja o mais prevalente (metade do território brasileiro), famoso e destacado de nossos biomas, e entendendo que os demais programas possam oferecer investimento de qualidade para os outros biomas, talvez houvesse espaço para que o Programa 4 incluísse um adendo de “Desenvolvimento Sustentável da Região Amazônica” e *demais Biomas Brasileiros*. Afinal, a preservação e equilíbrio nos diferentes biomas deve compreender a existência das relações e interconexões entre eles, de forma que uma proposta de Programa Integrado de Desenvolvimento Sustentável poderia adotar uma abordagem mais ampla para os biomas nacionais (respeitando o destaque à Amazônia).

O segundo ponto de atenção é apenas para explicitar o que é lógico, mas não deve ficar subentendido, formalizando para o Programa 10 que a conquista da Segurança Alimentar e Erradicação da Fome necessita ser construída de *maneira sustentável*.

Por fim, no Programa 5, a ideia original de repatriação de talentos tem sido traduzida para algo mais abrangente do que somente a fixação de pesquisadores brasileiros que retornem ao país, procurando valorizar a permanência

dos que aqui se encontram e ampliando o referido conceito à melhoria da interação e conectividade com este conjunto de atores no exterior e os grupos e instituições a que se vinculem (onde quer que se encontrem atuando), o que se relaciona significativamente com ações de cooperação internacional.

B – A Finep, a instituição da Ciência, Tecnologia e Inovação brasileira

A missão da Finep é: “Promover o desenvolvimento econômico e social do Brasil por meio do fomento público à Ciência, Tecnologia e Inovação em empresas, universidades, institutos tecnológicos e outras instituições públicas ou privadas”.

A Finep atua em toda a cadeia de Inovação, o que se manifesta tanto em sua *pluralidade temática/setorial* quanto na abrangência da possibilidade de distintos apoios nos variados níveis de risco e de maturidade de desenvolvimento tecnológico.

Embora naturalmente haja prioridades estratégicas a observar, não existem restrições de temas ou áreas a serem apoiadas pela Finep. De modo análogo, não importa o estágio de desenvolvimento da pesquisa ou produto, existem diferentes programas e alternativas que se aplicam a cada estágio. Com isso a Finep se mantém fiel à proposta de sua missão.

III – Os biomas brasileiros

As informações sobre os biomas brasileiros podem ser obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A imagem retratada na figura 1 reproduz o Mapa dos Biomas Brasileiros e traz algumas informações importantes a se destacar.

Primeiramente a lista dos biomas brasileiros, incluindo a Amazônia, a Caatinga, o Cerrado, a Mata Atlântica, o Pampa e o Pantanal. Adicionalmente é citado o sistema costeiro-marinho, elemento de grande biodiversidade e importância para o equilíbrio ecológico e climático.

Importante ressaltar que, da mesma maneira que não devemos considerar o sistema de ambientes terrestres como sendo um bioma único, também temos que tomar o cuidado de não definir o sistema costeiro-marinho como um espaço com características comuns. Se mesmo dentro de espaços distintos existentes num mesmo bioma terrestre conhecido já são identificadas peculiaridades, quanto mais em um sistema que não é caracterizado como bioma.

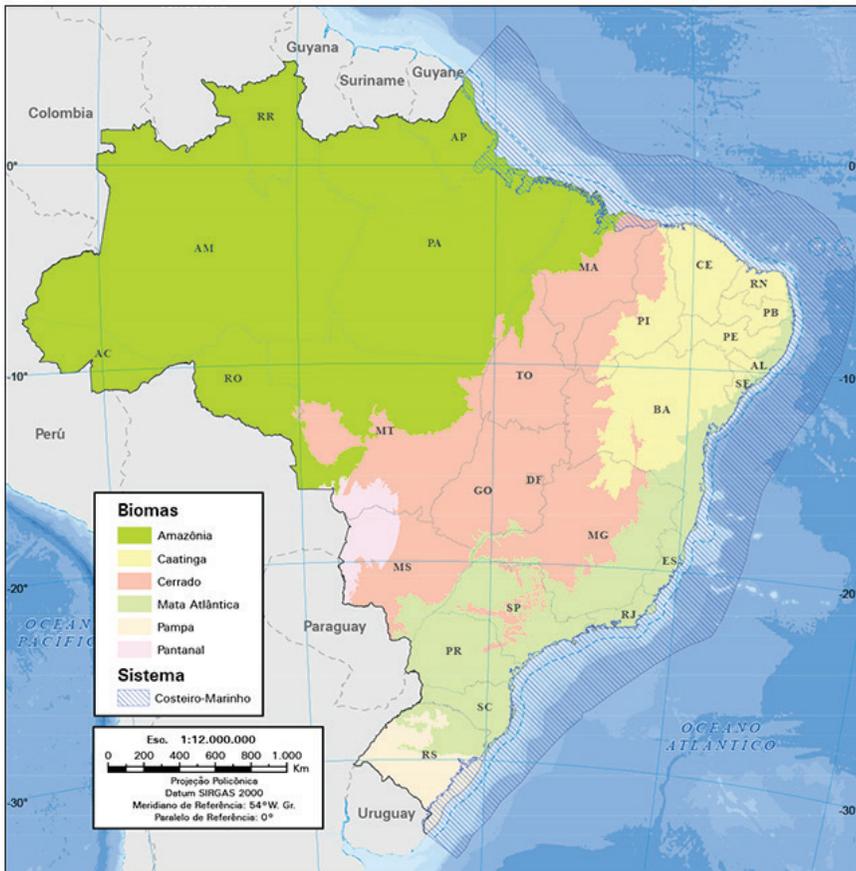


Figura 1 – Biomas brasileiros e o sistema costeiro-marinho (Fonte: IBGE)

Vale resgatar, no quadro anterior, o aspecto já apontado sobre as dimensões e o peso do bioma Amazônico, conforme identificado por sua participação no território brasileiro. Entretanto, os biomas brasileiros não são espaços estanques. Ao contrário, são espaços ricos em biodiversidade, encontrando-se fortemente interconectados, apresentando relações de influência entre si, e sendo responsáveis por reflexos na ocorrência de fenômenos climáticos, causando preocupação para a manutenção do equilíbrio das atuais condições de vida em nosso planeta.

Como ponto inicial sobre modelagens prevendo futuros impactos climáticos, sugerimos a navegação a partir do *site* da Nasa.⁴ A persistirem as transformações climáticas atualmente em curso, o Brasil é um país sob grande risco de evolução de seu quadro para condições bastante inóspitas para a vida humana já na segunda metade deste século.

Por fim, significativo notar, pela recente catástrofe enfrentada no Rio Grande do Sul – tópico motivador do seminário aqui desdobrado – como, mesmo sendo o Pampa restrito a 2/3 de um único estado brasileiro e englobando apenas 2,1% do território nacional, o nível de impacto e dificuldades em que as enchentes gaúchas incorreram foi capaz de inviabilizar temporariamente cidades, paralisar a economia do estado e trazer reflexos em boa parte do país.

A questão é se teria sido uma tragédia anunciada. E quais as respostas possíveis?

Aparentemente, a exemplo dos estudos de modelagens da Nasa, no Brasil já havia indicativos de que a ocorrência desse tipo de tragédia se avizinhava em algumas regiões mais suscetíveis de nosso país. Diante de indicativos como esse, há muito a ser feito, em especial *privilegiando investimentos e reconhecendo os resultados de C,T&I como elementos diferenciais para a construção de alternativas potencialmente eficazes de resposta aos problemas identificados.*

Este é o grande intuito da C,T&I: *servir de base para a resposta a desafios* que aflijam (ou possam vir a afligir) o funcionamento da sociedade e suas relações com o meio ambiente, no que se refira às necessidades de consumo, desenvolvimento e sustentabilidade em geral.

Há muitos casos de editais recentes da Finep ou de grandes infraestruturas apoiadas, que podem servir de exemplo na viabilização de solução a diversas necessidades identificadas.

IV – A cooperação internacional no mundo e na Finep

São notórios os avanços tecnológicos e dos recursos de comunicação nos campos da Tecnologia da Informação. O que antes parecia ficção científica

⁴ Disponível em: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/ames/nasa-study-reveals-compounding-climate-risks-at-two-degrees-of-warming/>.

já se torna palpável. As distâncias espaciais são superadas pela acessibilidade virtual e nos aproximamos da ubiquidade.

As redes internacionais de colaboração em Ciência estão se tornando mais densas e complexas

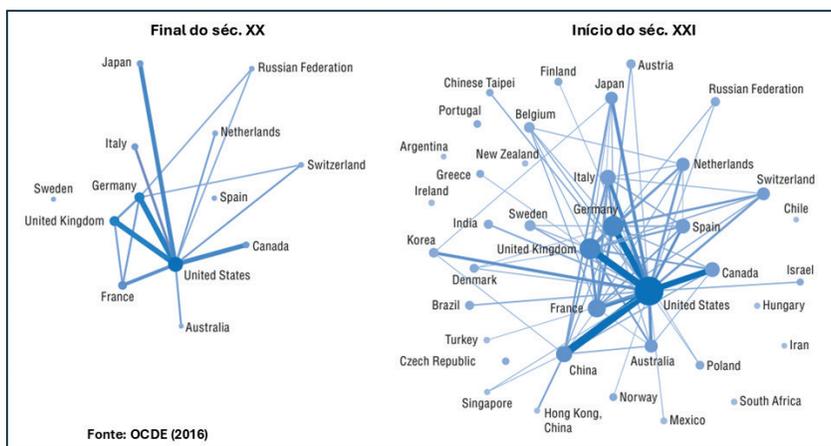


Figura 2 – Evolução das redes internacionais de colaboração em ciência (Fonte: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2016/12/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_g1g6dae9/sti_in_outlook-2016-en.pdf)

Com isto, as dimensões de interação e cooperação internacional se tornaram mais viáveis de serem alcançadas, dependendo mais da vontade comum e menos dos limites da mobilidade para se tornarem realidade.

Na figura 2, apresentamos, como exemplo do exposto, um gráfico de 2016, elaborado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), demonstrando o adensamento e aumento da complexidade das redes internacionais de Cooperação em Ciência.

Complementarmente, disponibilizamos, na figura 3, um quadro-resumo de parcerias de Cooperação Internacional estabelecidas pela Finep com instituições estrangeiras parceiras.



Figura 3. Parceria de Cooperação Internacional da Finep.

A seguir, listamos alguns exemplos de ações envolvendo cooperação internacional apoiadas por meio da Finep e que guardam alguma relação com o tema dos biomas.

- Torre Alta de Observação da Amazônia (ATTO)⁵;
- Programa de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS)⁶;
- Programa AmazonFace⁷;
- Iniciativa Coalizão Verde⁸;
- GreenRio⁹;
- Rede Eureka¹⁰

⁵ Disponível em: <https://www.attoproject.org/pt/>

⁶ Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/>

⁷ Disponível em: <https://amazonface.unicamp.br/>

⁸ Disponível em: <https://green-coalition.com/pt/coalizao-verde/>

⁹ Disponível em: <https://www.greenrio.com.br/>

¹⁰ Disponível em: <https://eurekanetwork.org/> (em inglês).

V – Algumas sugestões para a construção de um futuro sustentável

Quando tantos olhos no mundo se voltam para o Brasil, para seu potencial bioeconômico e para sua importância no enfrentamento dos desafios climáticos globais, é importante redescobrirmos e reinventarmos a capacidade de olhar para as potencialidades e interesses legítimos de nosso país.

Sendo assim, reforçamos a importância de seguir identificando rotas promissoras ou de sucesso sendo trilhadas por outras nações e buscando constituir cooperações com benefícios mútuos para os países parceiros. Mas optamos por começar nossas sugestões justamente pelo *estímulo e indução à nossa capacidade de enxergar o Brasil, reconhecendo suas potencialidades e as de nosso povo na identificação e escolha de fatos geradores de futuro como prioridades, associando-os às necessidades de nossa sociedade, de maneira a oferecer um caminho de construção equilibrada e sustentável para a consecução efetiva dos processos de desenvolvimento social, econômico e ambiental de nosso país.*

Esse processo deve ser *gradual e contínuo*, de modo a *solidificar nas pessoas a compreensão da importância e vantagem na mudança, ensejando uma verdadeira transformação na capacidade contributiva da universalidade do tecido social brasileiro.*

Então, sugerimos:

- olhar para fora, sem deixar de privilegiar o olhar para o Brasil;
- investir em educação e conscientização, estimulando o amadurecimento da capacidade crítica construtiva;
- respeitar e valorizar populações locais, sua cultura, territorialidade, necessidades e conhecimento;
- crescer tanto de maneira independente quanto trabalhando em parcerias;
- reconhecer vulnerabilidades (e demandas, para buscar respostas e soluções);
- prestigiar C,T&I como solucionadoras de desafios;
- aproveitar ideias de sucesso – nacionais e internacionais;
- garantir condições de fomento à C,T&I;
- prestigiar a Finep e suas instituições parceiras.
- simplificar, o quanto possível, a compreensão de objetivos mais complexos, revisitando-os por meio da busca de soluções com escopo

mais delimitado e bem definido para cada elemento identificável que faça parte destes desafios sendo enfrentados;

- engajar e envolver a sociedade, popularizando abordagens relacionadas à Ciência, Tecnologia e Inovação e aproximando seus conceitos, iniciativas de fomento e resultados ao cotidiano social da realidade em que convivemos.

Não é nossa pretensão apresentar uma lista exaustiva de sugestões que possa vir a desestimular a busca por suas realizações. Assim, muitas outras delas podem ser incluídas pelos leitores e interessados no assunto. Nosso intuito foi apenas o de aproveitar a oportunidade para estimular a reflexão e o debate sobre aspectos que julgamos propícios para apoiar o desenvolvimento do Brasil, oferecendo uma visão concreta, realista e viável acerca de pontos para o crescimento sustentável de nosso país e, em paralelo, intrinsecamente, para o cumprimento, pela Finep, de sua missão.

VI - Considerações finais:

Este trabalho buscou abordar, de maneira simplificada e bastante resumida, dois aspectos significativos presentes nos debates atuais sobre o futuro do planeta: a *sustentabilidade* e a *cooperação entre os países*.

A preocupação com o efervescente tema da manutenção dos Biomas brasileiros, impulsionado pelos efeitos decorrentes do impacto crescente da atividade humana no cenário de mutação das condições climáticas de nosso planeta, serviu de ponto de partida para a escrita destas linhas. Como pano de fundo, alguns trabalhos desenvolvidos na Finep.

Pensar em sustentabilidade, em suas diferentes dimensões, parece ser uma decisão lógica e prioritária, pois, embora possa afrontar ganhos financeiros mais imediatos, direcionados para alguns setores ou grupos de indivíduos (ou mesmo países), aparenta ser o caminho viável existente para tratarmos da continuidade da oferta de condições adequadas à manutenção da vida de nossa espécie e de grande parte das demais (como as conhecemos).

Complementarmente, este não pode ser um desafio em separado para cada nação, mas, sim, uma preocupação que envolve aspectos fortemente interconectados, com características de influência e impacto globais; daí a importância da cooperação entre países.

Ressalte-se prioritariamente que, em todo o contexto tratado, jamais devemos desconsiderar a participação do elemento humano, que traz consigo seus aspectos de territorialidade, cultura, necessidades e desafios.

Gostaríamos de convidar a todos para acompanharem nas mídias sociais da Finep a reprodução deste seminário por ela coordenado.¹¹

Por fim, esperamos que esta oportunidade sirva para estimular a reflexão e o debate sobre os aspectos apresentados (que julgamos propícios para apoiar o desenvolvimento do Brasil), oferecendo uma visão concreta, realista e viável acerca de pontos para o crescimento sustentável de nosso país e, em paralelo, intrinsecamente, para o cumprimento, pela Finep, de sua missão. É que, os leitores e interessados possam aprofundar suas visões sobre os tópicos abordados e oferecer novas contribuições para agregação de valor e amadurecimento deste assunto pela e para a sociedade.

¹¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DoBrFNSZxAk>.

Gestão do conhecimento para a transição regenerativa da agricultura

EDUARDO MARTINS¹

Estamos iniciando uma nova transição das bases produtivas da agricultura, onde as moléculas químicas dos pesticidas e os fertilizantes baseados em sais perdem o protagonismo para os processos biológicos. A mudança se deve em parte ao passivo acumulado em 80 anos da Revolução Verde, mas também pelas evidências científicas cada vez mais consolidadas, que os processos biológicos são a base para o bom desempenho dos agroecossistemas. O que hoje está sendo legitimado pelas pesquisas com solos e biologia, na realidade são conceitos antigos que sempre suportaram as práticas das agriculturas alternativas, em geral, destinadas a nichos de mercado e sistematicamente desqualificadas pelos defensores da agricultura industrial.

O Brasil, por suas condições tropicais e pela importância agrícola no mundo, apresenta vantagens para implementar uma transição regenerativa dos campos, reduzindo sua dependência na cadeia de insumos importados, melhorando a qualidade dos solos, e ainda reduzindo, significativamente, a contaminação por agrotóxicos nas pessoas, meio ambiente e alimentos.

Esgotamento do modelo convencional

A cadeia da soja, principal *commodity* da agricultura brasileira, exemplifica bem a composição de capital no setor agrícola. A maior parte do lucro vai para as cadeias globais oligopolizadas de insumos e equipamentos, enquanto os agricultores arcam com os maiores riscos. A contribuição de capital interna se concentra em terra e mão de obra, com participações marginais da indústria

¹ Presidente do Grupo Associado de Agricultura Sustentável.

nacional. Equivale afirmar que nos agronegócios, a parte do “agro”, onde estão concentrados os riscos, cabe aos agricultores, enquanto os “negócios” são controlados por grandes corporações.

Essa lógica global é evidente quando examinamos a lucratividade dos diferentes segmentos da cadeia dos agronegócios, sendo o segmento dos insumos agrícolas, um dos mais lucrativos. Enquanto os custos de produção crescem continuamente, os preços das *commodities* não acompanham, limitando o rendimento do produtor.

A indústria de insumos agrícolas é dominada por poucos conglomerados, dependentes de fundos globais de investimento que impõem altas rentabilidades. O *marketing* do segmento enfatiza a necessidade dos insumos para altas produtividades e a propagação do medo, justificando a necessidade do combate às pragas e doenças. Nos fertilizantes, o controle é baseado em fontes minerais cada vez mais escassas e estruturas industriais dedicadas às extrações e produção de sais. Nos pesticidas, o conhecimento é centralizado e protegido por patentes e regulações restritivas, resultado do *lobby* em países agrícolas relevantes.

As grandes corporações reduziram significativamente suas estruturas de pesquisa e inovação, focando em *startups* promissoras e parcerias com Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTs), muitas vezes financiadas com recursos públicos. As patentes, defendidas como mecanismos de inovação, resultam em portfólios pouco criativos e uma oferta reduzida de novas moléculas no mercado, sinalizando o esgotamento do modelo.

Apesar do sucesso das corporações, os agricultores enfrentam convergência dos custos de produção com a receita, agravados pelos riscos da atividade. O quadro piora muito com as dificuldades climáticas, cada vez mais frequentes, agudizadas pelos efeitos cumulativos da agricultura convencional: compactação do solo pelas soluções mecânicas; o comprometimento da biota do solo pelos pesticidas; e ainda, o efeito osmótico dos fertilizantes na forma de sais. Impossível enfrentar os desafios climáticos com o modelo agrícola dominante.

A agricultura convencional mostra sinais de esgotamento não apenas pelas evidências científicas de suas limitações para aumentar o desempenho dos agroecossistemas, mas também pela sua incapacidade de transbordar a

prosperidade nos contextos produtivos, as externalidades negativas no solo e pela sua inadequação com a realidade climática atual.

Determinantes para a adoção da transição regenerativa

Em um país com os menores níveis de subsídios da agricultura do mundo, os agricultores brasileiros buscam na mudança tecnológica uma forma de se manter na atividade. O caminho para superar a dependência e as externalidades negativas da agricultura industrial vem da combinação de práticas da agroecologia com a intensificação ecológica. Baseado, tanto quanto possível, em soluções acessíveis nos contextos locais e regionais de produção, a transição regenerativa não estabelece lista proibida de práticas e insumos, mas foca na redução, e quando possível eliminação, daquilo que é nocivo à vida, seja do solo, dos que trabalham no campo, e daqueles que irão se alimentar ou usar o que for produzido.

As práticas regenerativas podem ser adotadas para todas as culturas e para qualquer tamanho de área produtiva. O relevante na transição regenerativa é focar nas causas dos problemas, assumindo que é essencial entender os processos ecológicos e de interação para selecionar as práticas e insumos mais adequados. Por ser uma agricultura de processos, a busca é por soluções duradouras capazes de tolerar os estresses e reduzir os riscos de perdas econômicas.

O desempenho é medido pela rentabilidade estável para o agricultor, criação de solos vivos e resilientes, diversidade biológica e contribuição aos serviços ecossistêmicos. O Brasil tem grande capacidade de avançar nessa transição, sendo líder na adoção de produtos biológicos e no sistema de plantio direto, sinais de que os agricultores estão abertos às alternativas sustentáveis.

Além da disposição de adesão às práticas regenerativas, nossos agricultores já demonstraram que sua adoção é possível para a agricultura intensiva e extensiva de grãos. Grupos de agricultores associados conseguiram escalar a adoção das práticas na produção de *commodities* com foco na qualidade do solo, utilizando bioinsumos produzidos na fazenda para consumo próprio; adotando os remineralizadores e insumos da circularidade local e regional para a fertilidade; e ainda, plantas de coberturas funcionais para manter os solos sempre protegidos.

Por todas as principais regiões agrícolas do Brasil, produtores de soja e milho têm conseguido reduzir o uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos entre 60-80%, remanescendo ainda uma grande dependência dos herbicidas. Essa forma de produção permite uma redução de custos da ordem de 30-40%, e, ainda, um aumento de resiliência à falta de chuva que é o dobro que o sistema convencional.

A quebra da crença de que práticas agroecológicas não poderiam ser escaladas vem sendo implementada com conhecimentos antigos e determinação dos agricultores, com a colaboração de pesquisadores, muitas vezes marginalizados nos ICTs, como no caso daqueles que tratam dos remineralizadores.

A motivação original dos agricultores de grãos para buscar soluções regenerativas foi a consciência dos riscos que assume no sistema brasileiro do agronegócio, onde a redução estável dos custos era a solução mais viável. A consequente substituição significativa dos insumos convencionais convergiu para um novo modelo de produção para a agricultura intensiva e extensiva.

As condições tropicais de maior biodiversidade e condições climáticas que favorecem a produção primária e a atividade biológica, apresentam respostas surpreendentes nos campos, níveis de produtividades mantidos, aumento da rentabilidade, capacidade de resistir à falta de chuva e melhoria do solo.

Conhecimento para a transição regenerativa tropical

Para articular uma iniciativa de gestão do conhecimento para a transição regenerativa, é necessário alinhar políticas públicas de economia, agricultura, ciência e tecnologia, indústria e meio ambiente, reconhecendo que a transição é um caminho relevante para o agro brasileiro. Também pressupõe que o Congresso e o Executivo adotem políticas de longo prazo capazes de manter objetivos de longo prazo, em benefício dos produtores e dos seus serviços socioambientais prestados ao interesse coletivo.

O primeiro desafio para o fomento à produção de ciência, tecnologia e inovação (CT&I) para a transição regenerativa da agricultura brasileira é os atores públicos assumirem que existe um caminho alternativo e funcional à agricultura industrial. Verificar que tal caminho já está amplamente testado, que alcança todos os tamanhos de produtores e culturas, com grandes vantagens econômicas e sociais. Também é relevante compreender que essa

agricultura emergente aponta para o futuro e pode atender objetivos globais de sustentabilidade e as demandas dos mercados locais, regionais e globais.

A definição dos objetos e linhas prioritárias para os investimentos em CT&I também requer novos referenciais. A ênfase da maior parte da pesquisa agrícola atual fica na relação “problema – produto”, frequentemente gerando efeitos colaterais que requerem aplicações de novos produtos. A abordagem precisa ser substituída pelo entendimento de “problema – causa – processo – produto”. Superando o foco em sintomas, e dando atenção para o funcionamento dos processos dos agroecossistemas, as soluções serão integradas e estruturantes, buscando sinergias, eficiência e resiliência, e somente daí devem ser desenvolvidas e escolhidas as melhores práticas e produtos a serem utilizados.

O conteúdo da pesquisa e desenvolvimento terá maior efetividade para os interesses sociais e econômicos se forem definidos com base em processos relacionais, considerando os agricultores e seus contextos, criando critérios que levem em conta as consequências socioeconômicas. Trata-se de aproveitar a Inteligência Coletiva que emerge da interação entre agricultores, técnicos e pesquisadores, e do aprendizado acumulado na vivência repetida dos ciclos produtivos, incluindo, além da avaliação pelos pares da academia, uma verificação ampliada, com os agricultores, técnicos, redes e entidades de pesquisa.

Além de atender os princípios e diretrizes da Agricultura Tropical Regenerativa, as prioridades devem otimizar as práticas e insumos acessíveis já adotadas com sucesso, além de privilegiar novas soluções que dependam das condições de serviços, insumos e equipamentos regionais e locais. Aqui cabe um alerta relevante: muitas vezes ter práticas acessíveis como objeto de pesquisa pode levar ao entendimento de que se trata de processos simplórios, quando na realidade é o contrário. Por adotar os processos dos sistemas como ponto de partida, a melhoria do desempenho das práticas acessíveis requer abordagens integradas, sofisticadas e, muitas vezes, de ponta para lidar com a complexidade.

A implementação das iniciativas de pesquisa e desenvolvimento articuladas em redes locais e regionais dará maior assertividade às demandas características dos sistemas produtivos vivos. A parceria com agricultores com áreas produtivas representativas das condições regionais, preparadas

para a experimentação “*on farm*”, pode acelerar a validação, criar uma retro-alimentação para a pesquisa, além de poder funcionar como locais de difusão do conhecimento.

Os mecanismos de financiamento da pesquisa e desenvolvimento de longo prazo também merecem novas abordagens, com destaque para as possibilidades de valorização dos gastos futuros dos agricultores, o estabelecimento de demandas na forma de encomendas de solução, a captação conjunta de recursos compondo os meios passíveis de serem mobilizados, e ainda o reconhecimento e pagamento dos criadores das soluções com mecanismos capazes de incentivar o processo contínuo de inovação.

Na perspectiva de país, a ampliação da regeneração agrícola tem muitas justificativas para se transformar numa iniciativa estratégica. Podemos reduzir a dependência de insumos fundamentais; aumentar a renda dos produtores e ativar as cadeias locais e regionais de insumos e serviços; reduzir significativamente as contaminações por agrotóxicos; emissões negativas do agro; e, finalmente, atender a demanda das cadeias de valor por produção regenerativa.

Bioeconomia na Pharmakos D'Amazônia

SCHUBERT JUNIOR¹

A empresa Pharmakos D'Amazônia

A Pharmakos D'Amazônia, uma empresa com raízes familiares, foi fundada em janeiro de 2001, por Schubert Pinto, professor da Universidade Federal do Amazonas. Ao longo de 23 anos, a Pharmakos evoluiu de um pequeno empreendimento residencial para uma média empresa, reconhecida por sua contribuição ao desenvolvimento econômico ecológico da Amazônia. É um exemplo de empreendedorismo que alia inovação com sustentabilidade na floresta amazônica.

A empresa se destaca por desenvolver bioativos amazônicos utilizando essências, óleos e plantas medicinais de forma sustentável. Hoje em dia, sua produção em escala industrial conta com mais de 70 produtos para saúde e beleza, distribuídos por suas três linhas: Cosméticos, Alimentos e Mel.

A Pharmakos surgiu da vontade de transformar o conhecimento acadêmico em soluções práticas para problemas locais. O pai de Schubert, professor de farmácia, percebeu que muitas pesquisas permaneciam inativas dentro das universidades e decidiu agir. Com isso, a Pharmakos se empenha em converter esses conhecimentos em produtos concretos, valorizando a floresta e buscando um desenvolvimento socioeconômico sustentável.

Modelo de negócio e sustentabilidade

A escassez de matéria-prima na Amazônia é um desafio enfrentado pela Pharmakos, que o aborda por meio de práticas inovadoras. Proprie-

¹ CEO da Pharmakos D'Amazônia.

tária de 1,5 milhão de metros quadrados de terra, a empresa dedica-se à reconstituição e replantio de espécies da floresta, utilizando técnicas que colhem apenas as folhas, convertendo-as em óleos e cosméticos. Esse processo não só preserva a floresta como também garante a sustentabilidade dos recursos naturais.

A empresa recebeu o Prêmio Finep de Inovação sete vezes por sua inovação tecnológica e empreendedora, além de expandir seus negócios internacionalmente com exportações para os Estados Unidos, aprovadas pelo FDA. A produção média diária de 10 mil unidades de produtos atesta o sucesso e a expansão da Pharmakos no mercado, que recebeu também os prêmios CNI, Abihpec e Industrial Fieam em 2019.

Ao empregar um modelo de bioeconomia social, a Pharmakos trabalha em parceria com comunidades locais e distribui cerca de R\$ 800 mil a R\$ 1 milhão anualmente em um comércio justo de matéria-prima. Além disso, desenvolve produtos inovadores como guaraná e jujubas com ativos amazônicos, sempre respeitando e promovendo a cultura local.

Desafios e futuro

Apesar dos sucessos, a Pharmakos enfrenta desafios, como a escassez de matéria-prima e a necessidade de políticas públicas que verdadeiramente integrem e beneficiem a região amazônica. A empresa advoga por um uso responsável do nome “amazônico” no mercado para que sua utilização em marcas e produtos gere benefícios diretos para a região.

A Pharmakos da Amazônia representa o potencial de desenvolvimento harmonioso entre o homem e a natureza. Ao valorizar as riquezas locais e promover a educação e a inclusão socioeconômica, a empresa não apenas atua como um exemplo de sucesso comercial, mas também como uma representante da importância da preservação e do uso sustentável da Amazônia para benefício global.

A implementação do modelo de bioeconomia social envolve quatro dimensões:

1. Utilização de ingredientes naturais:

Usamos ingredientes naturais provenientes da biodiversidade, especialmente amazônica, como óleos vegetais, extratos de plantas, manteigas natu-

rais, entre outros. Esses ingredientes são obtidos por meio de práticas sustentáveis, como cultivo orgânico, agricultura regenerativa ou coleta responsável.

2. Desenvolvimento de processos sustentáveis

Buscamos formas mais sustentáveis de produzir nossos produtos, com o uso de energia renovável, redução de resíduos e reciclagem de materiais. Além disso, procuramos adotar processos de produção que tenham menor impacto ambiental, como o uso de solventes e matérias-primas naturais, como álcool e glicerina vegetal.

3. Investimento em pesquisa e desenvolvimento de ingredientes e produtos sustentáveis

Realizamos constantemente pesquisas de novos ingredientes sustentáveis, com menor impacto ambiental, alternativas aos ingredientes sintéticos e, assim, desenvolver produtos mais sustentáveis. Nossos produtos são *cruelty-free*, pois nunca trabalhamos com testes em animais.

4. Parcerias com comunidades locais e instituições

Procuramos estabelecer parcerias com comunidades locais, institutos e organizações não governamentais para promover o desenvolvimento econômico e sustentável.

Como papel primordial da matéria-prima na cadeia produtiva de cosméticos, precisamos verificar: disponibilidade do insumo vegetal, se ele é mesmo oriundo de manejo sustentável, se o comércio é justo para a comunidade que o cultiva, orientar sobre as técnicas de boas práticas de coleta, extração e armazenamento.

Assim, esta parceria gera renda ao povo que sabe cuidar da floresta, auxiliando na manutenção da floresta em pé.

A experiência da re.green em restaurar a vegetação nativa em grande escala

THIAGO PICOLO¹

A re.green é uma empresa inovadora no setor de restauração ecológica, dedicada a transformar áreas desmatadas em ecossistemas vibrantes e funcionais. Com uma meta ambiciosa de restaurar 1 milhão de hectares, a empresa enfrenta o desafio não apenas de executar essa tarefa em larga escala, mas também de torná-la financeiramente viável. Este projeto é implementado em resposta à crescente conscientização global sobre a necessidade de enfrentar as crises climáticas e a deterioração ambiental.

Fundada por um grupo de sete doutores, e com um robusto embasamento científico, a empresa busca aplicar rigor científico e inovação tecnológica em seus projetos. Este método é sustentado por um algoritmo de otimização geoespacial que ajuda a identificar as melhores localizações para atividades de restauração, usando diversas camadas de dados para maximizar o impacto ambiental e social.

Atualmente, a re.green está ativa em dois biomas principais: a Mata Atlântica e a Amazônia. Em locais específicos, como Eunápolis e Guandu, no sul da Bahia, e no oeste do Maranhão e Paragominas, na Amazônia, a empresa trabalha diligentemente na revitalização ecológica. Esse compromisso inclui não apenas a reconstituição da flora, mas o trabalho em prol da resiliência de todo o ecossistema.

Além da restauração ecológica, a re.green está empenhada em gerar benefícios para as comunidades locais. Isso é feito por meio da criação de

¹ CEO da re.green.

empregos e o aumento da renda em áreas que tradicionalmente dependiam da pecuária de baixa produtividade. A empresa prioriza o envolvimento das comunidades desde o início dos projetos, ouvindo suas necessidades e preocupações e garantindo que elas vejam e sintam o valor do trabalho realizado.

No plano corporativo, a re.green colabora com grandes parceiros globais, como a Microsoft. Este relacionamento é consolidado por meio de um contrato de 15 anos para a compra de créditos de carbono gerados pela restauração de 17 mil hectares, refletindo um compromisso com soluções climáticas de alta qualidade.

Apesar de seus sucessos, a re.green enfrenta vários desafios. O conhecimento científico sobre plantas nativas ainda é limitado, comparado ao que já foi conquistado com o eucalipto. A empresa reconhece que transformar essa situação requer colaboração com outras entidades e suporte contínuo para pesquisa.

Operacionalmente, restaurar terras em larga escala é complexo, muitas vezes envolvendo terrenos difíceis e a necessidade de usar *drones* e *software* avançado para manejo e monitoramento. A cadeia de suprimentos também precisa ser desenvolvida para suportar a alta demanda por sementes e mudas, algo que atualmente é limitado.

Do ponto de vista fundiário, adquirir terras envolve navegar por uma teia complicada de documentação e questões legais, com um alto nível de diligência necessário. Financeiramente, projetos de restauração exigem investimentos significativos na frente, com retornos que acontecem ao longo de décadas à medida que o carbono é sequestrado. Isso cria desafios de financiamento que a empresa busca superar por meio de parcerias e linhas de crédito.

Culturalmente, a re.green trabalha para integrar diversas disciplinas e setores, desde cientistas até profissionais de finanças e executivos, para atingir seus objetivos compartilhados de sustentabilidade e excelência operacional. Esse esforço é central para a criação de um ambiente de trabalho coeso que possa viabilizar seus ambiciosos objetivos de restauração ecológica.

Com todos esses esforços, a re.green continua a liderar o caminho na construção de um novo paradigma de restauração ecológica, combinando ciência, tecnologia e inovação social para criar impactos positivos duradouros, tanto locais quanto globais.

Recomendações para políticas públicas

Reduzindo desastres e aumentando a riqueza nacional: a hora e a vez dos biomas

A mitigação dos desastres ambientais que afligem o Brasil está intimamente relacionada à proteção dos biomas que cobrem o território nacional e que contêm uma das maiores biodiversidades do planeta, fonte excepcional de riqueza, realizável por meio da exploração sustentável dos produtos naturais. Para que isso ocorra, é necessária uma política pública consistente, envolvendo agências estatais e empresas privadas, guiadas pela missão de desenvolvimento sustentável dos biomas.

As recomendações de políticas públicas listadas a seguir são baseadas nas análises e sugestões dos artigos que fazem parte deste livro:

- investir em políticas públicas efetivas para o enfrentamento das mudanças climáticas. É preciso que o Brasil desenvolva políticas eficazes para proteger a biodiversidade e a qualidade de vida da população, com foco na gestão de riscos, resiliência climática e o desenvolvimento de tecnologias e inovações.
- fortalecer e expandir os sistemas de monitoramento de secas e incêndios, como os do Cemaden e INPE.
- implementar programas de educação e conscientização sobre os riscos e impactos dos incêndios.
- investir em brigadas de incêndio bem equipadas e treinadas, especialmente em áreas de alto risco.

- promover a proteção e recuperação dos biomas brasileiros. É importante ampliar as áreas protegidas e promover ações de restauração ecológica nos biomas.
- desenvolver uma agenda ambiental integrada para o Brasil. Essa agenda deve incluir o controle do desmatamento, a proteção dos territórios tradicionais e a implementação de medidas eficazes contra queimadas e incêndios.
- fortalecer o diálogo entre academia e os tomadores de decisão. Atuar para que o conhecimento científico seja apropriado e usado para orientar as políticas de gestão de risco.
- priorizar ações de gestão de risco e de redução de vulnerabilidades. É essencial que o Brasil invista em sistemas de monitoramento e alerta de desastres, que promovam a participação da sociedade na tomada de decisão e que se dediquem à identificação e redução das vulnerabilidades.
- fortalecer o papel das Universidades no apoio à sociedade e no enfrentamento da crise climática. As universidades podem desempenhar um papel fundamental na pesquisa, na formulação de políticas e na implementação de soluções inovadoras, como foi demonstrado durante a crise climática no Rio Grande do Sul.
- incentivar a transição para a agricultura regenerativa. Devem ser adotadas práticas regenerativas na agricultura, como forma de reduzir a dependência de insumos, melhorar a qualidade dos solos e diminuir o impacto ambiental.
- incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias para a área ambiental. É importante investir em tecnologias como sensoriamento remoto, inteligência artificial e gerontologias, que podem auxiliar na análise de dados, no monitoramento de áreas e na tomada de decisão.
- criar mecanismos de financiamento para projetos de pesquisa e desenvolvimento de longo prazo. É necessário criar mecanismos que possibilitem a valorização de *startups* e *deep techs* em projetos de longo prazo.

- promover a integração entre diferentes áreas do conhecimento e setores. A interação entre pesquisadores, agricultores, técnicos e gestores públicos é essencial para a construção de soluções eficazes para os problemas ambientais.
- fortalecer a cooperação internacional. Considera-se que a cooperação internacional é essencial para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para os biomas brasileiros. Nesse quesito, atenção especial deve ser dada aos países amazônicos, considerando o manejo de bacias hidrográficas compartilhadas, mudanças climáticas e conservação da biodiversidade, acompanhada da pesquisa e utilização sustentável de seus princípios ativos, tendo em vista a produção de bioinsumos.

Sobre os autores

Alan Pimentel

Geógrafo licenciado pela Universidade Federal do Acre (Ufac), mestre e doutorando em Desastres pela Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (Unesp) no Programa de Pós-Graduação em Desastres de forma associativa com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Integra o grupo de pesquisa sobre Gestão de Riscos e Desastres do Setem/PZ/Ufac e membro da Iniciativa MAP de Gestão de Riscos e Defesa Civil (Peru, Bolívia e Brasil). Atualmente é pesquisador colaborador no Cemaden.

Ana Paula Cunha

Doutora em meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013), atualmente é pesquisadora no Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden). É docente no Programa de Pós-Graduação em Desastres (ICT/Unesp – Cemaden/MCTIC). Entre 2021 e 2022, foi pesquisadora visitante na Universidade de Augsburg – Alemanha, onde desenvolveu um projeto de pesquisa no tema de eventos compostos de seca e calor, financiado pela Deutscher Akademischer Austauschdienst (Daad). Atualmente é colaboradora do Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB), como ponto focal na Região Sudeste.

Celso Pansera

Mestre em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ. Foi ministro de Ciência, Tecnologia e Inovação (2015-2016) e presidente do Instituto de Tecnologia e Inovação de Maricá (2020-2023). Um dos destaques de sua gestão

foi o Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação, sancionado em 2016. De 2015 a 2019, foi deputado federal, tendo integrado diversas comissões como Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática; Educação; Cultura. Sua luta pelo setor de CT&I foi reconhecida em diversas premiações que recebeu ao longo de sua trajetória. É o presidente da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e da Associação Brasileira de Desenvolvimento (ABDE).

Eduardo de Souza Martins

Biólogo, mestre em Ecologia pela Universidade de Brasília (UnB). Já atuou como técnico do CNPq e participou do processo de interiorização da Universidade Federal do Pará, na Amazônia. Foi presidente por duas vezes do Ibama. Atualmente preside o Grupo Associado de Agricultura Sustentável (Gaas), que promove as práticas regenerativas para a agricultura tropical no Brasil.

Fernando Peregrino

Engenheiro, mestre e doutor em Engenharia de Produção pela Coppe – UFRJ, especialista em Política Pública. Ex-secretário de estado de Ciência, Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro. Ex-presidente da Faperj. Ex-diretor da Fundação Coppetec e ex-presidente do Confies. Atualmente exerce o cargo de chefe de gabinete da presidência da Finep.

Gilberto Câmara

Foi diretor do Inpe (2006-2012), onde foi pesquisador de 1980 a 2016. Dirigiu o “Group on Earth Observations”, principal organização intergovernamental de observação da Terra, entre 2018 e 2021. Atualmente é pesquisador associado ao Centro de Estudos do Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas (GV Agro). É doutor *honoris causa* pela Universidade de Münster (Alemanha) e recebeu o prêmio William T. Pecora da Nasa e USGS pela “liderança no acesso aberto a dados de sensoriamento remoto”. Seu sítio *web* é <https://gilbertocamara.org/>.

Ima Vieira

Doutora em Ecologia pela University of Stirling, Escócia. Pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi, do qual foi diretora na gestão 2005-2009.

Coordenadora do INCT Nexus Perturbações antrópicas, novas trajetórias florestais e sustentabilidade na Amazônia. Participa como docente permanente dos Programas de Ciências Ambientais (Embrapa-UFPa-MPEG) e de Botânica (Ufra-MPEG). Atualmente exerce o cargo de assessora da presidência da Finep.

Isabela Andrade

Arquiteta e urbanista, doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas. Atualmente, é Reitora da Universidade Federal de Pelotas, membro afiliado da Andifes e presidente do Fórum das Universidades Públicas e dos Institutos Federais do Rio Grande do Sul.

Jose A. Marengo

Cientista sênior e coordenador geral de Pesquisa e Desenvolvimento do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta Precoce de Desastres Naturais (Cemaden). Membro da Rede Brasileira de Mudanças Climáticas Rede Clima e do Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas. Professor do Programa de Pós-Graduação Inpe e da Unesp. Professor Adjunto de Estudos Internacionais da Korea University Coreana. Foi consultor do governo brasileiro para os impactos, vulnerabilidade e adaptação da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC e atualmente é colaborador na elaboração do Plano Nacional Brasileiro de Adaptação (Plano Clima) e da Quinta Comunicação Nacional do Brasil à CQNUMC.

Júlia Rodrigues

Mestra em Meteorologia com ênfase em Radiação e Sensoriamento Remoto pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Bacharela em Ciências Matemáticas e da Terra, com habilitação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento pela UFRJ. Tem experiência na área de Geociências desde 2014, com linha de pesquisa voltada para o monitoramento de áreas queimadas utilizando dados de sensoriamento remoto, a fim de quantificar o impacto no meio ambiente.

Liana Anderson

Possui doutorado pela School of Geography and the Environment da Universidade de Oxford. É pesquisadora do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta Precoce de Desastres Naturais (Cemaden), docente do programa de pós-graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-Inpe e colidera o Grupo de Pesquisas Tropical Ecosystems and Environmental Science (Trees) no Inpe.

Luiz Davidovich

Doutor em Física pela Universidade de Rochester (USA). Foi presidente da Academia Brasileira de Ciências e secretário-geral da World Academy of Sciences for the Advancement of Science in the Developing World (TWAS). É professor emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro e membro internacional da National Academy of Sciences (USA), da Academia Europeia de Ciências e da Academia Chinesa de Ciências. Recebeu a Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico, o Prêmio Álvaro Alberto, o Prêmio de Física da TWAS e a Medalha Tamandaré da Marinha do Brasil. É Fellow da American Physical Society e da Optica Society.

Marcelo Dutra da Silva

Doutor em Ciências, professor de Ecologia na Universidade Federal do Rio Grande/FURG, ambientalista. Colunista de opinião e divulgação científica nos jornais Diário Popular (Pel) e Zero Hora (POA). Coordenador do Laboratório de Sustentabilidade Ambiental Corporativa ESG da FURG. Experiência docente na área de Ecologia e dedicação científica ao estudo de padrões ambientais costeiros, gestão integrada do território, sustentabilidade e melhores práticas socioambientais nas relações homem-natureza ESG (Environmental, Social Corporate Governance).

Mariana Vale

Doutora em Ecologia, professora do Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, membro do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas e da Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos da ONU. É docente do Programa de

pós-graduação em Ecologia da UFRJ e atuou como diretora e coordenadora de comunicação científica do Institute for Capacity Exchange in Environmental Decisions (ICEED) entre 2019 e 2024.

Oswaldo Moraes

Físico e doutor em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foi diretor do Cemaden e diretor científico da Fapergs. Presidente do Comitê Permanente para Redução do Risco de Desastres da Organização Meteorológica Mundial e membro do Grupo Consultivo Científico e Tecnológico do Escritório de Desastres da ONU para a América e o Caribe. É o atual diretor do Departamento de Clima e Sustentabilidade da Secretaria de Políticas e Programas Estratégicos do MCTI.

Regina Alvalá

Doutora em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Professora titular dos programas de pós-graduação em Ciência do Sistema Terrestre do Inpe e em Desastres Nacionais da Unesp. É coordenadora do INCT e da Rede Clima do MCTI. Atualmente, é coordenadora de Articulação Institucional e diretora substituta do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), do MCTI.

Renata Libonati

Doutora em Ciências Geofísicas pela Universidade de Lisboa e pós-doutora no Inpe. Atualmente é professora adjunta do Departamento de Meteorologia da UFRJ, coordenadora do Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais (Lasa), pesquisadora colaboradora do Instituto Dom Luíz (IDL) e do Centro de Estudos Florestais (CEF), ambos da Universidade de Lisboa. É representante do Brasil no grupo de especialistas em monitoramento climático da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Rodrigo Costa

Mestre em Sistemas de Computação. Trabalha na Finep desde 2001, já tendo atuado em diversas áreas da empresa, desde Tecnologia da Informação, Fomento à Infraestrutura de Pesquisa e Assessorias. Atualmente

faz parte do Departamento de Cooperação Internacional e Conselheiro Consultivo da Finep.

Rui Vicente Oppermann

Doutor em Odontologia pela Universidade de Oslo/Noruega, professor titular de Periodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS e pesquisador do CNPq. Foi reitor da UFRGS de 2016-2020. Atualmente é Diretor de Relações Internacionais da Capes-MEC.

Schubert Júnior

Diretor comercial e economista formado pela Universidade Federal do Amazonas, com pós-graduação em Empreendedorismo pela Universidade Estadual do Amazonas. Vencedor de prêmios nacionais em inovação pela CNI e Abihpec. Com mais de 30 anos de experiência na área comercial e exportação, é o responsável pela abertura da Pharmakos D'Amazonia nos EUA.

Thiago Picolo

Iniciou sua carreira em finanças, no Morgan Stanley e na GP Investimentos. Formado em Economia pela Harvard University, com pós-graduação pela Harvard Business School. Já atuou como CEO do Hortifruti Natural da Terra, maior varejista alimentar do Brasil, Grupo Technos, maior indústria de relógios do país, e da *fintech* Submarino Finance. É o atual CEO da re.green, empresa referência em restauração ecológica de alta qualidade em escala.

AUTORES

Alan Pimentel
Ana Paula Cunha
Eduardo de Souza Martins
Gilberto Câmara
Ima Vieira
Isabela Andrade
Jose A. Marengo
Júlia Rodrigues
Liana Anderson
Marcelo Dutra da Silva
Mariana Vale
Osvaldo Moraes
Regina Alvalá
Renata Libonati
Rodrigo Moraes Lima A. Costa
Rui Vicente Oppermann
Schubert Júnior
Thiago Picolo



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



expressão
POPULAR

