# EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais
Campus
Muzambinho

# EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

ISBN: 978-65-88890-51-6
DOI: 10.36599/editpa-978-65-88890-51-6

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais
Campus Muzambinho

# EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS
# EBOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

ISBN: 978-65-88890-51-6
DOI: 10.36599/editpa-978-65-88890-51-6

***Organizadores:***
Claudiomir Silva Santos
Fabricio dos Santos Rita
Valquíria Mikaela Rabelo
Leandro Gustavo Silva
Hernani Ciro Santana
Gilcean Silva Alves
Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido
Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques.

**Editor Chefe**
Dr. Washington Moreira Cavalcanti

**Conselho Editorial**
Dr. Lais Brito Cangussu
Dr. Rômulo Maziero
Msc. Jorge dos Santos Mariano
Dr. Jean Canestri
Msc. Daniela Aparecida de Faria
Dr. Paulo Henrique Nogueira da Fonseca
Msc. Edgard Gonçalves da Costa
Msc. Gilmara Elke Dutra Dias

**Projeto Gráfico e Diagramação**
Departamento de arte Synapse Editora

**Editoria de Arte**
Maria Aparecida Fernandes

**Revisão**
Os Autores

2024 *by Synapse Editora*
*Copyright* © Synapse Editora
*Copyright* do Texto © 2024 Os autores
*Copyright* da Edição © 2024 Synapse Editora
Direitos para esta edição cedidos à
Synapse Editora pelos autores.

Todo o texto bem como seus elementos, metodologia, dados apurados e a correção são de inteira responsabilidade dos autores. Estes textos não representam de forma alusiva ou efetiva a posição oficial da Synapse Editora.

A Synapse Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Os livros editados pela Synapse Editora, por serem de acesso livre, *Open Access*, é autorizado o download da obra, bem como o seu compartilhamento, respeitando que sejam referenciados os créditos autorais. Não é permitido que a obra seja alterada de nenhuma forma ou usada para fins comerciais.

O Conselho Editorial e pareceristas convidados analisaram previamente todos os manuscritos que foram submetidos à avaliação pelos autores, tendo sido aprovados para a publicação.

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento
2024

EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS
EBOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL
DE MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237e Santos, Claudiomir Silva et al.

Extremos climáticos impactos atuais e riscos futuros
E-book do 21º Congresso Nacional de Meio Ambiente - Poços de Caldas 2024.

Organizadores: Claudiomir Silva Santos; Fabricio dos Santos Rita;
Valquíria Mikaela Rabelo; Leandro Gustavo Silva; Hernani Ciro Santana;
Gilcean Silva Alves; Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido;
Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques.

Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2024, 213 p.

Formato: PDF
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-51-6
DOI: 10.36599/editpa-978-65-88890-51-6

1. Meio Ambiente; 2. Extremos climáticos; 3. Impactos ambientais;
4. Desenvolvimento sustentável.

I. E-book do 21º Congresso Nacional de Meio Ambiente - Poços de Caldas 2024.
II. Santos, Claudiomir Silva et al.

CDU: 333.72

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons.
Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

**SYNAPSE EDITORA**
Belo Horizonte – Minas Gerais
CNPJ: 40.688.274/0001-30
Tel: + 55 31 98264-1586
www.editorasynapse.org
editorasynapse@gmail.com

Compartilhando conhecimento
2024

EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS
EBOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL
DE MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.


GSC EVENTOS ESPECIAIS

**Gisele Corrêa Ferreira**
Diretora

**Lígia Sanches**
Administrativo e Financeiro

**Márcia Oliveira**
Coordenação de Eventos

**Keila Cornetes**
Projeto Gráfico e Rede Sociais

2024

# EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS
# EBOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL
# DE MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.


## Organizadores

Claudiomir Silva Santos;
Fabricio dos Santos Rita;
Valquíria Mikaela Rabelo;
Leandro Gustavo Silva;
Hernani Ciro Santana;
Gilcean Silva Alves;
Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido;
Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques.



## Realização

GSC Eventos Especiais
a grife de sucesso em eventos

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais
Campus Muzambinho

## Apoio

FAPEMIG

2024

# EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS
# EBOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL
# DE MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

---


ORGANIZAÇÃO

GSC Eventos Especiais



COMISSÃO ORGANIZADORA

Claudiomir Silva Santos;
Fabricio dos Santos Rita;
Valquíria Mikaela Rabelo;
Leandro Gustavo Silva;
Hernani Ciro Santana;
Gilcean Silva Alves;
Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido;
Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques.

COMISSÃO CIENTÍFICA

Adriana de Oliveira Leite Coelho – UNIVALE
Afonso Peche Filho – IAC
Agda Silva Prado – IFSULDEMINAS
Alisson Souza de Oliveira – UFU
Altieres Paulo Ruela – IFSULDEMINAS
Amanda Tristão Santini – UFV
Anna Lygia de Rezende Maciel – IFSULDEMINAS
Claudiomir da Silva dos Santos – IFSULDEMINAS
Cléber Moterani Tavares – UNIFAL
Dayane Gonçalves Ferreira – UNIVALE
Fabrício dos Santos Rita – IFSULDEMINAS
Fabrício Pelizer de Almeida – UNIUBE
Generci Dias Lopes – IFSULDEMINAS
George do Nascimento Ribeiro – UFCG
Gilcean Silva Alves – IFPB
Giliane Aparecida Vicente da Silva Souza – UFPB
Gustavo Henrique Cepolini Ferreira - UNIMONTES
Gustavo Henrique Gravatim Costa – UEMG
Gypson Dutra Junqueira Ayres – UFCG
Hernani Ciro Santana - UNIVALE
Irene Carniatto Oliveira – UNIOESTE
Israel José da Silva – UFMG
Joziana Muniz de Paiva Barçante – UFLA
Juliano de Paulo dos Santos - UFMT
Katia Sakihama Ventura – UFSCAR

EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS
EBOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL
DE MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

---


Leandro Gustavo Silva – IFSULDEMINAS
Lilian Vilela Andrade Pinto – IFSULDEMINAS
Lina Bufalino – UFRA
Lissandra Lopes Coelho Rocha – UNIVALE
Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido – IFSULDEMINAS
Luciano dos Santos Rodrigues – UFMG
Marcelo Bregagnoli - IFSULDEMINAS
Marcelo Simão da Rosa – IFSULDEMINAS
Marcos Barreto de Mendonca – UFRJ
Maria Teresa Mariano – PUC
Mayara Andrade Souza – CESMAC
Monise Martins Silva – UEMG
Paula Tristão Santini - IFSULDEMINAS
Paulo Roberto Megna Francisco – UFCG
Paulo Sergio Lúcio – UFRN
Pollyanna Freire Montenegro Agra – UFCG
Rodrigo Florêncio Da Silva - Instituto Politécnico Nacional – México
Ronei Aparecido Barbosa – IFSULDEMINAS
Rosangela Francisca de Paula Vitor Marques – UNINCOR
Shirleyde Alves dos Santos – UEPB
Tais Arthur Correa – UEMG
Valquíria Mikaela Rabelo – UNIFAL
Vênia Camelo de Souza – UFPB
Vera Lucia Navarro - USP
Vilmar Alves Pereira – UNINI
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – UFCG
Viviane Farias Silva – UFCG

# PREFÁCIO

É com grande satisfação que apresentamos o *e-book Extremos Climáticos: Impactos Atuais e Riscos Futuros*, desenvolvido para o 20º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Este evento, consolidado como um dos mais importantes encontros ambientais do Brasil, celebra duas décadas de contribuição ao debate e à conscientização sobre os desafios que nossa sociedade enfrenta em meio às crescentes transformações climáticas e ambientais.

O tema escolhido para esta edição surge em um momento crucial. Nos últimos anos, as mudanças climáticas deixaram de ser um conceito distante para se tornarem uma realidade vivenciada em nosso cotidiano, manifestando-se através de uma série de eventos extremos que afetam diretamente a vida das pessoas e a dinâmica dos ecossistemas. Ondas de calor intensas, secas prolongadas, incêndios florestais, chuvas torrenciais e enchentes violentas têm se tornado mais frequentes e intensos, impactando diretamente a biodiversidade, a produção de alimentos, a disponibilidade de água e a segurança das populações. Neste contexto, os extremos climáticos não são mais previsões futuras, mas sim uma ameaça concreta que exige ação urgente.

O conteúdo deste e-book foi organizado para abordar de maneira abrangente os aspectos científicos, sociais e econômicos das mudanças climáticas e dos eventos extremos. As pesquisas aqui reunidas exploram tanto as causas subjacentes desses fenômenos, relacionadas ao aquecimento global e às mudanças no uso do solo, quanto os impactos observados e projetados para o Brasil, com suas particularidades climáticas e geográficas. Ao longo das páginas, são discutidas estratégias de adaptação e mitigação, contemplando políticas públicas, tecnologias emergentes e práticas sustentáveis que possam contribuir para reduzir vulnerabilidades e construir resiliência diante dos riscos climáticos.

Este trabalho, portanto, reflete o esforço coletivo de especialistas e pesquisadores comprometidos em oferecer respostas ao momento crítico em que nos encontramos. Ele não apenas busca ampliar a compreensão dos riscos climáticos, mas também se propõe a estimular uma reflexão sobre a responsabilidade de cada setor da sociedade frente à crise climática. Acreditamos que o conhecimento aqui compartilhado servirá de inspiração e orientação para gestores públicos, líderes empresariais, educadores e todos aqueles que têm o poder de transformar conhecimento em ação.

Que esta publicação seja um incentivo para que cada leitor, a partir do seu campo de atuação, contribua com a construção de um futuro mais equilibrado e sustentável, onde a convivência com os extremos climáticos seja gerida de forma inteligente, com respeito e responsabilidade para com o meio ambiente e as futuras gerações.

Prof. Dr. Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido

IFSULDEMINAS

SYNAPSE Editora

Compartilhando conhecimento

2024

# SUMÁRIO

Estimativa de emissão dos gases do efeito estufa em um complexo de tratamento e destinação final de resíduos 11

Mapeamento e análise dos riscos de incêndios em águas lindas de goiás: fatores ambientais e antrópicos em 2022 23

Panorama dos estudos sobre modelos associados às mudanças climáticas para o brasil: uma análise bibliométrica 34

Emissões de CO2 e desafios socioambientais: Um estudo nos municípios brasileiros entre 1999 e 2022 44

Análise de dados de monitoramento de incêndios: aplicação em gestão de riscos e prevenção de desastres 54

Análise da escassez hídrica do município de Cordeirópolis (SP) devido a fatores socioambientais: Mitigação e adaptação 65

Avaliação de dispersão de poluentes na atmosfera em comunidades adjacentes a mineradora: Estudo de caso em Mariana/MG 75

Impactos socioeconômicos e urbanos causados por alagamentos em um município no leste da amazônia oriental 97

Avaliação dos efeitos da degradação vegetal no balanço de energia na APA de Itupararanga para 2015, 2019 e 2023 107

Pegada de Carbono do leite: A influência da alimentação animal nas emissões de GEE 118

Agroecossistemas Resilientes: Soluções sustentáveis para a Agricultura Familiar em tempos de Mudança Climática 126

Arboviroses e mudanças climáticas: Desafios na atuação de agentes comunitários de saúde em frei inocêncio 137

Correlação entre as condições meteorológicas e incêncios no pantanal sul: análise episódica de Inverno e Primavera do ano de 2023 146

Análise das tendências dos índices extremos climáticos para o município de Bom Jardim da Serra - SC 155

Avaliação de plantas nativas da caatinga e qualidade do solo em área degradada por sais 162

Caracterização biométrica de vagens e sementes de *Moringa oleífera* Lam. (Moringa) 172

Zoneamento de risco de queimadas no Mato Grosso do Sul e mudanças climáticas: O preocupante cenário do Pantanal 180

Zoneamento de favorabilidade climática da ferrugem do cafeeiro no cenário mais catastrófico do IPCC 191

Sinergia entre cana e pecuária: Transformando uma biorrefinaria sustentável em fonte de biogás e biometano 200

Sobre os Organizadores 207

# ESTIMATIVA DE EMISSÃO DOS GASES DO EFEITO ESTUFA EM UM COMPLEXO DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS

Avaliação das fontes e impactos das emissões de gases de efeito estufa, bem como estratégias para redução dessas emissões

Juliene Maria da Silva Amancio
Aluna do Curso de mestrado em Tecnologia Ambiental, Universidade Federal Fluminense – UFF Volta Redonda/RJ
jmsamancio@id.uff.br.

Ana Paula Martinazzo
Profa. Dra. da Universidade Federal Fluminense– UFF – Volta Redonda/RJ; Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
anapaulamartinazzo@id.uff.br.

Kelly Alonso Costa
Profa. Dra. da Universidades Federal Fluminense UFF – Volta Redonda/RJ; Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
kellyalonso@id.uff.br.

Welington Kiffer de Freitas
Prof. Dr. da Universidade Federal Fluminense UFF – Volta Redonda/RJ; Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
wkiffer@id.uff.br.

## Resumo

O consumo elevado e a dependência excessiva de fontes de energia não renováveis levaram ao aumento de resíduos sólidos e às mudanças climáticas, exigindo estratégias em aterros sanitários para reduzir as emissões de gases do efeito estufa mais importantes como: metano ($CH_4$) e dióxido de carbono ($CO_2$) e outros gases com grande potencial para o aquecimento global. O presente trabalho objetiva quantificar as emissões potenciais totais, bem como a variação na produção com o tempo de $CH_4$ de um complexo de tratamento e destinação final de resíduos sólidos. O projeto foi desenvolvido por meio de uma pesquisa qualitativa/quantitativa. As emissões de $CH_4$ foi quantificado por dois métodos distintos; a metodologia padrão do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e pelo modelo LandGEM (V3.02) fornecido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA). O segundo objetivo do estudo foi alcançado utilizando o modelo de produção de gás triangular. Os resultados obtidos pelo modelo padrão do IPCC e o modelo de produção de gás triangular revelou picos de emissões próximos 3,22E+3 e 3,25E+3 $m^3$, respectivamente. O modelo LandGEM apontou um ápice maior, 8,31E+3 $m^3$, sugerindo que os gases continuariam sendo emitidos por 124 anos após seu encerramento. Portanto, é altamente recomendável conhecer e ter controle adequado das emissões de metano do aterro para traçar estratégias a fim de reduzir os efeitos nocivos desse gás ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Metano; Dióxido de Carbono; Impacto Ambiental; Gestão de Resíduos Sólidos.

## INTRODUÇÃO

Após o advento da Revolução Industrial, a comunidade internacional alertou-se para uma série de problemas globais envolvendo a poluição do ar, os quais geram riscos ambientais que atravessam

fronteiras, acarretando diversos impactos locais e em regiões distantes da origem da poluição atmosférica (Abualqumboz et al., 2016).

O aquecimento global é uma anomalia de larga extensão do fenômeno natural denominado efeito estufa (Silva e Paula, 2009). O efeito estufa natural desempenha um papel de grande relevância para a condição de vida na superfície terrestre. Esse sistema mantém o clima global estável, pois a energia recebida é igual à energia perdida (o balanço de energia é equilibrado). No entanto, certos fatores podem perturbar esse equilíbrio delicado, induzindo mudanças significativas no clima. Esses fatores, conhecidos como "forçantes", alteram os fluxos de energia e são quantificados através do forçamento radiativo (FR) (IPCC, 2013).

Os forçantes mais comuns nascem das atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, além das indústrias, refinarias, setor automobilístico, queimadas florestais, entre outros (Silva e Paula, 2019). Fernandes et al. (2021), acrescentam, além dos mencionados acima, o setor da agricultura, energia e de resíduos sólidos como grandes contribuintes nacionais.

Dentre os gases que contribuem para o aquecimento global, o dióxido de carbono ($CO_2$) é o mais alarmante devido à quantidade emitida (WMO, 2013). O segundo gás de efeito estufa (GEE) é o metano ($CH_4$), de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2007), contribuindo com aproximadamente 25% do total de forçamento radiativo por GEEs de longa vida. Aproximadamente 40% do metano é emitido para a atmosfera por fontes naturais, como zonas úmidas e cupinzeiros. Os outros 60% vêm de atividades humanas, como pecuária. Ademais, este gás possui um potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o do dióxido de carbono.

No entanto, em estudo mais recente do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) (2024), contradizendo o IPCC (2007) no que diz respeito ao potencial de aquecimento global. O metano é um gás de efeito estufa muito potente. Em um horizonte de 20 anos, o metano éaproximadamente 80 vezes mais eficiente em capturar calor na atmosfera do que o dióxido de carbono.

Diante deste cenário, o estudo de Lambiasi et al. (2024) ressalta que, para alcançar a sustentabilidade no setor de saneamento, é indispensável aprofundar o entendimento sobre as emissões dos gases do efeito estufa ao longo de toda a cadeia. Além disso, é necessário sistematizar todas as informações e pesquisas e compreender os principais fatores que influenciam sua pegada de carbono em todo o sistema. A pegada de carbono é considerada um indicador eficiente para revelar o volume de emissão de carbono (Cui et al., 2022).

A partir desta visão holística, torna-se relevante o rastreamento do quantitativo desses gases do efeito estufa, a fim de minimizar o potencial do aquecimento global para auxiliar no gerenciamento adequado e proporcionar qualidade de vida da população local e global.

Portanto, objetiva-se com o trabalho quantificar as emissões potenciais totais, bem como a variação na produção com o tempo de $Ch_4$ de um complexo de tratamento e destinação final de resíduos sólidos, visto que aterros sanitários são responsáveis por causar impactos ambientais que provém da decomposição dos resíduos sólidos e que são fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE).

# METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de caso com abordagem quali-quantitativa, no aterro sanitário, situado no município de Paracambi/RJ. O Complexo de Tratamento e Destinação Final de Resíduos em questão possui uma área total de 133.934,05 $m^2$, iniciando suas atividades no ano de 2016, com estimativa de vida útil de 17 anos. O aterro aufere resíduos sólidos urbanos (RSU) de cinco municípios da região, Paracambi, Mendes, Engenheiro Paulo de Frontin, Queimados e Japeri, mais os Grandes Geradores.

Os métodos utilizados no panorama de estimativa do potencial de emissões do gás metano, são a metodologia padrão do IPCC, o LandGEM versão 3.02 e o modelo triangular de produção de gás.

## METODOLOGIA PADRÃO DO IPCC

O método padrão do IPCC pode ser expresso conforme a Equação 1, descrita abaixo:

$$\textbf{Emissões de } CH_4 \textbf{ (Gg/ano) = (MSWt x MSWf x MCF x DOC x DOCf x F x 16/12–R) x (1–OX)}$$

(Equação 1)

Em que:

**MSWt** - é o total anual de resíduos sólidos urbanos gerados em uma comunidade em Gg;

**MSWf** – resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários (fração);

**MCF** - fator de correção do metano (fração);

**DOC** - carbono orgânico degradável (fração);

**DOCf** - fração do DOC decomposta;

**F** - fração volumétrica de $CH_4$ no gás de aterro gerado;

**(16/12)** - razão do peso molecular de $CH_4$ para carbono;

**R** – $CH_4$ recuperado no ano T em Gg por ano;

**OX** - fator de oxidação no ano T (fração).

A equação 1 também pode ser escrita como Equação 2:

$$\textbf{Emissões de } CH_4 \textbf{ (Gg/ano) = (MSWt x MSWf x Lo – R) x (1 – OX)}$$

(Equação 2)

Em que:

MSWt - é o total anual de resíduos sólidos urbanos gerados em uma comunidade em Gg;

MSWf – resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários (fração);

Lo - (Gg $CH_4$ /Gg resíduo) é conhecido como o potencial de geração de $CH_4$;

A variável Lo está principalmente relacionado com a composição dos resíduos, descrito na Equação 3:

$$Lo = MCF \times DOC \times DOCf \times F \times 16/12$$

(Equação 3)

Para obtenção do parâmetro MSWt, foi necessário a aquisição de dados referente a população e o índice de geração per capita de cada município, obtidos pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA IBGE), considerando o período de 2016 a 2021. O ano de 2022, utilizou-se o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. O período de 2023 a 2032 foi estimado por base matemática com a projeção aritmética (Von Sperling, 1996; IPECE, 2021).

O total anual de resíduos sólidos descartados na CTDR de Paracambi são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resíduos esperados no aterro sanitário de Paracambi para os anos de 2016 a 2032.

| Ano | Produção de Resídu Ton/ano | Produção de Resídu Gg/ano |
|---|---|---|
| 2016 | 208633,39 | 208,633 |
| 2017 | 209911,65 | 209,912 |
| 2018 | 215519,57 | 215,520 |
| 2019 | 265268,31 | 265,268 |
| 2020 | 267124,65 | 267,125 |
| 2021 | 2689093 | 268,909 |
| 2022 | 235587,71 | 235,588 |
| 2023 | 250297,77 | 250,298 |
| 2024 | 252925,16 | 252,925 |
| 2025 | 255552,56 | 255,553 |
| 2026 | 258179,95 | 258,180 |
| 2027 | 260807,35 | 260,807 |
| 2028 | 263434,75 | 263,435 |
| 2029 | 266062,14 | 266,062 |
| 2030 | 268689,54 | 268,690 |
| 2031 | 271316,93 | 271,317 |
| 2032 | 273944,33 | 273,944 |
| **Total** | **4292165,09** | **4292,165** |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024

Os demais parâmetros de entrada para a metodologia padrão do IPPC, dependem de fatores como o tipo de gerenciamento do aterro e material de cobertura. O Complexo de Tratamento e Destinação Final de Resíduos é classificado como resíduos sólidos gerenciados, logo, o MCF é igual a 1 (IPCC, 2019).

As frações de carbono orgânico degradável (DOC) e carbono orgânico decomposta (DOCf), foram determinadas pelo tipo de resíduo depositado no aterro, como material orgânico, galhadas, papel, madeira e resíduo industrial. Portanto, foram adotados os valores de DOC 0,15; 0,2; 0,4; 0,43; 0,150 e de DOCf 0,500; 0,700; 0,500; 0,100; 0,500, respectivamente (IPCC,2019).

Seguindo a mesma diretriz já mencionada acima, o Fator de Oxidação do $CH_4$ (OX) é igual a 0 (zero), ou seja, não há reações químicas do gás metano quando em contato com o solo.

A quantidade recuperada de $CH_4$ (R) foi definida como 0 (zero), visto que o objetivo deste estudo é estimar o inventário de emissões do gás metano para o aterro sanitário de Paracambi.

A fração volumétrica do CH4 (F) é definido pelo IPCC (2019), o valor de 0,5.

**MODELO LandGEM**

O modelo LandGEM (Modelo de Emissões de Gases de Aterro Sanitário, versão 3.02) é uma ferramenta de estimativa automatizada com interface Microsoft Excel®, criado pela agência de proteção ambiental americana (USEPA), baseado no modelo do IPCC, Decaimento de Primeira Ordem (nível 2), conforme a Equação 4.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} kL_o \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \qquad \text{(Equação 4)}$$

em que,

**$QCH_4$** - emissões anuais de CH4 no ano do cálculo (m³/ano);

**i e j** – são índices de modelo;

**n** - duração da aceitação dos resíduos em aterro, que é igual ao ano do cálculo menos o ano inicial de aceitação dos resíduos;

**k** – constante da taxa de geração de $CH_4$ (ano -1);

**Lo** – potencial de geração de $CH_4$ (m³/Mg resíduo);

**Mi** – massa de resíduos aceita no i-ésimo ano (Mg);

*tij* - é a idade da j-ésima seção de massa de resíduos Mi aceita no i-ésimo ano.

Os parâmetros de entrada do usuário, descritos na Equação 4, são a estimativa da massa total de resíduos esperados no aterro sanitário por ano em Megagramas, taxa de geração de metano (k), a capacidade de geração de metano (Lo).

Um estudo específico sobre aspectos dos sistemas de gestão e utilização de biogás para aterros de resíduos sólidos fornecido pelo Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean (World Bank, 2004), demonstra, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) que as variáveis k e Lo devem ser selecionadas com base no conhecimento das condições específicas do local e da localização geográfica. Isso depende da composição dos resíduos e, particularmente, da fração de matéria orgânica presente, que é influenciada pelo teor de umidade, disponibilidade de nutrientes, pH e temperatura. A Tabela 2 apresenta faixas sugeridas e atribuições recomendadas para a constante da taxa de geração de metano e para a capacidade de geração de metano.

Tabela 2: Estimativas das variáveis K e Lo

| Categoria do Resíduo Sólido | Lo (capacidade de geração $CH_4$) | | k (taxa de geração de $CH_4$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mínimo | Máximo | Precipitação anual (mm) | | | |
| | | | <250 | 250-500 | 500-1000 | >1000 |
| Relativamente Inerte | 5 | 25 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Moderadamente Compostável | 140 | 200 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,06 |
| Altamente Compostável | 225 | 300 | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,09 |

Fonte: Adaptado de World Bank, 2004

Considerando que o aterro não detém da informação gravimétrica, os dados foram obtidos a partir do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro (2013) para a determinação do Lo. Por conseguinte, utilizou-se 56,7% para municípios de pequeno porte e 53,03% para os de médio porte (Queimados).

Para a estimativa da variável k, foi analisada a precipitação média da estação mais próxima do aterro sanitário. Estação Automática A601 – Seropédica/RJ através de dados do Instituto Nacional de Meteorologia, obtendo média de 117,40 mm. Logo foi adotado o valor de Lo = 170 e k = 0,02.

## MODELO TRIANGULAR DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O modelo triangular foi desenvolvido por Tchobanoglous et al. (1993), sendo utilizado para estimar a produção de metano com o mesmo princípio do decaimento de primeira ordem (Fernandes, 2012; Abualqumboz et al., 2016).

A taxa de produção do gás, neste modelo, possui um comportamento linear crescente até atingir o pico, após o primeiro ano de funcionamento, e logo depois inicia seu decréscimo.

Portanto, a quantidade total de gás produzido no aterro para uma quantidade Ri de resíduos colocados no aterro no ano i é obtido pela Equação 5:

$$\mathbf{Ri \times Lo = ½\ (tend,i - to,i)\ QLFG,\ max,i}$$

(Equação 5)

Em que,

**Ri** - quantidade de resíduos depositados no ano i em toneladas;

**Lo** – Produção Potencial de Gás ($m^3$/t) a partir de um resíduo sólido;

**tend, i** – Tempo que demora a produção de gás a iniciar (ano);

**to, i** - Tempo para o qual a produção de gás no aterro começa para um volume de resíduos;

**LFG, max,i** - Taxa de produção máxima de gás em m3 /(t.ano).

O modelo assume que a produção de gás começa no final do primeiro ano completo de operação do aterro, e que as taxas de pico de produção de gás para orgânicos biodegradáveis rápidos e lentos ocorrem após 1 (um) e 5 (cinco) anos, respectivamente.

Desse modo, os resíduos sólidos orgânicos foram assumidos como orgânicos de biodegradação rápida devido ao microclima da região.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

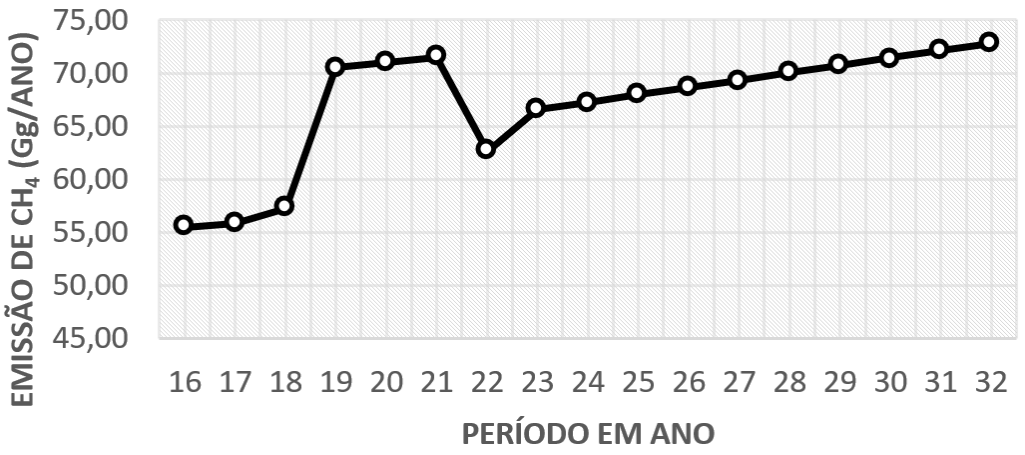
A metodologia padrão do IPCC sugere que as emissões potenciais totais de $CH_4$ começaram no primeiro ano de disposição dos resíduos e continuarão até 2032, atingindo a marca de 1.141.000 Mg de $CH_4$, com seu ápice no último ano, com 72.820 Mg/ano.

Este comportamento difere dos demais modelos de inventário de gases de efeito estufa devido ao potencial de geração de gás metano (Lo). Para o complexo de tratamento e destinação final de Paracambi, o valor é igual a 0,354 Gg $CH_4$/Gg de resíduo decomposto anaerobicamente. Como todas as variáveis que controlam a produção de $CH_4$ estão incluídas no valor Lo e a recuperação desse gás não ocorre, sendo definida como valor zero. Portanto, a correlação entre as quantidades de RSU e as emissões de $CH_4$ é linear com duas nuances peculiares, como demonstra o Figura 1.

A primeira nuance é o aumento acentuado do gás metano no ano de 2019, devido ao município de Japeri iniciar sua destinação dos resíduos ao Complexo de Tratamento,

como citado acima. A segunda nuance é a queda acentuada no ano de 2022 devido à redução populacional e consequentemente a redução na geração de RSU. A relação quantidade de resíduos depositados e emissão dos gases do efeito estufa será sempre diretamente proporcional.

Figura 1. Emissões anuais de metano na CTDR




Em contrapartida, o modelo LandGEM demostrou nenhum registro de emissão de metano no ano de 2016, tendo início somente um ano após sua abertura, estendendo-se até o ano de 2156, 124 anos após o encerramento do aterro com emissões de 7,100 x $10^2$ Mg/ano de $CH_4$.

O aterro sanitário alcançará seu ápice em 2033, emitindo um total de gases de efeito estufa de 31,11 Mg/ano, gás metano de 8,310 x $10^3$ Mg/ano e o dióxido de carbono de 2,280 x 104 Mg/ano.

Com base nesses dados é possível deliberar o impacto do gás metano (Tabela 3), determinando o Potencial de Aquecimento Global (PAG) ou um índice onde a energia total é adicionada ao sistema.

Tabela 3: Impacto do Gás Metano no Aquecimento Global - PAG.

| Metodologia | Estimativa de geração de CH4 (ton | PAG Absoluto- 20 anos (W m²/ano/kg) | PAG Absoluto- 100 anos (W m²/ano/kg) |
|---|---|---|---|
| IPPC | 1,141E+06 | 2,841E-08 | 1,046E-07 |
| LandGEM | 4,521E+05 | 9,449E-07 | 1,180E-06 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Logo, infere-se que a metodologia do LandGEM resultou em um maior impacto no aquecimento global, pois tende a usar taxas de decomposição mais elevadas para resíduos orgânicos. Enquanto o IPCC é mais generalizado.

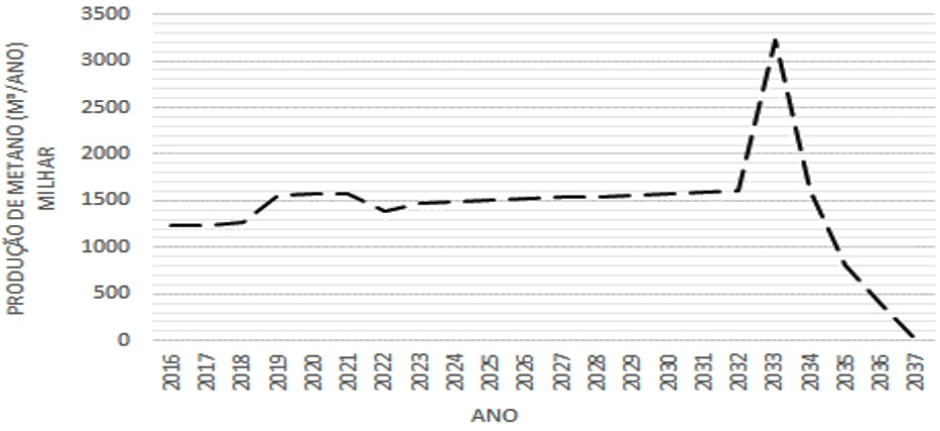
## VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO EM FUNÇÃO DO TEMPO

A produção de gás é iniciada em 2017, um ano após o início das atividades do aterro sanitário. Este cenário ocorre para todas as quantidades de resíduos sólidos que o aterro recebe, a cada ano de funcionamento.

O modelo triangular assumiu que a decomposição de todo o material orgânico biodegradável levará cinco anos para sua degradação completa (Martins e Leão, 2018), ou que os restos orgânicos não poderão sofrer biodegradação (Abualqumboz et al., 2016).

A elevada taxa de produção de gás metano durante o segundo ano de funcionamento deve-se à composição característica dos resíduos orgânicos, classificando-os como biodegradáveis rápidos.

Figura 2: Variação na produção de $CH_4$ em função do tempo.




Nesta metodologia, também é possível observar as duas variações nos anos de 2019 e 2022. O ano de 2033 registra o valor máximo de produção de $CH_4$, aproximadamente 3.223 metros cúbicos.

O modelo triangular mostrou que aproximadamente 76,2% dos gases gerados serão produzidos enquanto o aterro estiver em operação, e 23,8% serão produzidos após o encerramento do aterro.

Quando comparado com a metodologia do LandGEM, ambos modelos atingem seu ápice de produção de $CH_4$ em 2033. No entanto, o modelo LandGEM, assume que aproximadamente 15% dos gases serão produzidos enquanto o aterro estiver em funcionamento.

Estudos como o de Machado et al. (2009) indicam que o modelo LandGEM frequentemente prevê emissões de metano mais altas devido à sua abordagem conservadora na consideração das taxas de decomposição.

A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos pela metodologia padrão do IPCC, pelo modelo triangular de produção de gás e pelo modelo LandGEM.

Tabela 4: Resumo das metodologias

| Parâmetros | Metodologia IPCC | Metodologia LandGEM | Modelo Triangular |
|---|---|---|---|
| Quantidade Total $CH_4$ ($m^3$/ano) | 5,10E+04 | 4,52E+05 | 3,13E+04 |
| Quantidade de $CH_4$ no ano ápice ($m^3$/ano) | 3,22E+03 | 8,31E+03 | 3,25E+03 |
| Ano do ápice da produção de $CH_4$ | 2032 | 2033 | 2033 |
| Período de Produção de $CH_4$ | 2016 - 2032 | 2017 – 2156 | 2017 - 2037 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Em contra partida, métodos como os apresentados por Kumar et al. (2016) utilizam diretrizes IPCC que tendem a fornecer estimativas moderadas, alinhadas com o modelo de produção triangular. Essas diferenças refletem a variabilidade nas taxas de decomposição e condições ambientais, conforme observado em diferentes estudos globais distintos.

## CONCLUSÕES

A análise revelou que as emissões de $CH_4$ têm um impacto significativo no aquecimento global, com valores que podem variar substancialmente dependendo da metodologia empregada. As emissões potenciais variaram entre as metodologias do IPCC, LandGEM e do modelo triangular, com 5,10E+04 $m^3$/ano; 4,52E+05 $m^3$/ano e 3,13E+04 $m^3$/ano, respectivamente.

O estudo mostrou que a variação na produção do gás metano ao longo do tempo é crescente durante o funcionamento do aterro sanitário, atinge um pico e, em seguida, diminui. Entretanto, a liberação do gás pode perdurar por mais um século, após o encerramento das atividades.

Esses resultados destacam a necessidade de monitoramento contínuo e a implementação de estratégias eficazes para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Recomenda-se tecnologias avançadas para a remoção ou a utilização do metano para a geração de eletricidade representando uma oportunidade crucial para reduzir o impacto ambiental dos aterros sanitários.

## REFERÊNCIAS

ABUALQUMBOZ, Motasem S.; MALAKAHMAD, Amirhossein; MOHAMMED, Nurul Izma. Greenhouse gas emissions estimation from proposed El Fukhary Landfill in the Gaza Strip. Journal of the Air & Waste Management Association, v. 66, 2016.

CUI, Yu et al. Exploring the spatiotemporal heterogeneity and influencing factors of agricultural carbon footprint and carbon footprint intensity: Embodying carbon sink effect. Science of The Total Environment, v. 846, 2022.

DA COSTA SILVA, Robson Willians; DE PAULA, Beatriz Lima. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. Terræ Didatica, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009.

FERNANDES, Joel Pereira. Modelação numérica da produção de biogás em aterros. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro (Portugal).

FERNANDES, Thiago; DE SOUZA HACON, Sandra; NOVAIS, Jonathan Willian Zangeski. Mudanças climáticas, poluição do ar e repercussões na saúde humana: Revisão Sistemática. Revista Brasileira de Climatologia, v. 28, 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática –SIDRA. Disponível em: http://sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2024

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, 2024. Acesso em: 25 abr. 2024.

IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [S.l.]: IPCC, 2007.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

IPCC. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. [S.l.]: IPCC, 2019.

IPECE. Projeção Populacional das Bacias Hidrográficas do Curu, Sertão dos Crateús e Serra da Ibiapaba até a Década de 2050. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2021.

KUMAR, S.; NIMCHUK, N.; KUMAR, R.; ZIETSMAN, J.; RAMANI, T.; SPIEGELMAN, C.; KENNEY, M. Specific model for the estimation of methane emission from municipal solid waste landfills in India. Bioresource Technology, v. 216, p. 981-987, 2016.

LAMBIASI, Layla et al. Greenhouse gas emissions from sanitation and wastewater management systems: a review. Journal of Water and Climate Change, p. jwc2024603, 2024.

MACHADO, S. L.; CARVALHO, M. F.; GOURC, J. P.; VILAR, O. M.; NASCIMENTO, J. C. F. Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. Waste Management, v. 29, n. 1, p. 153-161, 2009.

MARTINS, Benedito Luiz; LEÃO, Alcides Lopes. Estudo comparativo entre aterro sanitário e incineração para geração de energia em projeto regional formado por um consórcio de municípios. energia na agricultura, v. 33, 2018.

UNEP. Fatos sobre o Metano. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/explore-opics/energy/fatos-sobre-o-metano. Acesso em: 05 fev. 2024.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 1996.

WMO (2013). Greenhouse Gas Concentrations in Atmosphere Reach New Record. Acesso 28 abr. 2024.

WORLD BANK. Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean. World Bank, 2004.

# MAPEAMENTO E ANÁLISE DOS RISCOS DE INCÊNDIOS EM ÁGUAS LINDAS DE GOIÁS: FATORES AMBIENTAIS E ANTRÓPICOS EM 2022

Mudanças Climáticas

Nikolly Stephanny Prates Vieira
Discente do Técnico Integrado em Meio Ambiente, IFG, Campus Águas Lindas Departamento de Áreas Acadêmicas
nikollystephannypratesvieira@gmail.com

Wellayne Lana Batista Brasil
Discente do Técnico Integrado em Meio Ambiente, IFG, Campus Águas Lindas Departamento de Áreas Acadêmicas
wblaninha@gmail.com

Carlos Eduardo Filinto da Silva
Discente do bacharelado em Agronomia, IFGoiano, Campus ceres
carlosfsedu@gmail.com

Renato Souza Rodovalho
Prof. Doutor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFGoiano, Campus Ceres Departamento Áreas Acadêmicas
renato.rodovalho@ifgoiano.edu.br

Renato Welmer Veloso
Prof. Doutor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFG, Campus Águas Lindas Departamento Áreas Acadêmicas
renato.veloso@ifg.edu.br

## Resumo

O aumento da frequência e intensidade dos incêndios florestais no Brasil, especialmente na região Centro-Oeste, representa uma ameaça à biodiversidade, à qualidade do ar e à segurança das comunidades. Águas Lindas de Goiás é um município vulnerável à ocorrência de incêndios devido ao clima seco e quente presente no período seco, além das práticas humanas, que, em alguns casos, são de natureza criminosa. Diante disso, compreender os fatores que contribuem para esses incêndios é crucial para desenvolver estratégias eficazes de prevenção e controle. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi mapear as áreas suscetíveis a incêndios florestais em Águas Lindas de Goiás para o ano de 2022, utilizando uma combinação de indicadores ambientais e antrópicos para avaliar o risco. O mapeamento foi complementado pela comparação com os focos de calor registrados durante o ano de 2022. Essa comparação revelou a relação entre as áreas identificadas como de médio e alto risco a incêndios, correspondendo a 97% do município, e os locais onde os focos de incêndio se concentraram. Isso ajudou a explicar como fatores como precipitação, uso do solo e proximidade de vias influenciam a incidência de incêndios. A análise dos dados demonstrou que áreas urbanizadas e de pastagem, bem como regiões próximas a estradas, são particularmente vulneráveis aos incêndios. Por fim, esses resultados fornecem uma base para a formulação de estratégias de mitigação direcionadas e para o aprimoramento de futuros mapeamentos, permitindo uma previsão mais precisa e visando reduzir os impactos ambientais e proteger as comunidades locais.

**Palavras-chave:** Monitoramento; Meio Ambiente; Planejamento Ambiental.

# INTRODUÇÃO

O Centro-Oeste brasileiro é uma região muito afetada por incêndios florestais, incluindo Águas Lindas de Goiás, devido ao clima seco e quente, vegetação propícia ao fogo e ação humana (RIBEIRO e SILVA, 2019). Os incêndios ameaçam a saúde e segurança das comunidades locais e podem afetar aqueles que se deslocam diariamente para o Distrito Federal a trabalho. A fumaça pode prejudicar a visibilidade nas rodovias, aumentando o risco de acidentes, e a degradação da vegetação pode contribuir para a diminuição da qualidade das estradas (TURRA e BATISTELLA, 2019).

Os incêndios ocorrem naturalmente ou por ações humanas e podem se propagar sem controle, destruindo a vegetação (VASCONCELOS, 2013). A ocorrência de incêndios no Brasil representa uma das maiores ameaças à biodiversidade e à manutenção dos processos ecológicos, resultando em impactos significativos, como a perda de espécies, erosão do solo, intensificação do efeito estufa e redução da qualidade do ar local (BRASIL, 2000; SILVA et al., 2003). Os incêndios na vegetação podem ocorrer naturalmente quando há condições climáticas e material combustível favorável, mas grande parte deles é causada pela ação humana (ESTEVAM, 2020). As principais causas de incêndios são as ações antrópicas, tais como: a renovação de pastagens, a limpeza de áreas e a piromania (VASCONCELOS, 2013; TOMZHINSKI, 2012). Nesse sentido, o Cerrado possui vegetação adaptada para resistir a incêndios, sendo o fogo crucial para sua existência (COSTA et al., 2009). No entanto, as espécies do Cerrado não estão preparadas para incêndios descontrolados que queimam grandes áreas anualmente.

Em função do grande impacto gerado pelos incêndios florestais, vários estudos têm sendo desenvolvidos para identificar, compreender e retratar as variáveis influentes na deflagração e desse evento. Na literatura técnica e científica, são empregados os seguintes parâmetros: uso e ocupação do solo, radiação solar, formas do relevo, declividade, altitude, densidade populacional, proximidade à rede viária (caminhos florestais e estradas), proximidade da rede hidrográfica, dados climáticos (umidade do ar, a temperatura do ar, o regime de ventos e a pluviosidade) e vegetação (umidade, porte, quantidade, volume, continuidade, compacidade, distribuição e tipo) (TORRES et al., 2017; ICMBIO, 2010) .

Os incêndios florestais têm se tornado um problema cada vez mais comum na região de Águas Lindas de Goiás e no Distrito Federal. Durante a estação de estiagem, que ocorre entre os meses de maio e setembro, esses eventos se intensificam, causando grandes impactos ambientais e socioeconômicos. Os incêndios podem levar a emissões significativas de carbono para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global (JONES et al., 2019).

A prevenção de incêndios florestais deve ser abordada por diferentes estratégias. Uma abordagem eficaz envolve o uso de mapas de vulnerabilidade a incêndios florestais, que identificam as áreas mais suscetíveis a queimadas. Esses mapas permitem um planejamento preventivo mais preciso, minimizando os riscos de focos de queimadas em locais específicos mais vulneráveis. (BATISTA, 2000).

O mapeamento das áreas suscetíveis a incêndios florestais é uma estratégia eficaz e economicamente viável para prevenir e reduzir os recursos necessários ao combate de incêndios (LADISLAU et al., 2021). Dessa forma, o mapeamento de áreas com diferentes níveis de fragilidade ambiental relacionados aos incêndios é viável por meio da aplicação de análises multicritérios e técnicas de geoprocessamento. (MATOS, 2020). O Processo de Hierarquia Analítica (Analytic Hierarchy Process, AHP) é um exemplo de metodologia que sobressai devido à sua simplicidade na interpretação e aplicação dos mapas gerados. Este método organiza as camadas ambientais em níveis hierárquicos e atribui valores de priorização, permitindo sua integração com outras técnicas (MARINS et al., 2009).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza o monitoramento das ocorrências de incêndios em todos os estados do Brasil. São utilizados sensores espaciais por meio do Sistema de Monitoramento e por meio do Programa de Prevenção e Controle de Incêndios Florestais na Amazônia – PROARCO, disponibilizando esses dados em seu site (BOEIRA e BERNINI, 2015). Atualmente, emprega-se o monitoramento operacional dos focos de queimadas e incêndios florestais detectados por satélites, o BDQueimadas (INPE, 2021). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo mapear as áreas suscetíveis a incêndios em Águas Lindas de Goiás no ano de 2022, utilizando indicadores ambientais e antrópicos. O resultado foi um mapa temático que identifica as regiões mais vulneráveis a incêndios. Além disso, o mapa foi comparado com os focos de calor registrados no ano 2022, proporcionando uma compreensão mais aprofundada dos processos e mecanismos que geram os incêndios em Águas Lindas de Goiás.

## METODOLOGIA

Os dados cartográficos e ambientais foram trabalhados no ambiente unificado do Banco de Dados Georreferenciado, por meio do software QGIS, versão 3.16.14 (QGIS, 2023). Foram utilizadas sete variáveis ambientais aplicadas ao projeto, sendo estas: a precipitação média anual, proximidades da rede rodoviária, temperatura média anual, a elevação altimétrica, a inclinação, a direção da inclinação e o uso e ocupação do solo no ano de 2022.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) de Copernicus DEM (COP-30), com resolução de 30 m, foi utilizado para gerar as classes de declividade do município de Águas Lindas de Goiás. O mapa de declividade foi gerado a partir do mapa de altimetria e dividido nas classes propostas por Soares (1985). A direção de inclinação foi determinada com base no mapa de altimetria, utilizando a função "aspect" e reclassificado segundo (EUGENIO et al., 2016). Os dados de temperatura média anual, entre os anos de 1970 a 2000, foram extraídos a partir da variável bioclimática, BIO1, do Portal WordClim (HIJMANS et al., 2005). O mapa de precipitação anual foi elaborado utilizando os dados médios anuais de precipitação de 75 estações meteorológicas distribuídas na área de estudo para o mapeamento do risco de

incêndio, e também foram extraídos os dados de precipitação para o ano de 2022. Estas informações foram obtidas através da Agência Nacional de Águas (ANA) e interpolados pelo método do inverso do quadrado da distância (IDW).

Os dados de uso e ocupação da terra foram extraídos a partir da coleção 8, do projeto MapBiomas, com resolução espacial de 30 metros, para o ano de 2022. A rede rodoviária foi obtida a partir de dados disponíveis do IBGE e calculada uma distância euclidiana das vias. Os mapas das variáveis foram reclassificados segundo uma nota/coeficiente de suscetibilidade à ocorrência de incêndio, adaptados a partir de estudos similares de Oliveira et al. (2004), Eugenio et al. (2016) e Ladislau et al. (2021).

Os dados alfanuméricos e matriciais das variáveis ambientais foram reprojetados para o sistema de coordenadas cartesianas Universal Transversa de Mercator (UTM) e para o DATUM Sirgas 2000, zona 22S.

O mapa de áreas suscetíveis a incêndios foi gerado a partir da metodologia de análise hierárquica de processos (AHP) e de uma matriz de comparação pareada para definir os níveis de importância de cada indicador/variável. As escalas de pesos aplicadas no projeto foram as seguintes: precipitação (0,2921), uso e ocupação do solo (0,2222), declividade (0,1598), distância das vias (0,1439), temperatura (0,0593), orientação (0,083) e altitude (0,0398). Ao final, a álgebra de mapas foi realizada para produzir o mapa final das áreas suscetíveis a incêndios em Águas Lindas para o ano de 2022.

Os focos de calor em 2022 foram obtidos através da plataforma DBQueimadas do INPE, vinculada ao Programa Queimadas. Esses dados foram analisados quanto à distribuição espacial das áreas afetadas pelo fogo e comparados com os mapas de suscetibilidade a incêndios de 2022 e outras variáveis ambientais, visando compreender a relação entre a distribuição dos incêndios e essas variáveis.

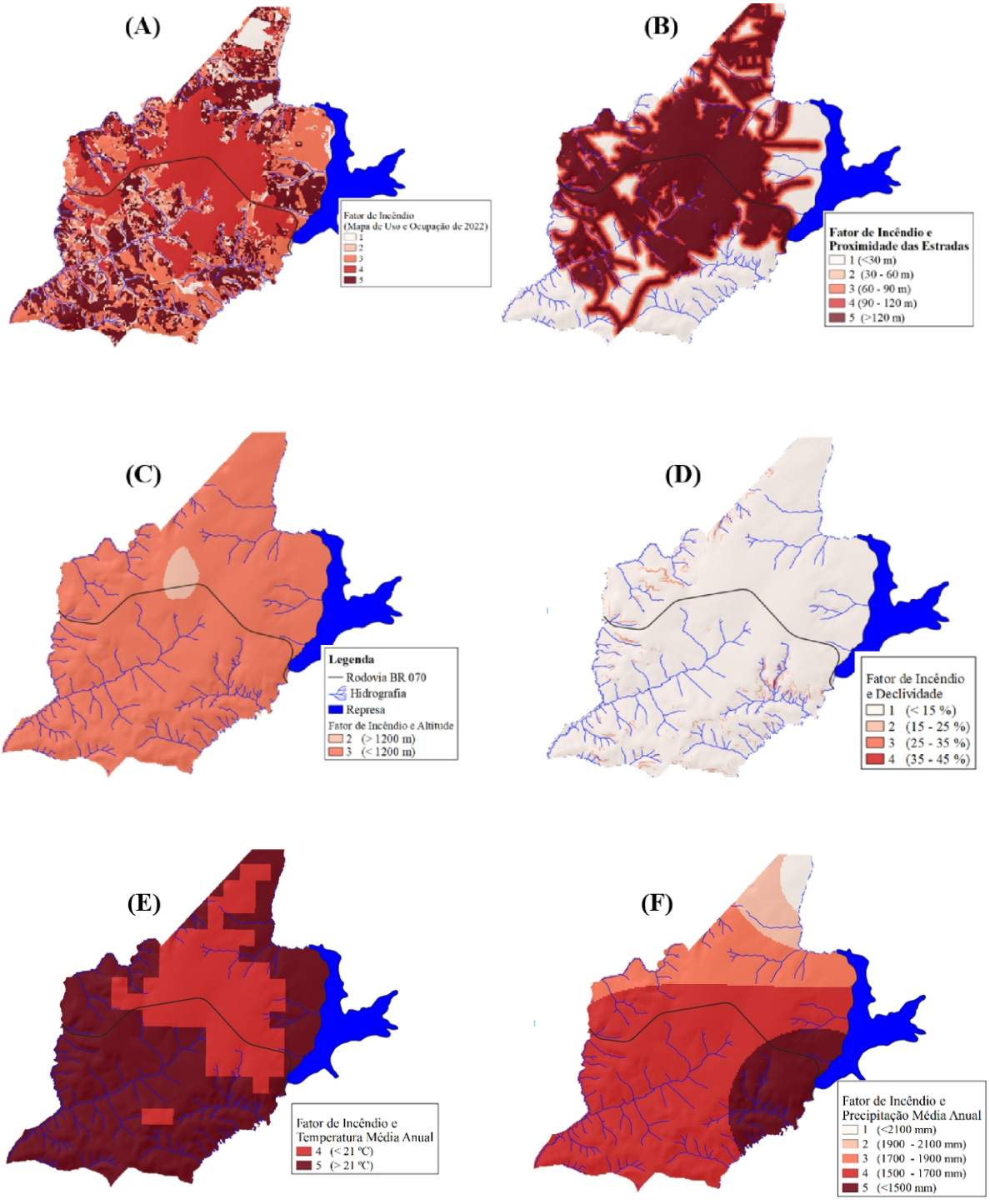
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação e o uso do solo foram os principais indicadores para 2022, somando 51,4% dos pesos na avaliação do risco de incêndios em Águas Lindas de Goiás. As áreas de pastagem e urbanizadas cobriram 53,2% do território (Figura 1E). A importância do uso do solo na análise do risco de incêndios está associada ao rápido crescimento urbano do município, que modificou a paisagem e ampliou essas áreas (Figura 2). O aumento populacional de 262% desde 1991 foi um fator crucial na expansão das áreas urbanizadas e de pastagem (CODEPLAN, 2015; IBGE, 2022).

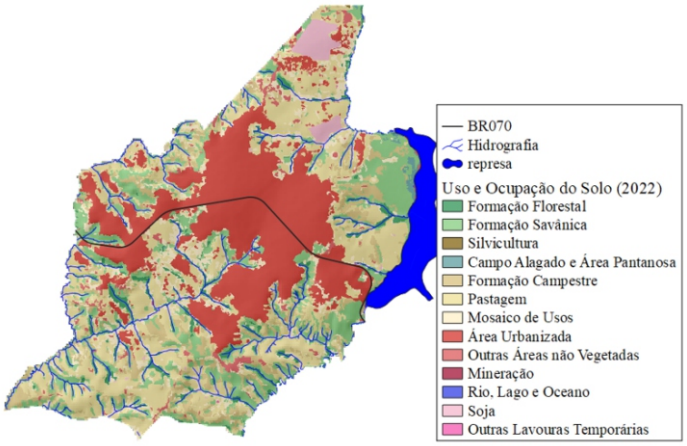
A proximidade das vias apresentou áreas com fatores de risco maiores que quatro (4), sendo concentradas na área urbana (Figuras 1B e Figura 2). Este fator caracteriza-se pela integração aos centros urbanos e pela expansão rural do município. Áreas com elevada densidade populacional e estradas aumentam o risco de incêndios devido à maior atividade humana. Essas áreas com risco elevado, principalmente na zona urbana e em áreas de expansão rural, refletem a pressão sobre os departamentos governamentais para prevenir incêndios (JU et al., 2023).

A altitude foi classificada em dois grupos de risco de incêndio: entre 600 e 1200 m, com fator de risco 3 e abrangendo 97,8% da área; e entre 1200 e 1500 m, com fator de risco 2 e correspondendo a 2,2% da área (Figura 1C). A declividade variou de 0 a 39,4%, com 97,2% da área classificada como risco 1 e apenas 0,01% como risco 4.

Figuras 01: Mapas reclassificados dos indicadores ambientais e antrópicos dos fatores de incêndios, (A) Uso e ocupação do solo em 2022, (B) Proximidade das Estradas em 2022. (C) Altimetria (D) Declividade (E) Temperatura Média (F) Precipitação Média Anual.



Figuras 02: Mapa de uso e ocupação do solo de Águas Lindas de Goiás, para o ano 2022.




Esses dados sugerem um baixo potencial de incêndios devido à inclinação do terreno. Além disso, as áreas urbanas estão predominantemente localizadas em altitudes acima de 1085 m, em terrenos planos ou suavemente ondulados (Figuras 3 e 1D). Assim, considerando apenas altitude e declividade, o potencial de incêndio parece baixo para essas áreas.

As classes de temperatura média do município foram classificadas em dois grupos de fatores de incêndio, entre 20-21 ºC e acima de 21 ºC, com pesos 4 e 5 e com 31 e 70 % da área, respectivamente (Figura 1E). Com relação aos fatores climáticos, A temperatura e a umidade relativa do ar estão relacionadas com a deflagração e a propagação do fogo, uma vez que, juntas, agem no grau de inflamabilidade e combustibilidade dos vegetais (ICMBIO, 2010).

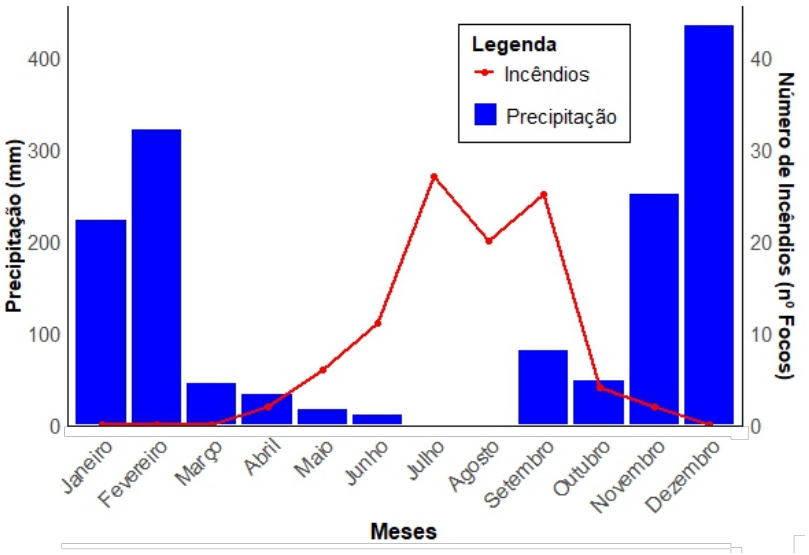
A precipitação anual indicou que as áreas com maior risco de incêndio estão localizadas no sudeste (fator 5) e nas regiões sul, sudoeste e oeste de Águas Lindas de Goiás (fator 4) (Figura 1F). Em 2022, o período chuvoso ocorreu de novembro a fevereiro, com uma média de 306,5 mm, enquanto o período seco de março a outubro teve uma média de 29,04 mm (Figura 3).

Os focos de incêndio começaram em março, com picos em julho e setembro, totalizando 97 ocorrências no ano, conforme os dados do BDQueimadas (INPE, 2024). Araújo et al. (2012) observaram que, no território brasileiro, há uma intensificação das queimadas, especialmente no Cerrado, durante os meses de julho, agosto e setembro.

A distribuição das chuvas é crucial para determinar os períodos de risco de incêndio, afetando o início, duração e término dos incêndios (SOARES, 1985). Incêndios tendem a ser mais frequentes e intensos durante a seca, resultando em possíveis danos ambientais significativos (RAMOS-NETO e PIVELLO, 2000).

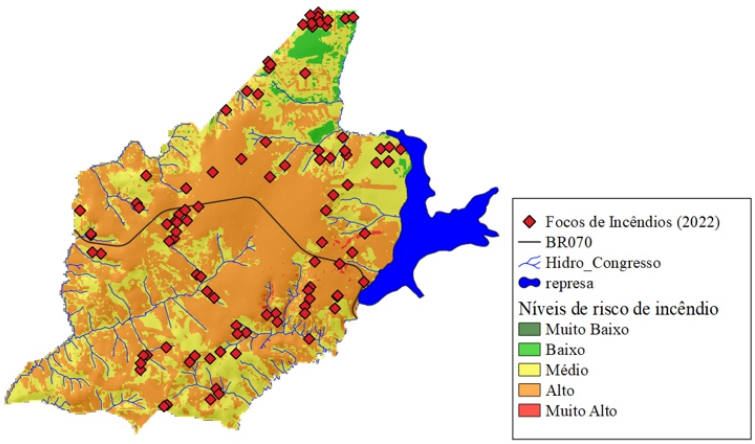
O mapeamento de risco de incêndio indicou as classes de risco “Médio” (39%) e “Alto” (55,7%) para incêndios, cobrindo 94% da área do município. As classes “Muito Baixo” e “Baixo” representam apenas 2,3% e 2,8%, respectivamente (Figura 4 e Tabela 1).

Figura 03: Distribuição mensal da precipitação (mm) e o número de incêndios em Águas Lindas de Goiás, em 2022.




A localização dos focos de incêndio em Águas Lindas de Goiás em 2022 ficou distribuída principalmente na periferia da área urbana, com os focos concentrados próximos à BR070, ao sudeste e ao norte do município (Figura 4) e 97 % desses focos estão localizados em áreas classificadas com níveis de risco médio e alto (Tabela 1).

Figura 04: Localização de focos de incêndios sobre o mapa dos níveis de risco de incêndios no município de Águas Lindas de Goiás (GO), para os anos de 1985 e 2022.




A distribuição dos focos de incêndio próximos das estradas, com cerca de 23% (Tabela 1), é um fator importante na origem de incêndios, ao permitirem o acesso de pessoas e veículos, elevando a probabilidade de incêndios criminosos (CANZIAN et al., 2020).

Tabela 01: Distribuição dos focos de incêndio e percentuais entre as classes de risco, com base no mapa de vulnerabilidade a incêndios, uso do solo, orientação das encostas e declividade em Águas Lindas de Goiás em 2022

| Classe Risco de Incêndio | Vulnerabilidade a Incêndios (2022) | | USOS (2022) | | Distâncias das Estradas | | | Orientação das Encostas | | | Declividade | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Focos | % | Focos | % | m | Focos | % | Sentido | Focos | % | Focos | % |
| Muito Baixo | 0 | 0% | 3 | 3% | >120 | 23 | 24% | SE/S/SO | 28 | 29% | 90 | 94% |
| Baixo | 2 | 2% | 21 | 22% | 120 | 6 | 6% | E | 13 | 14% | 6 | 6% |
| Médio | 45 | 47% | 29 | 30% | 90 | 12 | 13% | NE | 12 | 13% | 0 | 0% |
| Alto | 48 | 50% | 14 | 15% | 60 | 9 | 9% | NO/O | 28 | 29% | 0 | 0% |
| Muito Alto | 1 | 1% | 29 | 30% | 30 | 46 | 48% | N | 15 | 16% | 0 | 0% |
| **Soma** | **96** | **100%** | **96** | **100%** | **-** | **96** | **100%** | **-** | **96** | **100%** | **96** | **100%** |

As áreas de pastagem concentraram a maioria dos focos de incêndio (30%), seguidas pelas formações savânicas (21%) (Tabela 1). O mosaico de usos e as áreas urbanizadas também apresentaram percentuais elevados, com 17% e 15%, respectivamente.

Esses dados indicam que as áreas com atividades humanas intensas estão mais propensas a incêndios. Dias (2023) observou em estudo para o Estado de Minas Gerais uma relação entre os focos de incêndio e o uso e a cobertura da terra. Essa constatação é reforçada pelo fato de que mais de 90% dos incêndios florestais são causados por ação humana, o que agrava ainda mais os riscos ambientais associados a essas áreas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA, 2016).

As encostas orientadas para SE/S/SO e NW/W apresentaram o maior número de focos de incêndio, com 28 focos cada (29%) (Tabela 1). Isso sugere que a orientação das encostas tem baixa correlação com a origem dos focos em 2022. Da mesma forma, a declividade mostrou que 94% dos focos ocorreram em terrenos planos e ondulados, reforçando a hipótese de que a ação humana foi um fator significativo na origem dos incêndios em 2022.

## CONCLUSÕES

O mapeamento das áreas de risco de incêndios em Águas Lindas de Goiás revelou que a precipitação e o uso do solo foram os principais indicadores, contribuindo com 51,4% na avaliação do risco. A proximidade de estradas e a alta densidade populacional foram identificadas como fatores críticos, elevando o risco de incêndios devido à maior atividade humana. A altitude, declividade e orientação das encostas apresentaram baixo potencial para explicar o padrão dos focos de incêndio observados em 2022. Além disso, a distribuição das chuvas e a variação da temperatura influenciaram significativamente o risco de incêndio, com picos de ocorrência concentrados durante o período seco. As áreas de maior risco foram

localizadas principalmente nas proximidades das estradas e nas zonas urbanas, corroborando a teoria de que as atividades humanas são determinantes para a incidência de incêndios. Por fim, esses resultados fornecerão uma base sólida para futuros mapeamentos, permitindo uma previsão mais precisa e eficaz do risco de incêndios e apoiando a implementação de estratégias de mitigação mais direcionadas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Goiás (IFG) e ao Instituto Federal Goiano (IFGoiano).

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Portal Hidroweb – séries históricas de estações. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>

ARAÚJO, F. M. de; 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, v. 4, n. 7, p. 1929-1946, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs4071929.

BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. Floresta, v. 30, n. 1, p. 45-54, 2000.

BOEIRA, A. S.; BERNINI, H. Avaliação dos focos de calor ocorridos em 2014 no Parque Nacional de Pacaás Novos - Rondônia. Porto Velho, jun. 2015. v. 02, n. 1, p. 53-62.

BRASIL. Lei 9.985 de 18 de julho de 2000 - Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm.

CANZIAN, W. P. et al. Análise de causa e influência de elementos meteorológicos em ocorrências de incêndios em florestas de produção. Ciência Florestal, v. 30, n. 3, p. 465-478, jul.-set. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.5902/1980509837802.

CODEPLAN. PMAD – Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílios - 2015, Águas Lindas de Goiás. Disponível em: https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2016/07/PMAD-ÁguasLindas-GO-2015.pdf.

COSTA, E. P. et al. Incêndios florestais no entorno de Unidades de Conservação – Estudo de caso da Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 195-206, 2009.

DIAS, B. A. S. Proposta para mapeamento dos riscos de queimadas e incêndios em Minas Gerais [recurso eletrônico]. 2023. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/39206.

ESTEVAM, T. S. Análise da susceptibilidade a incêndios florestais no Parque Estadual do Itacolomi como ferramenta auxiliar de prevenção e combate às queimadas. Trabalho de graduação em Engenharia Ambiental. Ouro Preto, 2020.

EUGENIO, F. C. et al. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. Journal of Environmental Management, v. 173, p. 65-71, 2016.

HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, v. 25, n. 15, p. 1965–1978, 2005.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/aguas-lindas-de-goias/panorama.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Manual para formação de brigadista de prevenção e combate aos incêndios florestais. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TerraBrasilis: Queimadas. Dados de focos de incêndio coletados de 1º jan. a 31 dez. 2022. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#mapa.

JONES, M. W. et al. Global fire emissions buffered by the production of pyrogenic carbon. Nature Geoscience, v. 12, p. 742-747, 2019. DOI: 10.1038/s41561-019-0403-x.

JU, W. et al. Evaluation of forest fire risk based on multicriteria decision analysis techniques for Changzhou, China. International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 98, p. 104082, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104082.

LADISLAU, F. F. et al. Análise multicritério aplicada ao mapeamento de risco de incêndio na APA Sul RMBH. Caderno de Geografia, v. 31, n. 66, p. 294-309, 2021.

MARINS, C. S. et al. O uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. In: XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. p. 1778-1788, 2009.

MATOS, A. C. M. Identificação da fragilidade ambiental potencial através de análise multicritérios e técnicas de geoprocessamento: município de Patos de Minas/MG. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. Mais de 90% dos incêndios têm ação humana. Portal Gov.br, 15 set. 2016. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/noticia-acom-2016-09-1855.

OLIVEIRA, D. S. et al. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná. Floresta, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 217-221, 2004.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção versão 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. Environmental Management, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.

QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System, versão 3.16.14. Open Source Geospatial Foundation Project. Documento eletrônico: http://www.qgis.org/wiki/Installation_Guide.

RIBEIRO, E. M.; SILVA, L. A. C. Increasing frequency of fires in Brazilian Cerrado: an analysis based on MODIS data. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 2, p. 427-437, 2019.

SOARES, R. V. Incêndios florestais: controle e uso do fogo. Curitiba: Fundação de Pesquisa Florestal do Paraná, 1985.

SILVA, J. C. et al. Avaliação de brigadas de incêndios florestais em unidades de conservação. Revista Árvore, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2003.

SOARES, R. V. Incêndios florestais: controle e uso do fogo. Curitiba: Fundação de Pesquisa Florestal do Paraná, p. 213, 1985.

TOMZHINSKI, G. W. Análise geoecológica dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

TORRES, F. T. P. et al. Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. Floresta e Ambiente, vol. 24, 2017. Doi: 10.1590/2179-8087.025615.

TURRA, B. B.; BATISTELLA, M. Incêndios florestais no Brasil: características, tendências e perspectivas. Estudos Avançados, v. 33, n. 97, p. 45-60, 2019. Disponível em: encurtador.com.br/8fx2l

VASCONCELOS, A. F. C. G. N. Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais no concelho de Leiria. Dissertação (Mestrado em SIG e Modelação Territorial Aplicados Ao Ordenamento) – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa. Lisboa, 2013.

# PANORAMA DOS ESTUDOS SOBRE MODELOS ASSOCIADOS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA O BRASIL: MA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Ambiente e clima: impactos e riscos

Letícia Costa Corrêa e Castro Teixeira
Me.,Universidade Federal Fluminense – Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
leticia_correa@id.uff.br.

Kelly Alonso Costa
Prof. Dr.,Universidade Federal Fluminense
Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
kellyalonso@id.uff.br.

Welington Kiffer de Freitas
Prof. Dr.,Universidade Federal Fluminense
Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
wkiffer@id.uff.br.

José Francisco Oliveira Júnior
Prof. Dr., Instituto de ciências atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas
junior_inpe@hotmail.com

Ana Paula Martinazzo
Profa. Dr., Universidade Federal Fluminense
Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
anapaulamartinazzo@id.uff.br

Juliene Maria da Silva Amancio
Aluno do Curso (mestrado em Tecnologia Ambiental), Universidade Federal Fluminense
Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental
jmsamancio@id.uff.br

## Resumo

As pesquisas envolvendo modelos climáticos apontam que emissões de gases de efeito estufa (GEE), por ações antrópicas, podem provocar alterações nos regimes de ventos, temperaturas, precipitações e nas circulações oceânicas. Estas alterações podem resultar em eventos extremos climáticos com consequências gravíssimas para a sociedade. Assim, as respostas geradas por estes modelos são uma importante fonte de informação para a definição de políticas públicas, bem como, para a elaboração de recomendações técnicas e no monitoramento do clima. Diante a relevância do tema, esta pesquisa se propõe a apresentar um panorama do que vem sendo estudado sobre mudanças climáticas no Brasil com uso de modelagem climática, visando ser um guia tanto para a comunidade acadêmica como para a sociedade. Para tal, utilizou-se o conceito de Revisão Sistemática (RS) relacionado a análises bibliométricas o que permite obter uma resposta objetiva para a pergunta chave que se deseja, contextualizando o assunto em questão e o abordando em diferentes esferas. Assim, foi possível definir as localidades mais discutidas, os principais autores da área, as palavras-chave com maior ocorrência e suas correlações e como os objetivos destes estudos se enquadram nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

**Palavras-chave:** Antropoceno; Aquecimento global; Indicadores de produção cientifica; Infometria; ODS.

## INTRODUÇÃO

O aquecimento causado por emissões antrópicas, desde o período pré-industrial até o presente, persistirá por séculos e milênios, e continuará a causar mudanças em longo prazo no sistema

climático. Os modelos climáticos, então, são usados como uma relevante ferramenta para projeções de futuras mudanças do clima, as quais são apresentadas usando uma ampla gama de cenários de futuras emissões de gases de efeito estufa e aerossóis, sendo um instrumento valioso na tentativa de entender e prever as mudanças climáticas (Ambrizzi et al., 2007; Gordon et al., 2000; Griggs; Noguer, 2002; IPCC, 2018, 2021; Machado, 2017). Pesquisas com simulação de modelos climáticos apontam que emissões de gases de efeito estufa (GEE) podem provocar alterações nos regimes de ventos, temperaturas, precipitações e nas circulações oceânicas (IPCC, 2018; Machado, 2017; Marengo, 2001; Zennaro et al., 2021). As saídas obtidas de modelos também sugerem um aumento de eventos extremos para este século, com consequências gravíssimas para a sociedade. Os riscos destes eventos surgem da interseção das condições físicas do perigo (por exemplo, vento e chuva), a extensão da exposição ao perigo, a vulnerabilidade dos indivíduos e comunidades, e a capacidade de se preparar, gerenciar e se recuperar de eventos extremos (Ebi et al., 2020; Mal et al., 2018).

Reconhecendo, portanto, a gravidade dos impactos oriundos das alterações climáticas, aliadas ao aumento da emissão de poluentes e a devastação das florestas, há o crescimento de pesquisas na área do clima e debates em nível internacional buscando estabelecer diretrizes para compreensão dos efeitos das mudanças na sociedade e disseminação do conhecimento (Rocha et al., 2009; Mendes et al., 2016; IPCC, 2018; Junges et al., 2018; Guarda et al., 2020; Machili, 2020; Zennaro et al., 2021). Diante a relevância do tema, esta pesquisa se propõe a apresentar um panorama do que vem sendo estudado sobre mudanças climáticas no Brasil com uso de modelagem climática, visando ser um guia tanto para a comunidade acadêmica como para a sociedade. Para tal, utilizou-se o conceito de Revisão Sistemática (RS) relacionado a análises bibliométricas o que permite obter uma resposta objetiva para a pergunta chave que se deseja, contextualizando o assunto em questão e o abordando em diferentes esferas. Assim, foi possível definir as localidades mais discutidas, os principais autores da área, as palavras-chave com maior ocorrência e suas correlações e como os objetivos destes estudos se enquadram nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

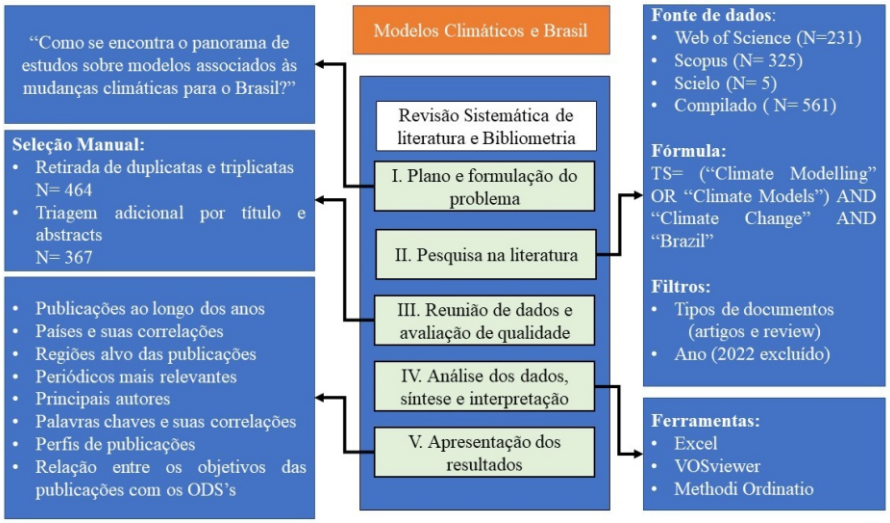
## METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos deste estudo foi escolhida como metodologia de investigação uma revisão sistemática e uma análise bibliométrica, como a proposta por Rosa et al. (2022). A estrutura metodológica foi inspirada por Zhang et al. (2021). Referindo-se ao padrão de pesquisa proposto, foi construída a estrutura de pesquisa abrangente aplicada a este estudo, que inclui cinco etapas principais. Uma síntese dos passos e seus respectivos resultados foram compilados na figura 1.

Para a primeira etapa de Plano e Formulação do Problema, foi definida a questão de investigação: “Como se encontra o panorama dos estudos sobre modelos associados às mudanças climáticas para o Brasil?”. Na etapa de Pesquisa na literatura, foram selecionados os bancos de dados que representam as principais bases de busca, comumente usados em análises bibliométricas: i) Scopus da Elsevier e ii) Web of

Science (WoS) da Thomson Reuters (Filser et al., 2017; Costa et al., 2021). E a base nacional Scielo. Foram recuperados artigos relevantes nas bases de dados com uso de filtros de pesquisa específicos e a definição das palavras-chave.

Figura 1. Síntese da metodologia utilizada para a elaboração da pesquisa.




Na reunião de dados e avaliação de qualidade, os artigos foram baixados diretamente das respectivas plataformas, com o registro completo dos dados, no formato .csv (Excel) para a Scopus e em formato de documento de texto (.txt) para a WoS e Scielo.

Após os devidos ajustes, um compilado das três bases foi construído para o refino das duplicatas utilizando o Microsoft Excel® 365 (Excel, 2022).

Como algumas publicações recuperadas não estavam intimamente relacionadas com a pergunta chave, foi realizada uma seleção manual com uma triagem de título e resumo, e assim, obter dados de pesquisas qualificadas. Os critérios para exclusão desses artigos foram, primeiramente, se traziam informações sobre o Brasil e o uso direto (aplicação) ou indireto (como base de referência) de modelos climáticos para o estudo de mudanças climáticas. Portanto, foram excluídos os artigos que tinham foco de estudo específico para outra localidade, sem referenciar o Brasil, e aqueles que indicavam não fazer uso de modelos climáticos em seu título ou resumo. Assim, finalmente, ao todo 367 publicações foram escolhidas para o escopo final da revisão.

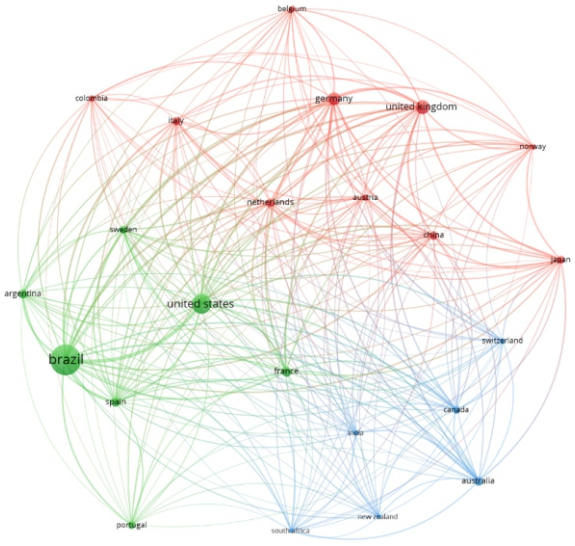
Para analisar os dados, sintetizá-los e interpretá-los, foram utilizadas ferramentas como o Excel, VOSviewer (software de análise bibliométrica) (Van Eck; Waltman, 2010). A análise de palavras chaves, principais autores e países com maior número de publicações foram geradas pelo Software VOSviewer. Como entrada para o VOSviewer o dado compilado teve que ser extraído diretamente de uma base. Assim, foi criada uma fórmula com o título de todos os 367 artigos de abordagem global e realizada uma busca avançada na Scopus, a qual deu como resposta 365 artigos. Dois dos artigos compilados não foram encontrados na base (Handiani et al., 2013; Sá et al., 2018), mas a falta dos mesmos não trouxe prejuízos as análises geradas pelo software.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise dos dados foi possível identificar o número de publicações ao longo dos anos. Dentre as informações computadas foi observado que entre os anos de 1997 a 2002 nenhum artigo foi publicado com alguma ênfase para o Brasil. Isto começou a mudar a partir de 2003 e pode ser associado a realização da Conferência Rio + 10, ocorreu em Johannesburgo, na África do Sul, em 2002 (Diniz, 2002; Pessini; Sganzerla, 2016). Além disto, foi observado que o número de publicações dobrou entre 2012 e 2013, saindo de 9 publicações para 27. É possível correlacionar este aumento a Conferência da ONU sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), realizada no Rio de Janeiro em 2012 (Diniz, 2002; Pessini; Sganzerla, 2016). A partir de 2020, ocorreu um expressivo aumento nas publicações, saindo de 30 para 59, possivelmente motivados pela 21ª Conferência das Partes (COP-21), em Paris (2015)[1], que culminou no Acordo de Paris , seguida pela COP-22, em Marrakesh (2016), a COP-23, em Bonn (2017), a COP-24, em Katowice (2018), e a COP-25, em Madri, em coorganização com o governo chileno, todas essas reunindo esforços, principalmente, para ampliar os efeitos do acordo de Paris (Alves, 2021; Pessini; Sganzerla, 2016). A evolução na construção dos modelos, com os avanços tecnológicos e computacionais, também pode ser apontada como um importante fator para o aumento gradual das publicações ao longo dos anos (Mcguffie; Henderson-Sellers, 2014; Ramaswamy et al., 2019).

Dentre os países com maior número de autores com retorno de publicações, se destacam: Brasil, contabilizando 267 artigos, dos 365; na sequência, os Estados Unidos, com 107 publicações; e a Inglaterra com 55 publicações. Dos artigos compilados, 74 países foram identificados pelo software. Todos os países com mais de três publicações possuíram correlação com o Brasil. Na figura 2, se observa a rede de colaboração entre os países com mais de 7 ocorrências de publicações.

Figura 2. Rede de colaboração cientifica entre países,
de acordo com a temática proposta, através do Software VOSviewer.



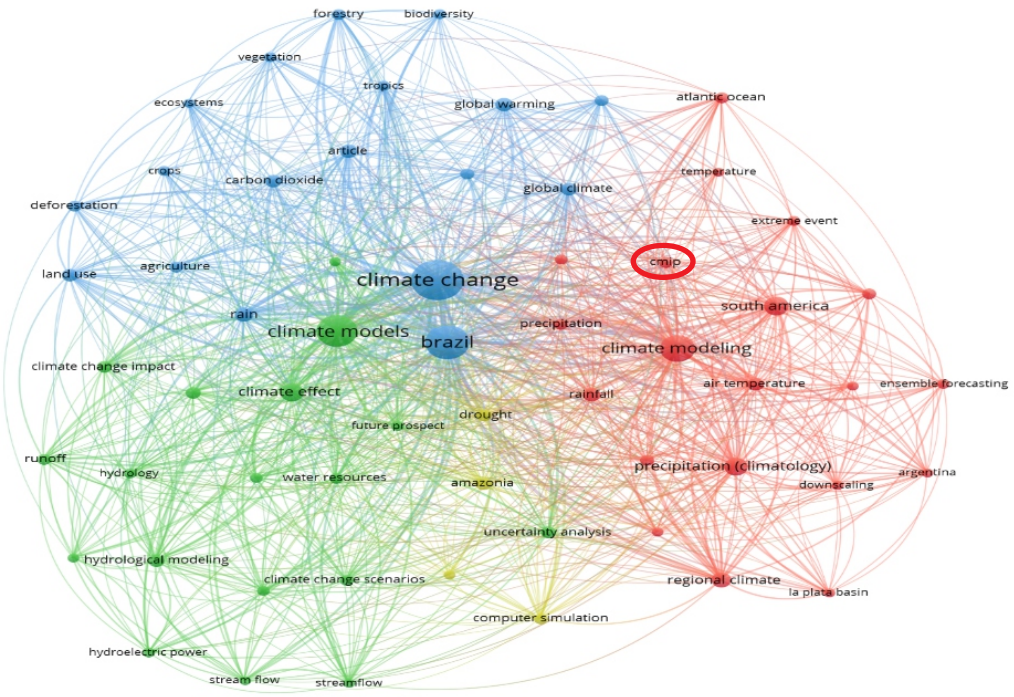

[1] O Acordo de Paris é o primeiro marco universal de luta contra o aquecimento global. É o primeiro acordo sobre o clima desde a assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997 e o primeiro a compromissar todos os países desenvolvidos e industrializados (PESSINI; SGANZERLA, 2016).

Pelo Brasil possuir o maior número de coautorias é possível confirmar o foco desta pesquisa para o país. Além disto, pode-se inferir que diferentes países estão cooperando com estudos que englobam o Brasil. Demostrando assim, ser um país chave para discussão sobre o tema. Em seguida, os Estados Unidos e a Inglaterra, obtiveram os maiores números de publicações. O que se justifica, já que estes países contêm importantes escolas no campo de pesquisa com modelos climáticos (Mcguffie; Henderson-Sellers, 2014; Sampaio; Dias, 2014).

Como observado, autores de todo o mundo se interrelacionam para discutir as mudanças climáticas. Ao todo 2.195 autores foram identificados nas 365 publicações analisadas pelo VOSviewer. Os quatro autores com maior número de publicações foram o Marengo, J. A, com 23 publicações de acordo com a temática proposta. Na sequência temos Da Rocha, R. P. com 17 publicações e Alves, I. M. e Chou, S. C. com 12 publicações.

Além da correlação entre os países, os dados compilados pelo VOSviewer forneceram as palavras-chave com maiores ocorrências e suas correlações. Para formar a figura 3, foram selecionadas, através do software, as palavras que tiveram mais de 20 ocorrências nas 365 publicações.

Figura 3. Network das palavras-chave com mais de 20 ocorrências, de acordo com a temática, através do Software VOSviewer.




É possível observar que as palavras com maiores ocorrências são as palavras-chave definidas para pesquisa nas bases de dados (Brazil, climate change, climate models e climate modeling – com maiores circunferências na figura). Além delas, foi destacada, em vermelho, a palavra-chave “CMIP” que corresponde ao Coupled Model Intercomparison Project. Este é um projeto organizado sob os auspícios do Grupo de

Trabalho sobre Modelagem Acoplada do Programa Mundial de Pesquisa Climática com o objetivo de entender melhor o passado, presente e futuro das mudanças climáticas decorrentes da variabilidade natural não forçada ou em resposta a mudanças nas forças radiativas em um contexto multimodelo (Eyring et al., 2016).

Ao efetuar a seleção através os títulos de resumos, foi possível obter informações relevantes quanto ao conteúdo das publicações. Na tabela 1 foi apresentada as principais localidades foco dos estudos e o número de publicações correspondentes. Assim, o compilado se destrincha em algumas categorias: publicações que discutem mais de uma região do Brasil (Território); os documentos que analisam locais específicos do país, classificadas pela região foco do estudo (Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro Oeste); os artigos que fazem uma análise para diferentes países, mas contemplam o território brasileiro em sua explanação (Global e América do Sul); os que buscam modelagens mais precisas dos modelos, com possível aplicação para o território brasileiro (Geral).

Tabela 1. Número de publicações, considerando a escala, Território e regiões, de acordo com a temática: Como se encontra o panorama dos estudos sobre modelos associados às mudanças climáticas para o Brasil? Considerando o compilado das bases Scopus, WoS e Scielo, durante o período de 1996 a 2021.

| **Localidade** | **Nº Artigos** |
|---|---|
| Território | 105 |
| Norte | 15 |
| Nordeste | 26 |
| Sudeste | 40 |
| Sul | 14 |
| Centro Oeste | 6 |
| América do Sul | 76 |
| Global | 69 |
| Geral | 16 |
| **Total** | **367** |

É possível identificar que o Sudeste, dentre as regiões do Brasil, foi a que possuiu maior número de artigos contemplando seus Estados e Municípios. As diferentes publicações tiveram o objetivo de estudar a influência das mudanças climáticas em setores como o agrícola e energético. Assim como, os impactos das ondas de calor na saúde da população e vulnerabilidades sociais a inundações, enchentes e deslizamentos de terra por conta da chuva. Outros tópicos também foram abordados, dentre eles, a gestão de recursos hídricos, tendências climáticas e distribuição de espécies (Batista; Gonçalves; Da Rocha, 2016; Costa et al., 2009; Oliveira et al., 2019; Palasio et al., 2021; Silva et al., 2018; Viola et al., 2015).

Outra área que merece destaque é a região amazônica, esta apresenta um papel relevante no cenário global como fonte de absorção de carbono que, hoje, vem demonstrando declínio devido, principalmente, ao desmatamento e os próprios efeitos das mudanças climáticas (Gatti et al., 2021; Marengo et al., 2009). Visto que,

os artigos que discutiam sobre este bioma podiam ser enquadrados como “Norte”, “Território”, “América do Sul” ou “Global” se outras regiões ou países fossem discutidas em conjunto, foi realizada uma contagem individualizada e contabilizados 81 artigos com algum foco para o bioma Amazônico. Destacando a relevância desta região na discussão de mudanças climáticas em nível nacional e global.

Além da identificação da localização, foi proposto construir uma relação entre os objetivos principais dos artigos, identificados nos resumos, com os objetivos do desenvolvimento sustentável (Figura 4). Buscando, assim, inferir sobre a contribuição deste arcabouço teórico para a discussão proposta pelos ODS’s. Para tal, foram analisados os objetivos principais apresentados no abstract de 206 artigos com foco exclusivo para o Brasil, sem considerar outros países.

Figura 4. Frequência absoluta e relativa dos artigos relacionados aos ODS’s, de acordo com a temática.

Pela análise foi possível observar que além do ODS 13, que visa “tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”, o qual todos os artigos se relacionam e 29% se relacionam exclusivamente, outras correlações foram identificadas. Dentre elas, 146 artigos, 71%, puderam ser relacionados também com outras 6 ODS's.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou um panorama geral sobre como se encontram os estudos com uso de modelos climáticos, para análise de mudanças climáticas, no Brasil. Para tal, se utilizou de uma combinação entre uma Revisão Sistemática e Bibliométrica. A pesquisa explora como a comunidade científica está abordando o tema proposto. Fornece uma visão geral dos avanços no número de publicações

associados a discussões e acordos internacionais, além de considerar os avanços tecnológicos e computacionais. Destaca também, a presença de países precursores na construção de modelos, como Estados Unidos e Inglaterra, provando o reconhecimento do Brasil como área relevante de estudo. Em uma perspectiva mais ampla, os resultados apresentados chamaram a atenção para as principais localidades foco de estudo e a associação de seus objetivos com as metas globais para o desenvolvimento sustentável.

Assim, os resultados presentes nesta revisão visam contribuir como fundamento para estudos futuros. Dando aos pesquisadores a confiança para desenvolver cada vez mais pesquisas sobre o tema e estimular uma rede de colaboração no desenvolvimento de modelos. Além disto, demonstra para sociedade a relevância do Brasil quanto ao estudo das mudanças climáticas com uso de modelos climáticos. Estimulando, portanto, a se gerar cada vez mais resultados que possam ser utilizados para a elaboração de diretrizes com foco na mitigação e adaptação frente as mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. A participação social como requisito da governança ambiental: a voz da sociedade nas conferências do clima de Copenhague e Paris. Revista de Direito Público Contemporâneo, v. 1, n. 1, p. 126, 2021.

AMBRIZZI, T. et al. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. São Paulo: [s.n.]. . Acesso em: 4 maio. 2022.

BATISTA, R. J. R.; GONÇALVES, F. L. T.; DA ROCHA, R. P. Present climate and future projections of the thermal comfort index for the metropolitan region of São Paulo, Brazil. Climatic Change, v. 137, n. 3–4, p. 439–454, 2016.

COSTA, L. C. et al. Potential forcing of CO2, technology and climate changes in maize (Zea mays) and bean (Phaseolus vulgaris) yield in southeast Brazil. Environmental Research Letters, v. 4, n. 1, 2009.

COSTA, R. A. et al. A bibliometric research of industry 4.0 opportunities in industrial engineering. Brazilian Journal of Education, Technology and Societ, v. 12, n. 4, p. 299–310, 2021.

DINIZ, E. M. Os resultados da Rio +10. Geography Department, University of Sao Paulo, v. 15, p. 31–35, 2002.

EBI, K. L. et al. Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications.Annual Review of Public Health, v. 42, p. 293–315, 2020.

EXCEL, M. Baixar Excel grátis e Planilha eletrônica | Microsoft Excel. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/excel>. Acesso em: 24 ago. 2022.

EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development, v. 9, n. 5, p. 1937–1958, 2016.

FILSER, L. D.; DA SILVA, F. F.; DE OLIVEIRA, O. J. State of research and future research tendencies in lean healthcare: a bibliometric analysis. Scientometrics, v. 112, n. 2, p. 799–816, 2017.

GATTI, L. V. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. Nature, v. 595, n. 7867, p. 388–393, 2021.

GORDON, C. et al. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. Climate Dynamics, v. 16, n. 2–3, p. 147–168, 2000.

GRIGGS, D. J.; NOGUER, M. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Weather, v. 57, n. 8, p. 267–269, 2002.

GUARDA, E. L. A. DA; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Impacto das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de habitação unifamiliar em Cuiabá-MT. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 11, p. e020031, 2020.

HANDIANI, D. et al. Tropical vegetation response to Heinrich Event 1 as simulated with the UVic ESCM and CCSM3. Climate of the Past, v. 9, n. 4, p. 1683–1696, 2013.

IPCC. Aquecimento Global de 1,5°C: Sumário para Formuladores de Políticas. Incheon: [s.n.]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis.The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: [s.n.]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T. Efeito Estufa e Aquecimento Global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. Retrieved from. https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/94: [s.n.]. v. 13p. 26.

MACHADO, M. A. DE M. Estimativa da Erosividade de chuvas para o Estado do Paraná sob cenários de mudanças climáticas: distribuição anual, sazonalidade e uso de modelos climáticos. Tese Digital—Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

MACHILI, B. J. As mudanças climáticas na Província do Niassa e seu impacto para a agricultura. HOLOS, v. 7, p. 1–15, 2020.

MAL, S. et al. Introducing Linkages Between Climate Change, Extreme Events, and Disaster Risk Reduction. p. 1–14, 2018.

MARENGO, J. et al. Global Warming and Climate Change in Amazonia: Climate-Vegetation Feedback and impacts on Water Resources. Amazonia and Global Change, n. January, p. 273–292, 2009.

MARENGO, J. A. Mudancas climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 16, n. 1, p. 1–18, 2001.

MCGUFFIE, K.; HENDERSON-SELLERS, A. The climate modelling primer. Fourth ed. ed. [s.l.] UK Copyright, 2014.

MENDES, C. S. et al. Impacto das mudanças climáticas sobre a leishmaniose no Brasil. Ciência e Saúde Coletiva, v. 21, n. 1, p. 263–272, 2016.

OLIVEIRA, V. A. DE et al. Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome. Ecological Engineering, v. 133, n. October 2018, p. 20–31, 2019.

PALASIO, R. G. S. et al. Modelling the present and future distribution of Biomphalaria species along the watershed of the Middle Paranapanema region, São Paulo, Brazil. Acta Tropica, v. 214, 2021.

PESSINI, L.; SGANZERLA, A. Evolução histórica e política das principais conferências mundiais da ONU sobre o clima e meio ambiente. Revista Iberoamericana de Bioética, n. 1, p. 1–14, 2016.

RAMASWAMY, V. et al. Radiative Forcing of Climate: The Historical Evolution of the Radiative Forcing Concept, the Forcing Agents and their Quantification, and Applications. Meteorological Monographs, v. 59, p. 14.1-14.101, 2019.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. Introdução à Química Ambiental. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROSA, C. DE O. C. S. et al. Reserarch trends in renewable energy complementarity: a bibliometric analysis. In: Complementarity of Variable Renewable Energy Sources. [s.l: s.n.]. p. 1–34.

SÁ, M. C. DE et al. Climate Change and Water Resource Sustainability Index for a Water-Stressed Basin in Brazil: the Case Study of Rio Verde Grande Basin. Nativa, v. 6, n. 5, p. 480, 2018.

SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. DA S. Evolução dos Modelos Climáticos e de Previsão de Tempo e Clima. Revista USP, n. 103, p. 41, 2014.

SILVA, C. V. DA et al. Climate change impacts and flood control measures for highly developed urban watersheds. Water (Switzerland), v. 10, n. 7, p. 1–18, 2018.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

VIOLA, M. R. et al. Assessing climate change impacts on Upper Grande River Basin hydrology, Southeast Brazil. International Journal of Climatology, v. 35, n. 6, p. 1054–1068, 2015.

ZENNARO, F. et al. Exploring machine learning potential for climate change risk assessment. Earth-Science Reviews, v. 220, n. February, p. 103752, 2021.

ZHANG, L. et al. COVID-19 and energy: Influence mechanisms and research methodologies. Sustainable Production and Consumption, v. 27, p. 2134–2152, 2021.

# EMISSÕES DE CO2 E DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS: UM ESTUDO NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS ENTRE 1999 E 2022

Poluição atmosférica

Alessandro Xavier da Silva Junior
Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba
alessandro.junior@unesp.br.

Arthur Pereira dos Santos
Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais
arthur.p.santos@unesp.br.

Nicholas de Paula Nicomedes
Mestrando em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais
nicholas.nicomedes@unesp.br.

Henzo Henrique Simionatto
Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais
henzo.h.simionatto@unesp.br.

Darllan Collins da Cunha e Silva
Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais,
darllan.collins@unesp.br

## Resumo

Nos últimos anos, o aumento das atividades antrópicas tem gerado problemáticas ambientais, sendo o aquecimento global uma das mais proeminentes. Esse fenômeno é, em grande parte, impulsionado pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Portanto, o objetivo do presente estudo é analisar as emissões médias de dióxido de carbono ($CO_2$) resultantes da queima de combustíveis fósseis nos municípios brasileiros entre 1999 e 2022, utilizando sensoriamento remoto e estatística descritiva, de forma a compreender a correlação entre essas emissões e os problemas socioambientais ocorridos durante o período analisado. Para tanto, os dados de $CO_2$ foram extraídos da plataforma EDGARv8.0 e interpolados por meio do interpolador Inverse Distance Weighted (IDW) através do software ArcGIS 10.8 e, para a análise estatística do banco de dados, utilizou-se o software BIOSTAT 5.0. Os resultados da análise estatística descritiva revelaram valores mínimos de emissão de CO2 de 0,0183 ton/$Km^2$ no município de Jacundá – Pará (PA). Os valores máximos de emissão atingiram 152,4231 ton/$Km^2$ no município de São Lourenço da Mata – Pernambuco (PE). A análise das emissões médias nos 5.570 municípios brasileiros ao longo da série histórica mostrou variações significativas, que podem ser correlacionadas com questões socioambientais, como crises econômicas, pandemias e o advento de tecnologias mais eficientes. Assim, as técnicas empregadas mostraram-se eficazes na análise das emissões médias municipais de $CO_2$ originadas da queima de combustíveis fósseis, pois permitiram relacionar as emissões com questões socio-ambientais e têm o potencial de contribuir para a compreensão das mudanças climáticas, bem como para a formulação de políticas públicas.

**Palavras-chave:** Gases de Efeito Estufa (GEE); Emissões antropogênicas; Sensoriamento remoto.

# INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, o incessante progresso da urbanização e da industrialização tem impulsionado uma demanda crescente por serviços energéticos, transporte de pessoas e mercadorias, além da expansão e operação de infraestruturas e serviços comerciais e industriais. Esse cenário, aliado ao contínuo aumento populacional e à elevação dos padrões de consumo, tem intensificado o uso dos recursos naturais de forma significativa (Zapparoli et al., 2018).

Nesse contexto, entre os anos de 1999 e 2020, a população brasileira apresentou um crescimento expressivo, passando de aproximadamente 173 milhões para 203 milhões de habitantes (IBGE, 2022). Em resposta, o mercado de trabalho precisou se expandir, acompanhando o aumento do Produto Interno Bruto (PIB), que passou de R$960,86 bilhões para R$10,9 trilhões, impulsionado predominantemente pela rápida expansão do setor de serviços (IBGE, 2023).

Esse expressivo crescimento populacional e econômico está associado a vários fatores, entre os quais se destaca o uso intensivo de energias primárias, das quais 85% são derivadas de combustíveis fósseis. Esse cenário contribui para problemáticas ambientais irreversíveis, como o aumento acelerado das emissões de gases poluentes e Gases de Efeito Estufa (GEE) (Bertolo et al., 2022).

Nesse cenário global de crescente dependência de combustíveis fósseis, o Brasil não se exime dessa tendência. A participação do gás natural como fonte de energia primária tem se intensificado, impulsionada pelo desenvolvimento de tecnologias voltadas para eletrodomésticos a gás, sua crescente aplicação na indústria e sua utilização na geração de energia elétrica (Bertolo et al., 2022).

Simultaneamente, o carvão mineral tem expandido sua presença na matriz energética, especialmente na operação de termelétricas. Contudo, a eficiência energética desse insumo é limitada pela baixa qualidade do carvão disponível no país (Bertolo et al., 2022). Ambos os combustíveis fósseis mencionados são responsáveis pelo incremento nas emissões de GEE, principalmente em função da queima incompleta, que resulta na liberação de gases como o dióxido de carbono ($CO_2$).

Esses gases contribuem para o efeito estufa, ao reter parte da radiação solar na atmosfera terrestre, levando ao aquecimento gradual da superfície (Moreira et al., 2022). Esse aumento da temperatura global pode desencadear diversas problemáticas, incluindo o crescimento de casos de infarto e doenças respiratórias, a redução na produção de alimentos, escassez hídrica, e o aumento da incidência de doenças transmitidas por vetores, entre outros impactos (Alcoforado, 2021).

Para mitigar as emissões de GEE, diversas políticas públicas têm sido implementadas. Em nível global, destaca-se o Acordo de Paris, firmado na 21ª Conferência das Partes (COP21) em 2015, que estabeleceu medidas e metas para limitar o aquecimento global a bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços para restringir o aumento a 1,5°C (ONU, 2015).

Em âmbito nacional, a Agenda 2030, adotada pela ONU também em 2015, estabelece os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e suas 169 metas, servindo como referência para a promoção de ações sustentáveis no futuro. Os ODS 1 a 7 focam no pilar

social, abrangendo a erradicação da pobreza, fome zero, saúde, educação, igualdade de gênero, água potável, saneamento e energia limpa. Os ODS 8 a 12 se relacionam ao pilar econômico, abordando o trabalho decente, crescimento econômico, inovação, redução das desigualdades e sustentabilidade urbana e de produção. Já os ODS 13 a 15 se concentram no pilar ambiental, tratando de mudanças climáticas e preservação da vida aquática e terrestre. Finalmente, os ODS 16 e 17 tratam de governança, com foco em paz, justiça, instituições eficazes e parcerias para implementação (ONU, 2022).

Nesse sentido, o uso do sensoriamento remoto tem proporcionado a coleta de inúmeras variáveis que auxiliam na compreensão do ciclo dos GEE, possibilitando análises em tempos menores. Para tal, o estudo realizado por Rossi et al. (2022) avaliou por meio do sensoriamento remoto a dinâmica espaço-temporal do $CO_2$ e os fatores que se relacionavam entre os anos de 2015 a 2018. Outrossim, Gavidia-Calderón et al. (2024) resumiu e comparou para a Área Metropolitana de São Paulo os modelos de qualidade do ar dispostos na literatura. Por fim, o estudo realizado por Maciel et al. (2022) mensurou a contribuição das múltiplas fontes de poluentes atmosféricos, por meio do sensoriamento remoto e a utilização do banco de dados proveniente da plataforma EDGAR HTAP_V2.

Sendo assim, o Brasil desempenha um papel significativo nas mudanças climáticas, destacando-se como uma das dez maiores economias globais e possuindo um dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade, incluindo vastas áreas florestais (Raihan et al., 2022). No entanto, o país ocupa a sétima posição entre os maiores emissores de $CO_2$, com as emissões provenientes de combustíveis fósseis sendo superadas apenas pelas emissões associadas à mudança no uso da terra e às atividades florestais (Raihan et al., 2022).

Embora a literatura existente forneça dados sobre as emissões de $CO_2$ e suas fontes, ainda há uma lacuna na análise detalhada da correlação entre essas emissões e os problemas socioambientais específicos enfrentados pelos municípios brasileiros durante este período. Portanto, o presente estudo objetiva analisar a distribuição espacial e as emissões médias de $CO_2$ resultantes da queima de combustíveis fósseis nos municípios brasileiros entre 1999 e 2022, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e estatística descritiva.

## METODOLOGIA

Inicialmente, é importante ressaltar que o presente estudo abrange a totalidade da extensão territorial do Brasil, que é de aproximadamente 8.510.417 $Km^2$. Para as análises estatísticas realizadas, foram utilizados os limites e as coordenadas geográficas dos 5.570 municípios brasileiros, conforme os dados disponibilizados pelo IBGE (2022).

Diante disso, o inventário de emissões de $CO_2$ provenientes da queima de combustíveis fósseis foi extraído da plataforma EDGARv8.0, que disponibiliza um banco de dados global abrangendo as emissões dos principais gases de efeito estufa ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ e gases fluorados). Para tanto, a metodologia exposta para formulação e quantificação dos resultados relacionados as emissões de GEE, estão dispostos no trabalho realizado por Janssens-Maenhout et al. (2019).

Posteriormente, utilizando o banco de dados global, foram extraídas as informações sobre a concentração e a distribuição espacial das emissões de $CO_2$ no território brasileiro por meio do *software* ArcGIS, versão 10.8. Após a plotagem dos dados no ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi realizada a interpolação das emissões utilizando o método *Inverse Distance Weighted* (IDW) (Righi et al., 2016). Essa abordagem permitiu a análise detalhada das emissões para cada município, a fim de avaliar as concentrações de emissões de acordo com a localização geográfica dos municípios.

Em seguida, as emissões atribuídas a cada município brasileiro foram exportadas para uma planilha eletrônica, onde foram organizadas em uma tabela que incluía o nome do município, seu código conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e as concentrações anuais de emissões para cada município ao longo da série histórica considerada.

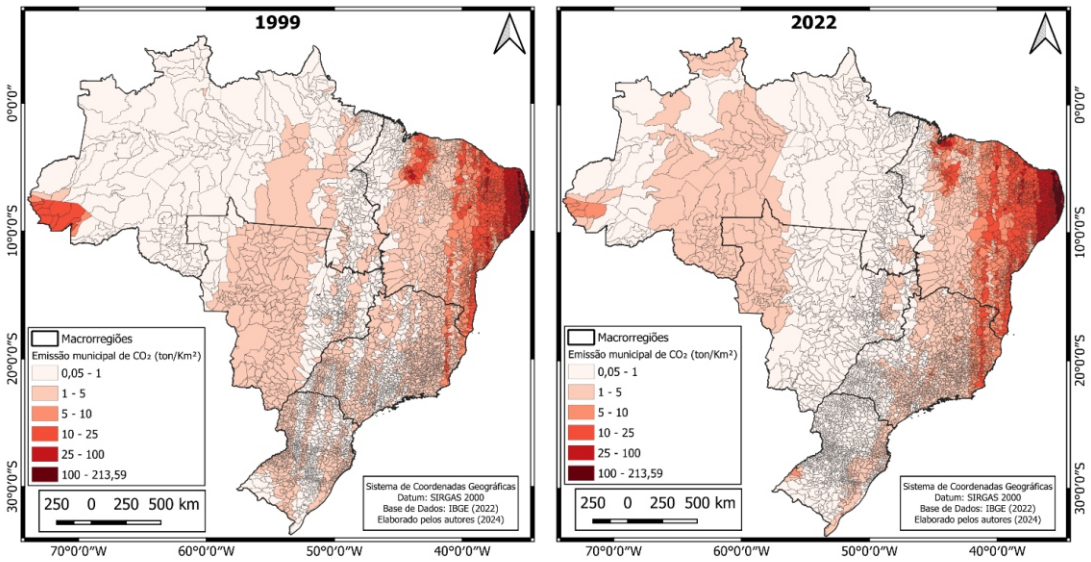
Para análise estatística do banco de dados, optou-se por utilizar o *software* BIOSTAT 5.0, e foram realizadas as seguintes análises: valor mínimo, valor máximo, média e o desvio padrão das emissões de $CO_2$, sendo utilizadas para análise espacial dos valores extremos, bem como na análise da evolução em relação a emissão média dos municípios brasileiros durante os anos supracitados.

Por fim, devido ao volume de dados disponíveis para cada município, as análises foram realizadas anualmente, resultando em estatísticas descritivas que incluíram os valores mínimos, máximos, média e desvio padrão. A espacialização das emissões municipais nas macrorregiões brasileiras foi então realizada utilizando o *software* QGIS 3.28.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da espacialização das emissões de $CO_2$ nos municípios brasileiros, para os anos de 1999 e 2022 estão apresentados na Figura 1.

Figura 01: Emissão municipal de CO2 nos municípios brasileiros entre 1999 e 2022.



De acordo com a Figura 1, observa-se que, em ambos os anos analisados, a costa da região Nordeste do Brasil se destaca nas emissões de $CO_2$ provenientes da queima de combustíveis fósseis, ultrapassando a marca anual de 200 ton/$Km^2$. Além disso, evidenciam-se municípios que, em 1999, estavam na faixa de 1 a 5 ton/$Km^2$, e que, em 2022, passaram para a faixa de 5 a 25 ton/$Km^2$.

Os resultados encontrados para o Nordeste em 1999 podem ser atribuídos ao transporte rodoviário e à geração de energia elétrica, especialmente por meio das termelétricas (Hilgemberg et al., 2006). A dependência das termelétricas movidas a combustíveis fósseis na região está diretamente ligada às suas características específicas, como a escassez hídrica, que torna esses sistemas uma das alternativas mais viáveis para a produção de energia (Lima et al., 2020).

Todavia, políticas públicas emergem como uma alternativa importante para a redução dessas emissões. Um exemplo disso é mencionado no estudo de Lima et al. (2020), que destaca a implementação de fontes de energia renovável no Nordeste, especificamente a energia eólica, contribuindo para a mitigação das emissões de $CO_2$.

No Sul do Brasil, observa-se uma redução geral das emissões de $CO_2$ na maior parte do território, com uma concentração notável na região costeira em 2022. De acordo com Hilgemberg et al. (2006), as emissões durante esse período eram predominantemente originadas dos meios de transporte, o que levou ao aumento da queima de combustíveis fósseis e, consequentemente, à elevação na concentração de gases na atmosfera.

No Sudeste, identifica-se um padrão similar ao observado no Sul, com uma redução das emissões nos municípios do oeste, enquanto na região costeira ocorre um aumento significativo. Esse fenômeno pode ser explicado pela intensificação das atividades de alto potencial poluente, que resulta da expansão urbana e do adensamento populacional (Costa, 2023).

Assim, os resultados da estatística descritiva proveniente de todos os municípios brasileiros, incluindo os valores mínimos, máximos, média e desvio padrão para o período de 1999 a 2022, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 01: Estatística descritiva das emissões de CO2, para os municípios brasileiros entre 1999 a 2022.

| Ano | Mínimo (ton/$Km^2$) | Máximo (ton/$Km^2$) | Média (ton/$Km^2$) | Desvio Padrão (ton/$Km^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1999 | 0,0556 | 157,3760 | 7,8272 | 18,8604 |
| 2000 | 0,0571 | 161,5204 | 8,0357 | 19,3582 |
| 2001 | 0,0262 | 152,4231 | 7,6260 | 18,3734 |
| 2002 | 0,0273 | 156,2823 | 7,9314 | 19,0497 |
| 2003 | 0,0278 | 158,4707 | 8,1119 | 19,4620 |
| 2004 | 0,0627 | 178,6213 | 8,9633 | 21,7440 |

Continua

Continuação

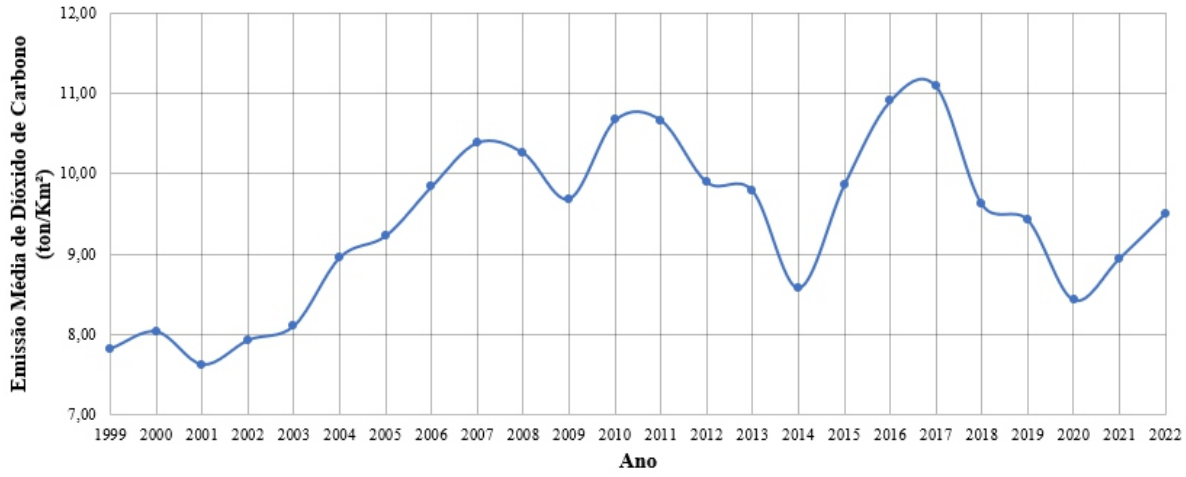
| Ano | Mínimo (ton/Km²) | Máximo (ton/Km²) | Média (ton/Km²) | Desvio Padrão (ton/Km²) |
|---|---|---|---|---|
| 2005 | 0,0299 | 185,9468 | 9,2301 | 22,5086 |
| 2006 | 0,0316 | 197,7787 | 9,8440 | 24,0240 |
| 2007 | 0,0336 | 211,2834 | 10,3905 | 25,5738 |
| 2008 | 0,0716 | 212,0715 | 10,2602 | 25,3754 |
| 2009 | 0,0346 | 199,5800 | 9,6911 | 23,9559 |
| 2010 | 0,0346 | 219,0376 | 10,6695 | 26,2464 |
| 2011 | 0,0344 | 218,3977 | 10,6669 | 26,2087 |
| 2012 | 0,0646 | 205,3478 | 9,8969 | 24,2477 |
| 2013 | 0,0320 | 200,3593 | 9,7868 | 23,8858 |
| 2014 | 0,0183 | 158,3380 | 8,5796 | 20,2837 |
| 2015 | 0,0571 | 193,5593 | 9,8609 | 24,2738 |
| 2016 | 0,0713 | 224,9947 | 10,9047 | 26,7846 |
| 2017 | 0,1611 | 223,4662 | 11,0909 | 25,8895 |
| 2018 | 0,0781 | 213,3044 | 9,6209 | 23,5856 |
| 2019 | 0,0764 | 208,6426 | 9,4271 | 23,0800 |
| 2020 | 0,0699 | 190,8255 | 8,4303 | 21,0195 |
| 2021 | 0,0739 | 201,9931 | 8,9436 | 22,2563 |
| 2022 | 0,0782 | 213,6643 | 9,5027 | 23,5583 |

A análise estatística descritiva das emissões de $CO_2$ provenientes da queima de combustíveis fósseis revelou valores mínimos de 0,0183 ton/Km$^2$ em 2014, no município de Jacundá – Pará (PA). Em contraste, os valores máximos foram de 224,9947 ton/Km$^2$ em 2016, no município de São Lourenço da Mata – Pernambuco (PE). Esses extremos indicam uma variação significativa nas emissões de $CO_2$ entre diferentes localidades e períodos.

Ressalta-se que resultados fornecem uma base para investigar as causas subjacentes dessas variações extremas, que podem estar relacionadas a fatores como diferenças na intensidade de uso de combustíveis fósseis, padrões de desenvolvimento urbano e industrialização regional.

Assim, a Tabela 1 apresenta algumas variações nos valores ao longo do período analisado. No entanto, a Figura 2 demonstra uma estimativa média nacional das emissões de $CO_2$ nos municípios brasileiros.

Figura 02: Emissão média nacional de CO2 entre 1999 a 2022.




Conforme exposto na Figura 2, é possível visualizar variações durante o período analisado, relacionadas à média municipal de emissões de $CO_2$. A fim de comparação, a sexta edição das Estimativas Anuais de Gases de Efeito Estufa no Brasil apresenta as estimativas anuais de emissões dos GEE no país, e para as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis os dois setores que se sobressaem são o da indústria de energia e o setor de transporte, que até o ano de 2014 apresentaram um crescimento e, posteriormente até 2020, uma retração. (BRASIL, 2022).

A Figura 2 revela vários pontos de interesse nas emissões de $CO_2$. Destacam-se a menor média registrada em 2001 e o pico máximo alcançado em 2017. Observa-se um crescimento contínuo das emissões entre 2001 e 2007, seguido por um aumento abrupto entre 2009 e 2010. Após esse pico, há uma queda acentuada até 2014. Em seguida, após o pico de 2017, as emissões diminuem até 2020, com um subsequente aumento até 2022.

A queda pontual nas emissões em 2009 pode ser atribuída à crise econômica global, que causou atrasos em contratos e redução na produção das principais indústrias de combustíveis fósseis no Brasil, resultando em uma diminuição das emissões de $CO_2$ (IEMA, 2016).

A acentuada queda nas emissões até 2014 reflete a recessão econômica, que provocou uma redução nas atividades industriais e no consumo de combustíveis fósseis no transporte rodoviário (BRASIL, 2022).

Em 2020, a redução observada nas emissões pode ser atribuída à pandemia de COVID-19, que resultou na paralisação de diversas atividades econômicas no Brasil e, consequentemente, na diminuição das emissões de $CO_2$, conforme evidenciado por Lobato et al. (2021). No entanto, com a retomada das atividades econômicas após o período pandêmico, as emissões de $CO_2$ começaram a aumentar novamente.

Outros fatores que podem explicar as quedas observadas na Figura 2 incluem a transformação na matriz elétrica brasileira, marcada pelo aumento da participação de

fontes renováveis de energia, como solar e eólica. Essa mudança tem contribuído para a redução da dependência das termelétricas movidas a combustíveis fósseis, resultando em uma diminuição das emissões de poluentes atmosféricos, especialmente de $CO_2$ (BRASIL, 2021).

Estudos como o de Raihan et al. (2022) evidenciam que o crescimento econômico, o uso intensivo de combustíveis fósseis e a urbanização são fatores que podem aumentar as emissões de $CO_2$ no Brasil. Em contraste, a adoção de energias renováveis e a implementação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade desempenham um papel crucial na mitigação dessas emissões.

Portanto, é crucial o desenvolvimento de diretrizes para a redução das emissões dos GEE, tanto através da promoção de energias renováveis quanto pela implementação de políticas climáticas, como os ODS. Embora essas iniciativas já tenham demonstrado efeitos positivos na redução das emissões, ainda há um longo caminho a percorrer para alcançar as metas estabelecidas para 2030 (Pacobello, 2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível destacar as regiões com maiores emissões de $CO_2$, especialmente no Nordeste, onde a queima de combustíveis fósseis em termelétricas contribui significativamente para as emissões. A análise estatística descritiva facilitou a correlação entre as emissões médias e eventos específicos ao longo do tempo, explicando as variações observadas. Contudo, deve-se considerar a heterogeneidade entre os municípios brasileiros, que pode levar a interpretações potencialmente superestimadas das emissões médias municipais.

A tendência pós-pandemia indica um aumento nas emissões de GEE, particularmente de $CO_2$, influenciado por fatores como o crescimento do PIB. Portanto, é imperativo adotar inovações, como a implementação de fontes de energia renováveis e políticas climáticas eficazes, para mitigar as emissões de $CO_2$ no Brasil.

Finalmente, recomenda-se que futuros estudos utilizem a metodologia aqui descrita para analisar outros GEE e realizem uma análise mais detalhada dos principais municípios brasileiros que contribuem significativamente para o aumento das emissões, permitindo uma compreensão aprofundada da dinâmica das mudanças climáticas associadas às emissões de GEE.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro fornecido, no qual se demonstrou essencial para a realização do presente estudo.

# REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, F. Aquecimento global, mudança climática global e seus impactos sobre a saúde humana. Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/aquecimento-global-mudan% C3% A7aclim% C3%A1tica-e-seus-impactos-sobre-fernando. 2021. Acesso em: 13 ago. 2024.

BERTOLO, A. J. et al. Combustíveis fósseis: panorama de produção e consumo no Brasil. Gestão e Desenvolvimento em Revista, v. 8, n. 1, p. 102-123, 2022. Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/gestaoedesenvolvimento/article/view/28215.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. -- Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. 620 p.: iL. Acesso em: 13 ago. de 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Coordenação Geral do Clima. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil 6ª ed. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2022. Acesso em: 13 ago. de 2024.

COSTA, L. M. Variabilidade espaço-temporal do CO2 atmosférico e sua relação com variáveis vegetativas e climáticas no sudeste brasileiro. 2023. Orientador Newton La Scala Jr. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado – Engenharia Agrnômica) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2023.

GAVIDIA-CALDERÓN, M. et al. Air quality modeling in the metropolitan area of São Paulo, Brazil: A review. Atmospheric Environment, p. 120301, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120301.

HILGEMBERG, E. M. et al. Uso de combustíveis e emissões de CO2 no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. Nova Economia, v. 16, n. 1, p. 49–99, jan. 2006.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Cidades. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br. Acesso em: 13 ago. 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. O que é o PIB. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php. Acesso em: 13 ago. de 2024.

IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente. Evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1970-2013): Setor de energia e processos industriais / Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). – São Paulo: Observatório do Clima, 2016. 64 p. Acesso em: 13 ago. de 2024

JANSSENS-MAENHOUT, G. et al. EDGAR v4. 3.2 Global Atlas of the three major greenhouse gas emissions for the period 1970–2012. Earth System Science Data, v. 11, n. 3, p. 959-1002, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.5194/essd-11-959-2019.

LIMA, M. A. et al. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. Environmental Development, v. 33, p. 100504, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504.

LOBATO, M. F. et al. Impacto da pandemia de COVID-19 nas emissões veiculares no Brasil no período de janeiro a maio de 2020. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 5, p. 829–836, set. 2021.

MACIEL, F. M. et al. Impact of emission control strategies on air quality: a case study in Piracicaba, São Paulo—Brazil. International Journal of Environmental Science and Technology, p. 1-12, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s13762-021-03441-9.

MAIA, R. G. T. et al. The importance of GHG emissions from land use change for biofuels in Brazil: An assessment for current and 2030 scenarios. Resources, Conservation and Recycling, v. 179, p. 106131, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106131.

MOREIRA, A. T. R. et al. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. Revista Educação em foco, v. 14, p. 22-27, 2022.

ONU, Organização Das Nações Unidas. Adoção do Acordo de Paris. 2015. Disponível em: https://nacoesunidas.org/wp-content/uplo-ads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf. Acesso em: 13 ago. 2024.

ONU, Organização Das Nações Unidas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Nações Unidas Brasil. 2022. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 13 ago. 2024.

PACOBELLO, D. R. Políticas de redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE): um estudo comparativo da contribuição nacionalmente determinada (iNDC) do Brasil, Alemanha, China, Estados Unidos, Namíbia e Portugal. Orientador: Samuel Carvalho de Benedicto. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Escola de Economia e Negócios, Pontificia Universidade Católica de Campinas, 2024.

RAIHAN, A. et al. Dynamic impacts of economic growth, energy use, urbanization, tourism, agricultural value-added, and forested area on carbon dioxide emissions in Brazil. J Environ Stud Sci 12, 794–814 (2022). Disponível em: https://doi.org/10.1007/s13412-022-00782-w.

RIGHI, E. et al. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. Ambiência Guarapuava (PR). v.12 n.1 p. 101-117 Jan./Abr. 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2016.01.06.

ROSSI, F. S. et al. Carbon dioxide spatial variability and dynamics for contrasting land uses in central Brazil agricultural frontier from remote sensing data. Journal of South American Earth Sciences, v. 116, p. 103809, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103809.

ZAPPAROLI, I. D. et al. Análise dos transbordamentos nas emissões de dióxido de carbono: Brasil, Rússia, Índia e China-BRIC. Revista Econômica do Nordeste, v. 49, n. 1, p. 149-164, 2018.

# ANÁLISE DE DADOS DE MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS: APLICAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E PREVENÇÃO DE DESASTRES

Poluição atmosférica

Nadiely Cristina Silva
Graduanda em Engenharia Ambiental, na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP)
n138929@dac.unicamp.br.

Jessica Camila Miranda Cardoso
Graduanda em Engenharia Ambiental, na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP)
j220414@dac.unicamp.br.

Karolyne Enir Serafim
Graduanda em Engenharia Ambiental, na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP)
k254005@dac.unicamp.br.

Jhonathan Lima de Souza
Doutorando em Geografia, no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
j234501@dac.unicamp.br.

Simone Andréa Pozza
Professora Associada na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP)
spozza@unicamp.br

## Resumo

Com exceção dos biomas adaptados ao fogo, os incêndios são prejudiciais tanto para fauna quanto para flora atingida por eles. Como malefício diretamente relacionado ao fogo pode ser citada a diminuição da biodiversidade e, indiretamente, a poluição dos corpos hídricos e do ar devido à geração de material particulado e gases poluentes. Visando o monitoramento e o controle dos incêndios, órgãos como a Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, IBAMA e INPE estão alimentando plataformas próprias com dados de ocorrência de incêndio. Assim, este estudo visou analisar os dados de monitoramento desses órgãos e demonstrar como os dados podem ser utilizados em ações de gestão de riscos e prevenção de desastres. Para isso, foram realizadas a análise de séries temporais de queimadas e o mapeamento de áreas afetadas, por meio do software ArcGIS, para o período de janeiro de 2020 a julho de 2024, para o município de Cordeirópolis – SP. Para isso, foram coletados dados de localização do foco, número de focos e causa do incêndio. Os resultados mostram que os dados atualmente coletados pelo Corpo de Bombeiro e pela Defesa civil do município podem ser um grande limitador no atendimento das políticas de enfrentamento das queimadas e gestão de riscos.

**Palavras-chave:** Impactos Ambientais, Queimadas, Corpo de Bombeiro, Defesa Civil, PNPDEC

## INTRODUÇÃO

As repercussões dos incêndios podem ser positivas e negativas, a depender do contexto (Berlink et al., 2021). Biomas como o Cerrado, Pampa e Pantanal brasileiro, que dependem do fogo, se beneficiam dele para manter a alta biodiversidade (Pivello et al., 2021). Contudo, esses incêndios só são benéficos quando ocorrem em frequências naturais, com fogos rápidos,

de baixa intensidade e cujo calor não atinge camadas mais profundas do solo (Pivello et al., 2021). A restrição do fogo nesses biomas é prejudicial tanto pela diminuição da fauna e flora local quanto por acumular combustível (grama e galhos secos) que pode culminar em queimadas severas e altamente danosas (Durigan, 2020).

Por outro lado, a presença de fogo em biomas não adaptados a ele pode ser catastrófica. Em biomas de mata Amazônia e de mata Atlântica, por exemplo, o fogo pode consumir a camada de serapilheira que protege o solo, matar mudas, árvores pequenas e árvores grandes de casca fina (Pivello et al., 2021). Ainda, o calor gerado pela queima pode danificar as raízes de algumas árvores levando-as a morte (Pivello et al., 2021). A morte de grandes quantidades de árvores numa mesma região e num mesmo período de tempo tem como consequência a abertura de clareiras favorecendo a secagem das florestas tornando-a mais suscetível a novos eventos de incêndio (Sansevero et al., 2020). Ademais,

os incêndios são fontes potenciais de poluição para os corpos hídricos contribuindo com o aumento da turbidez da água e com a disponibilidade de nutrientes, provenientes das cinzas ou dos sedimentos, carreados pela chuva, resultantes de processos erosivos relacionados ao consumo das vegetações ribeirinha pelo fogo (Gomes Isaza, 2022 ).

Além dos malefícios diretamente relacionados ao fogo, existem aqueles relacionados à fumaça proveniente da queima, que é composta predominantemente por materiais particulados de 2,5µm de diâmetro, conhecidos como $MP_{2,5}$. Esses materiais particulados não só diminuem a qualidade do ar como também estão relacionados a doenças pulmonares obstrutivas crônicas, infartos do miocárdio, paradas cardíacas, diminuição do peso de bebês ao nascer e a morte, em casos de exposições agudas (Hertelendy et al, 2024 ).

De acordo com o Registro de Ocorrência de Incêndio do IBAMA, as principais causas de incêndios no Brasil incluem a renovação de pastagem natural, vandalismo, renovação de pastagem plantada, limpeza de área para cultivo, caça, queima de lixo, reignição e fagulha transportada pelo vento (IBAMA, 2021). O período de maior incidência de focos de incêndio é de junho a outubro, com pico em agosto, durante o inverno brasileiro (INPE, 2024).

As principais leis brasileiras que regulam, controlam e restringem a prática das queimadas no país são o Novo Código Florestal (Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012), a Lei de Crimes Ambientais (Lei n° 9.605, de 12 fevereiro de 1998) e a Lei da Mata Atlântica (Lei n°11.428, de 22 de dezembro de 2006). O Novo Código Florestal prevê o uso do fogo, mediante prévia aprovação pelo órgão ambiental responsável, na vegetação, em práticas agropastoris ou florestais, quando as peculiaridades locais justificam a prática, em Unidades de Conservação, observando o plano de manejo, e em atividades de pesquisa científica. A Lei de Crimes Ambientais criminaliza, dentre outros, a destruição ou danos a florestas protegidas em formação, em estágio médio ou avançado de regeneração, bem como danos diretos ou indiretos a Unidades de Conservação. Ela também proíbe atos que impeçam ou dificultem a regeneração de florestas e de outras vegetações e a poluição em níveis danosos à saúde humana, à fauna ou à flora. A Lei da Mata Atlântica, por sua vez, protege as formações florestais e

ecossistemas associados ao Bioma Mata Atlântica, conforme as delimitações estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Por outro lado, áreas que já não possuem remanescente de vegetação nativa, mesmo que estejam dentro das delimitações do IBGE, não são reguladas por essa lei.

O monitoramento e controle de queimadas no Brasil são feitos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), pela Defesa Civil e pelos Corpo de Bombeiros. Uma das áreas de atuação do INPE é no monitoramento ambiental por meio de Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais. Essa tecnologia permite a detecção e o acompanhamento em tempo real dos focos de calor, disponibilizando dados para o controle e a gestão de incêndios (INPE, 2024).

A atuação do IBAMA ocorre por meio do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo), do Sistema Nacional de Informações sobre o Fogo (Sisfogo) e pelos Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI). O Prevfogo é um centro especializado dentro da estrutura do IBAMA que atua na prevenção e combate a incêndios florestais em todo o território nacional. Suas atividades incluem campanhas educativas, capacitação de rurais e brigadistas, além de monitoramento e pesquisa relacionados ao controle de incêndios (IBAMA, 2023). Além disso, o Prevfogo, por meio do Núcleo de Pesquisa e Monitoramento (NPM) e em colaboração com o Grupo de Queimadas do INPE, emite boletins de focos de calor nos biomas Cerrado e Amazônia (IBAMA, 2022). O Sisfogo é uma plataforma do IBAMA que centraliza informações sobre incêndios e queimadas através do ROI, que é utilizado para compilar o histórico de ocorrências de incêndios, que servem de subsídios para planejamento de ações de prevenção e combate de incêndios, além de auxiliar na elaboração de programas de manejo de fogo (IBAMA, 2016).

A Defesa Civil monitora e atua no combate a focos de incêndio tanto em escala nacional quando local através de algumas plataformas que são alimentadas pelos órgãos locais. O Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), por exemplo, é a plataforma do Sistema Nacional e Proteção e Defesa Civil (SEDEC) que pode ser utilizada em escala municipal para registros de desastres em geral, inclusive aqueles relacionados ao fogo. (BRASIL, 2024). Por fim, o Corpo de Bombeiros tem plataformas próprias, por estado, para o registro de focos de incêndio.

Diante dos inúmeros malefícios relacionados aos incêndios e das restrições relacionadas ao uso do fogo, este estudo teve como objetivos:

1) Analisar os métodos de mapeamento e monitoramento dos focos de incêndio empregados pelo INPE, IBAMA, Defesa Civil e Corpo de Bombeiros para o município de Cordeirópolis; e

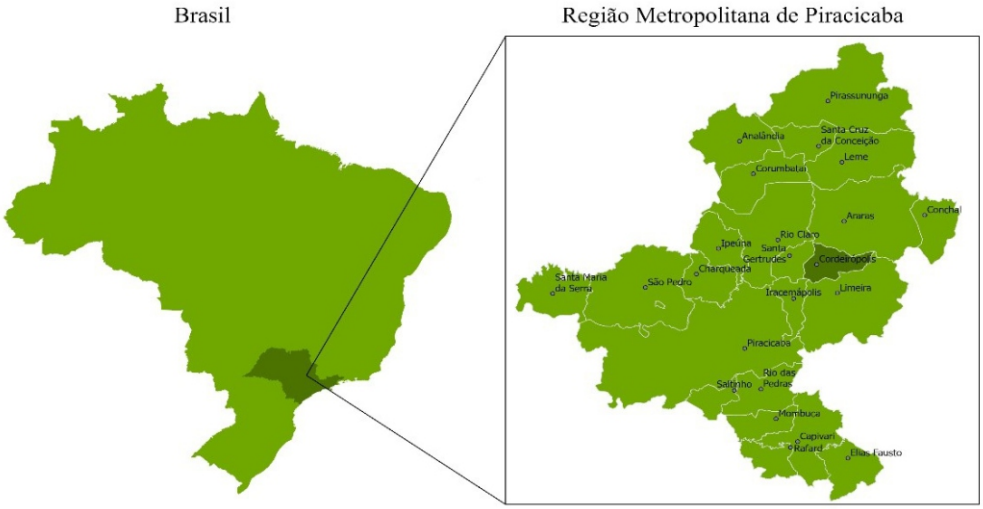
2) Demonstrar como os dados coletados podem ser integrados às ações de planejamento urbano pelas autoridades locais, com foco na gestão de riscos relacionados aos incêndios, prevenção de desastres ambientais, além de promover a educação e conscientização pública mais efetivas.

# METODOLOGIA

## Área de estudo

A área de estudo consiste no município de Cordeirópolis, que compõe a Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) (Figura 1), no estado de São Paulo. O município possui área total de 137,579km2, dos quais 22,624 km2 correspondem ao perímetro urbano (IBGE, 2022). Com uma população de 24.514 habitantes, apresenta uma densidade demográfica de 178,18 habitantes por km2.

Figura 1 - Região Metropolitana de Piracicaba. Fonte: Elaboração própria.




O clima de Cordeirópolis é classificado como subtropical úmido, com período de precipitação mais intenso entre o final da primavera e o verão, de novembro a março (KÖPPENBRASIL, 2024). A vegetação nativa do município é do bioma de Mata Atlântica (IBGE, 2022). Em termos de uso do solo, a cana-de-açúcar é a principal cultura agrícola, ocupando 87,58% da área destinada à produção em 2022. (IBGE, 2022)

## Coleta de dados

Foram coletados dados de ocorrência de incêndios do Corpo de Bombeiros e da Defesa Civil, para o corte temporal de janeiro de 2020 a dezembro de 2023. Os dados do Corpo de Bombeiros foram obtidos de registros da própria unidade e não incluem focos de incêndios domiciliares, comerciais ou prediais. Os dados da Defesa Civil foram obtidos através do Sistema Integrado de Defesa Civil (SIDEC) e incluem ocorrências atendidas para fogo em mato, reciclados e Áreas de Preservação Permanente (A.P.P.).

Os Registros de Ocorrência de Incêndio, utilizados para análise das principais causas de ocorrência de fogo, foram coletados no Sisfogo e são referentes aos registros do ano de 2019.

Os Shapefile com os focos de calor utilizados foram extraídos do banco dados disponível no BDqueimadas, disponibilizados pelo INPE. Assim como indicado pelo próprio site, foram utilizados os dados de todos os satélites, uma vez que, era importante detectar qualquer presença de fogo. Os focos de calor são obtidos através de um conjunto de imagens capturadas por telescópios óticos, dentro da faixa do infravermelha (0,75 a 1000 μm), que permitem a detecção de anomalias de temperatura associadas aos focos de incêndio (INPE, 2024). Foram utilizados dados de janeiro de 2020 a junho de 2024. Os dados do mês de setembro de 2022 foram retirados do conjunto por apresentar um comportamento atípico relacionado à um evento de incêndio em uma empresa local.

### Análise

Para elaboração do mapa de calor, foi utilizado o software ArcGIS, com os Shapefile fornecidos pelo banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e com os dados de focos de calor do INPE. O método empregado foi a densidade de Kernel, um método estatístico aplicado para auxiliar na identificação de padrões de distribuição dos dados analisados (Silverman, 1986). E a divisão das classe empregada no software foi quartil.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Defesa Civil de Cordeirópolis registra mensalmente as ocorrências de incêndio, sem discriminar a hora, dia, local (coordenadas geográficas), tipo (em remanescente florestal, pastagem, etc) ou gravidade do evento. Desde 2021, esses registros são inseridos no Sistema Integrado da Defesa Civil (SIDEC), uma plataforma municipal. As ocorrências atendidas incluem incêndios em Área de Preservação Permanente, pastagens ou em materiais recicláveis. Além do SIDEC, Cordeirópolis é registrada no Sistema Integrado de Informações sobre Desastre (S2iD). A plataforma permite o registro dos desastres ocorridos informando a localização, o tipo de desastre através da Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) e outras informações, no entanto, ainda não há registros do município (BRASIL, 2024).

Assim como a Defesa Civil, o Corpo de Bombeiros registra apenas o número de ocorrência de incêndio notificados a cada mês. Ainda, nos casos em que o Corpo de Bombeiros atua em conjunto com a Defesa Civil, são realizados registros independentes por ambas as instituições, resultando na duplicidade dos dados para um mesmo incidente.

Os dados de focos de incêndios coletados pelo INPE incluem informações como localização geográfica, data, hora e o bioma onde a ocorrência foi registrada. Como limitações das coletas podem ser destacadas a dimensão mínima da queimada necessária para que o satélite possa detectá-la e a relação indireta entre número de focos registrados e os focos reais existentes. Enquanto os satélites NPP-SUOMI e NOAA-20 conseguem detectar focos de queimadas com alguns metros quadrados, os satélites em órbita polar, como os NOAAs TERRA e AQUA, só detectam focos com dimensões iguais ou superiores a 30m de extensão e 1m de largura. Já os satélites geoestacionários, como os GOESs, só detectam focos com ao menos 60m de extensão.

Além disso, cada foco registrado representa a existência de fogo em um pixel, ou seja, caso haja vários pontos de queimada em um mesmo pixel, todos estes pontos serão registrados como um único foco. Por outro lado, em casos de queimadas de grande extensão, o satélite registra vários focos, de acordo com a quantidade de pixels que registraram o foco. Tais limitações frequentemente resultam em um número de registros do INPE inferiores aos da Defesa Civil ou do Corpo de Bombeiros (INPE, 2024).

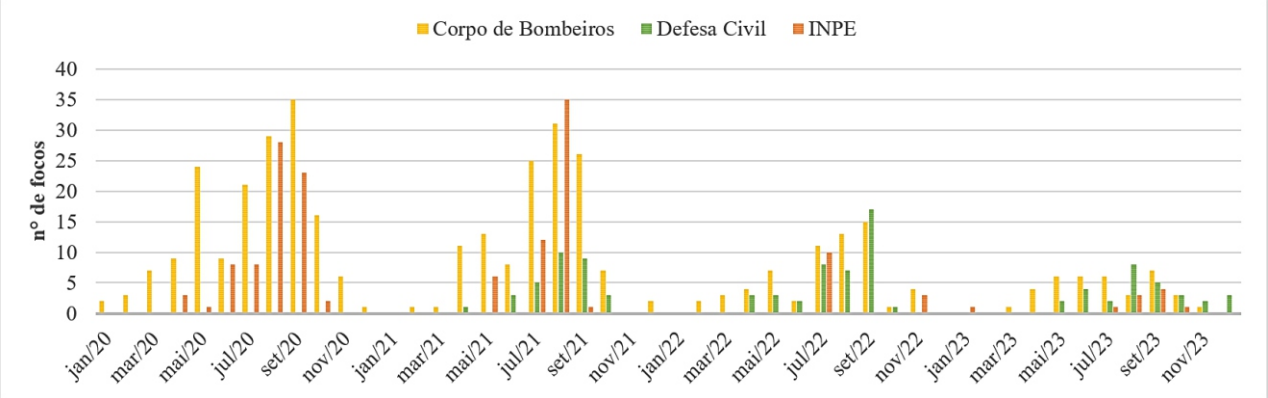
Os dados atualmente coletados pela Defesa Civil e pelo Corpo de Bombeiros permitem o monitoramento das variações no número de casos de incêndio ao longo dos meses e anos (Figura 2). Embora seja notável a redução de ocorrências nos anos de 2022 e 2023, o que é um indicativo da redução de focos de queimadas no decorrer dos anos, esses dados são insuficientes para avaliar a gravidade das queimadas nesses anos. Isso porque, cada incêndio, seja ele de grande ou pequena extensão, será contabilizado como um único foco. Em outras palavras, o registro de um foco pode representar um incêndio em uma área de 10m2 ou de uma APP de 200m2 inteira.

Para uma análise robusta da situação das queimadas, é necessário dispor de registros padronizados que incluam a localização georreferenciada, a dimensão da área atingida, a provável causa, a vegetação atingida (APP, pasto, etc), entre outros aspectos. Com a identificação das fontes dos problemas e onde eles são agravados é possível elaborar um mapa de risco apontando os locais que precisam receber maior atenção bem como o tipo de atuação que será mais eficaz para resolução dos problemas. Medidas como implantar pontos de observação ou estabelecer rondas em regiões e em períodos do ano historicamente mais críticos, por exemplo, com a função de acionar os órgãos locais em caso de ocorrência de incêndio, podem contribuir com o controle dos focos quando eles estão começando e são mais facilmente apagados.

Esta medida, inclusive, já é utilizada pelo IBAMA em algumas regiões e, segundo dados do ROI, 92% das detecções de incêndios nestas regiões ocorrem desta forma (IBAMA, 2021). Além disso, o mapa de risco viabiliza a implementação de ações de educação ambiental e conscientização pública, medidas indispensáveis para a prevenção de novos incidentes. Atuar localmente e de forma direcionada frente aos problemas de incêndios, garante não só o cumprimento das regulamentações relacionadas às queimadas, mas também facilita a implementação de ações de prevenção, mitigação e preparação para futuros desastres alinhadas às diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC).

Embora a detecção via satélite de muitos focos de incêndio seja possível, aqueles que não atingem grandes temperaturas, não se estendem por longas áreas ou tem curta duração, podem não ser detectados, mesmo com potencial de impacto em escala local.

Figura 2 - Focos de Incêndio registrados em Cordeirópolis de 2020 a 2023.

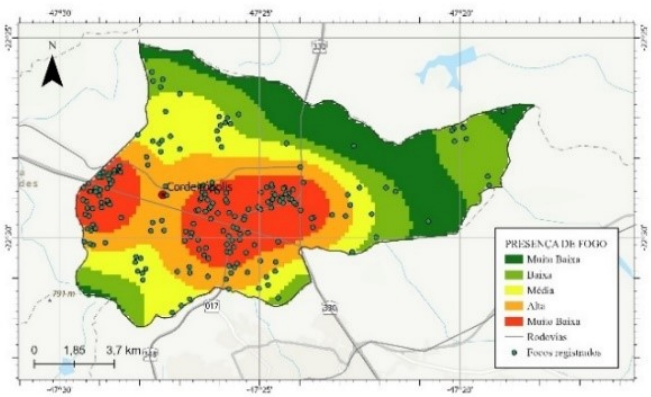



Fonte: Elaboração própria.

Esses focos, quando recorrentes, representam um problema ambiental, devendo, portanto, ser incluídos em um mapa de risco de incêndio. Contudo, em mapas de calor gerados com dados do INPE, para identificação das áreas de risco, esses locais de reincidência de pequenos focos podem não aparecer ou ser pouco notáveis.

A Figura 3 é um mapa de calor do município de Cordeirópolis gerada através do ArcGIS com os dados dos anos de 2019 a 2024. Para identificação dos padrões de distribuição dos focos foi empregado o método da densidade de Kernel e a divisão das classes empregada foi quartil (Silverman, 1986). Apenas os dados do mês de setembro de 2022 foram removidos devido à ocorrência de um incêndio de grande porte no polo da empresa S.S.B. Energia Renovável de Cordeirópolis que durou alguns dias e os satélites registraram 161 focos de incêndio no local do incidente, o que alterou consideravelmente as características do mapa (Claro, 2022). A Figura 4 é uma captura feita pelo Google Earth com as delimitações do município objetivando explicitar tanto a área urbana do município quanto as áreas atualmente cobertas por vegetação.

Figura 3 - Focos de calor em Cordeirópolis entre 2019 e 2024.




Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 – Localização do município de Cordeirópolis – SP.

Fonte: Google Earth (2024).

A maior concentração de focos, identificadas em vermelho, detectadas via satélite, coincidem com a presença de rodovias e ocorrem em áreas de pastagem (Figura 4), o que pode estar relacionado à fatores como a alta atividade humana. Apesar de as causas recorrentes de incêndios serem devido à renovação de pastagens, limpeza de áreas para cultivos, e etc, o início do fogo em rodovias pode ser agravado pelo lançamento de bitucas de cigarro. Pesquisas mostram que bitucas são capazes de incendiar o feno um terço das vezes que a ponta entra em contato com ele e que velocidades de vento mais elevadas e baixa umidade são agravantes, o que vai ao encontro do aumento dos focos nos meses mais secos do ano (Andrade et al, 2009).

Em suma, os dados coletados pelo INPE podem ser utilizados na ausência de dados mais precisos e são essenciais para compreensão de parte da dinâmica dos incêndios que ocorrem no município, principalmente aqueles que ocorrem em áreas mais remotas. Contudo, as limitações inerentes ao monitoramento via satélite somada às vantagens relacionadas a coleta de dados mais completos e precisos, frente ao enfrentamento das queimadas, reforçam a importância de registros de ocorrência de incêndio com maiores detalhamentos de dados pelos órgãos locais.

## CONCLUSÕES

A análise dos dados de ocorrência de incêndio para o município de Cordeirópolis expôs significativas limitações no monitoramento e registros dos focos. Embora com os dados do INPE, da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros seja possível ter uma visão geral da dinâmica dos incêndios, as limitações dos satélites e as lacunas de registros dos órgãos locais comprometem a capacidade de resposta eficaz frente ao enfrentamento das queimadas. Portanto, é indispensável que os registros de incêndios sejam aprimorados, e que sejam coletadas ao menos as informações da dimensão dos focos, as coordenadas da ocorrência e tipo de vegetação afetada. Todavia, com os dados atuais, já é possível implementar ações de resposta rápida aos incêndios, como a implantação de pontos de observação ou a realização de rondas nos locais mais suscetíveis. Desta forma, tantos as Leis ambientais quando a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil podem ser atendidas de forma eficaz.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos ao Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPEX) da Unicamp por financiar a nossa participação no Congresso e à Prefeitura de Cordeirópolis (SP) por disponibilizar os dados municipais necessários para realização deste artigo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. F. S.; ARAÚJO, S. B.; VELLOSO, S. L. PODEM AS BITUCAS DE CIGARRO INICIAR INCÊNDIOS NA BEIRA DA RODOVIA RIO-SANTOS (BR-101), REGIÃO DE PARATY? Revista Educação Ambiental BE-597, v. 2, 2009. Disponível em: https://www2.ib.unicamp.br/profs/eco_aplicada/revistas/be597_vol2_10.pdf. Acesso em: 2 ago. 2024.

BERLINK, C. N., BATISTA, E. K. L., Good fire, bad fire: It depends on who burns. Flora, v. 268, p. 151610, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151610. Acesso em: 9 ago. 2024.

BRASIL. Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 3, Brasília, DF: Presidência da República, [2012]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm?itid=lk_inline_enhanced-template. Acesso em 5 ago. 2024.

BRASIL. Lei n° 9.605, de 12 fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 2 e 3, Brasília, DF: Presidência da República, [1998]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm .Acesso em 5 ago. 2024.

BRASIL. Lei n°11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF: Presidência da República, [2006]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em 5 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD). Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/sistema-integrado-de-informacoes-sobre-desastres. Acesso em: 20 ago. 2024.

CLARO, L. Incêndio de grandes proporções é registrado em empresa na Limeira-Cordeirópolis. Rápido no ar, 10 set. 2022. Disponível em: https://rapidonoar.com.br/incendio-de-grandes-proporcoes-e-registrado-em-empresa-na-limeira-cordeiropolis/. Acesso em: 12 jul. 2024.

DURUGAN, G. Zero-fire: Not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. Flora, v. 268, p. 151612, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151612. Acesso em: 16 mai. 2024.

ISAZA, D. F. G.; CRAMP, R. L.; FRANKLIN, C. E. Fire and rain: A systematic review of the impacts of wildfire and associated runoff on aquatic fauna. Global Change Biology, v. 28, n. 8, p. 2578-2595, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gcb.16088. Acesso em: 16 mai. 2024.

HERTELENDY, A. J. et al. Seasons of smoke and fire: preparing health systems for improved performance before, during, and after wildfires. The Lancet Planetary Health, v. 8, n. 8, p. e588-e602, 1 ago. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00144-X. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo). 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/incendios-florestais/prevfogo. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Monitoramento de focos de queimadas em imagens de satélites. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/consultas/incendios-florestais/monitoramento-de-focos-de-queimadas-em-imagens-de-satelites. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Registro de Ocorrência de Incêndios (ROI). 2024. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/noticias/132-fiscalizacao-e-protecao/incendios-florestais/795-registro-de-ocorrencia-de-incendios-roi. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Registro de Ocorrências de Incêndio verificadas pelas brigadas Prevfogo. 2024. Disponível em: https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/sisfogo-roi/resource/c2ac514d-3701-4255-9b47-fcbb042fb9b2. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Sisfogo – ROI. 2019. Disponível em: https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/sisfogo-roi. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/cordeiropolis.html. Acesso em: 20 ago. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado. Acesso em 20 ago. 2024.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento dos Focos Ativos por Estado. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/. Acesso em: 20 ago. 2024.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Programa de Queimadas. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/. Acesso em: 20 ago. 2024.

KÖPPENBRASIL. Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros. Disponível em: https://koppenbrasil.github.io/. Acesso em: 20 ago. 2024.

PIVELLO, V. R. et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. Perspectives in Ecology and Conservation, v. 19, n. 3, p. 233-255, 1 jul. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005. Acesso em: 12 jun. 2024.

SANSEVERO, J. B. B. et al. Fire drives abandoned pastures to a savanna-like state in the Brazilian Atlantic Forest. Perspectives in Ecology and Conservation, v. 18, n. 1, p. 31-36, jan. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.12.004. Acesso em: 21 ago. 2024.

SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. Routlege, New York, p.167. 1998. Disponível em: https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March02/Silverman/paper.pdf. Acesso em: 21 jul. 2024.

# ANÁLISE DA ESCASSEZ HÍDRICA DO MUNICÍPIO DE CORDEIRÓPOLIS (SP) DEVIDO A FATORES SOCIOAMBIENTAIS: MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

Mudanças climáticas

Karolyne Enir Serafim
Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Faculdade de Tecnologia (FT)
k254005@dac.unicamp.br

Nadiely Cristina Silva
Graduanda em Engenharia Ambiental, Unicamp, Faculdade de Tecnologia (FT)
n138929@dac.unicamp.br

Jessica Cardoso
Graduanda em Engenharia Ambiental, Unicamp, Faculdade de Tecnologia (FT)
j220414@dac.unicamp.br

Jhonathan Lima de Souza
Doutorando em Geografia, no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
j234501@dac.unicamp.br.

Murilo Cesar Lucas
Prof. Dr. Murilo Cesar Lucas, Unicamp, Faculdade de Tecnologia (FT)
mlucas@unicamp.br

Simone Andréa Pozza
Professora Associada na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia (FT)
spozza@unicamp.br

## Resumo

As mudanças climáticas têm desencadeado eventos climáticos extremos globalmente. No Brasil, por exemplo, um recente estudo mostrou que as mudanças climáticas poderão aumentar em 100% a frequência e em 10% a intensidade de chuvas extremas. Por isso, são esperados mais eventos de alagamentos, inundações ou movimentos de massa em encostas em áreas urbanas. Por outro lado, alguns municípios do interior do Estado de São Paulo têm enfrentado secas prolongadas ou severas, sendo Cordeirópolis um deles. Estas secas diminuem a segurança hídrica para o abastecimento público de água potável no município. Neste estudo, o objetivo é apresentar práticas que poderiam ser adotadas no Plano de Ação Climática de Cordeirópolis frente às secas e ao desabastecimento público. Concluímos que medidas como a coleta da água da chuva, reciclagem da água cinza e expansão do saneamento rural sustentável podem amenizar a escassez hídrica e melhorar a eficiência hídrica do município.

**Palavras-chave:** Cidades resilientes; Preparação Climática; Segurança hídrica-alimentar-energética.

## INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, atividades humanas, como a agropecuária, o desmatamento ilegal de madeira e a queima de combustíveis fósseis geram o aumento nas concentrações de $CO_2$ atmosférico (Matos, 2010). Desta forma, o aumento destes gases na atmosfera intensifica o efeito de estufa no planeta, o que acarreta o aumento da temperatura média da Terra e o surgimento de eventos climáticos extremos, como secas intensas, tempestades avassaladoras e alagamento de cidades, além do descongelamento de geleiras, que impactam no aumento do nível do mar (Luo et al., 2018).

Além disso, devido à contribuição da expansão populacional mundial e ao aumento das taxas de crescimento econômico, surge uma pressão sobre os recursos naturais do meio ambiente e aos sistemas ecológicos coexistentes na Terra (Martine e Alves, 2015). Assim, a água, sendo o principal recurso básico necessário para existência dos processos humanos na sociedade, é primordialmente afetada (Ussami e Guilhoto, 2018).

De acordo com Luo, et al. (2018), a escassez hídrica e as secas aumentam com a mesma intensidade e frequência das alterações climáticas, e também, com o crescimento populacional. Além disso, estes autores citam que existe a possibilidade de as mudanças climáticas diminuírem as taxas de evapotranspiração e por consequência, contribuir para geração de secas. Nesse contexto, a estimativa para a região do nordeste do Brasil é que as secas se intensifiquem por conta da redução de precipitações causadas pelas mudanças climáticas, assim como no Centro-Oeste e no Sudeste que continuam em instabilidade hídrica devido à diminuição da evapotranspiração, causada pelo desmatamento na Amazônia (Luo, et al., 2018). Ademais, fatores como El Ninõ e ventos alísios alteram a dinâmica climática de diferentes regiões do Brasil (Martins 2022).

O El Ninõ impacta principalmente o Norte e Nordeste do Brasil, sendo um contribuinte das secas nesta região do país, devido a dinâmica de alteração de temperatura das águas do Oceano Pacífico Equatorial, que interfere na temperatura e precipitação (Nascimento, 2023). Assim como a interação dos ventos alísios do Sudeste com as águas aquecidas do oceano, que retratam em uma massa de ar, quando esta interage com a superfície continental produz um tempo seco no Nordeste do Brasil (Wanderley, 2022).

Dessa forma, a maioria das regiões brasileiras experimentaram, nos últimos 60 anos, as secas mais severas das últimas décadas, esses períodos de falta de precipitação resultaram em indisponibilidade hídrica para consumo humano e geração de energia hidrelétrica (Geirinhas et al., 2021). Segundo projeções climáticas, esses eventos tendem a se tornar cada vez mais frequentes e intensos. Como exemplo, a redução do nível de vazões na bacia do rio São Francisco e o aumento de demanda de múltiplos usos econômicos nesta bacia, esses fatores impactam diretamente na capacidade de geração de energia do Complexo Paulo Afonso, limitando sua operação para geração de energia (CBHSF, 2004). Por consequência, importantes atividades econômicas para o PIB brasileiro, como a produção de energia por hidrelétrica, entram em competição pelo recurso natural com demais setores, o que resulta no agravamento à escassez hídrica e na exposição ao perigo do abastecimento público.

Da mesma forma, o Sudeste brasileiro, desde 2013, enfrenta crises hídricas decorrentes do prolongamento da estação de seca. No município de Cordeirópolis (SP), por exemplo, a situação é crítica, visto que há uma projeção de 50% a 100% de chance de indisponibilidade hídrica nos próximos 15 anos na cidade (Stanfoca et al., 2021). Como agravamento da situação, o Instituto Agronômico (IA) evidenciou uma tendência de redução de precipitação no município, visto que nos períodos de 2018, 2019 e 2020 a média anual de chuva foi de 1.212 mm, enquanto em 1961 a 1990 foi de 1.366 mm (Instituto Agronômico, 2021). Em razão de, historicamente, Cordeirópolis ser um dos mais importantes produtores de cana-de-açúcar, soja e espécies frutíferas do país, a indisponibilidade hídrica é preocupante

Cordeirópolis (SP) está situado em grande parte sob a sub-bacia do Ribeirão Tatu, afluente do Rio Piracicaba que, assim como as bacias do Capivari e Jundiaí, tiveram redução em 4% da disponibilidade hídrica entre 2014 e 2018, segundo o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ, 2020). Além disso, a classificação climática do município inclui verões quentes e úmidos e invernos secos, com temperatura média anual de 21ºC e período de seca agrícola entre maio e setembro.

De acordo com Moura (2015) a seca no interior do estado de São Paulo, que afetou em torno de 6 milhões de pessoas em 2014, ano considerado como o mais seco enfrentado pelo estado, causou um déficit de 50 bilhões de litros de água no sistema Cantareira. Devido à urgência hídrica, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) realizou um rodízio de água de abril até agosto, daquele ano, entre os bairros do município, onde a população ficou das 06h até às 18h sem água (Villela, 2015). Assim, em 2015, o SAAE notificou a seca de suas duas represas, a do Cascalho e Santa Maria, e como alternativa utilizaram uma cava de argila para captação de água para abastecimento público (Soares, 2015). Desta forma, é de interesse científico e governamental a busca por alternativas adaptativas e mitigadoras sobre os efeitos das mudanças climáticas. Portanto, o objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico de escassez hídrica no município de Cordeirópolis (SP).

# METODOLOGIA

As secas ocorridas em regiões do Sudeste brasileiro, desde 2013, ocasionaram desabastecimento hídrico de diferentes cidades. Por esta razão, este estudo buscou realizar um diagnóstico de escassez hídrica no município de Cordeirópolis. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos, por meio de parâmetros que evidenciam a crise hídrica e o desabastecimento hídrico em Cordeirópolis, como percentuais de dias prolongados sem chuva na região e a relação deste fator com o nível de água em reservatórios que são utilizados para captação de água no município. Os dados foram sistematizados da seguinte forma: (i) Saneamento básico do município; (ii) Desabastecimento hídrico da região e (iv) Fatores socioambientais afetados.

## Saneamento básico do Município de Cordeirópolis

Cordeirópolis é um município brasileiro do estado de São Paulo que faz parte da Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) e está situado na região da sub-bacia do Rio Piracicaba, que contém 24.514 mil habitantes, de acordo com o IBGE (2023). Sua prestadora de serviço de saneamento é o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Cordeirópolis (SAAE). De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Cordeirópolis (2015), a Secretaria de Saúde e o SAAE trabalham em conjunto para os serviços de abastecimento de água e esgoto. Conforme o relatório, o município possui 90% de distribuição de água tratada para população e o sistema de abastecimento contém duas captações municipais, a da represa do Cascalho e da Represa Santa

Marina. O relatório afirma que uma das principais deficiências do Plano Diretor de Perdas é devido à baixa pressão nas regiões mais baixas do município, prejudicando a distribuição de água e ocasionando em desabastecimento público.

Segundo Moratori (2020), em 2018 o município possuía um índice de abrangência de abastecimento de 100% e índice de perdas no abastecimento de 35,81%. O autor destaca que a gestão

de saneamento do município é considerada regular, pois atende satisfatoriamente aos critérios de abrangência no abastecimento de água, perdas no sistema, tarifa média e cobertura total de esgoto. No entanto, o critério referente ao tratamento de esgoto apresenta uma defasagem em relação aos demais. Além disso, o estudo destaca a necessidade urgente de investimento em tratamento de esgoto, pois além de afetar o meio ambiente impacta na qualidade de água dos municípios a jusante, tais como Limeira e Piracicaba.

## Desabastecimento hídrico no município de Cordeirópolis

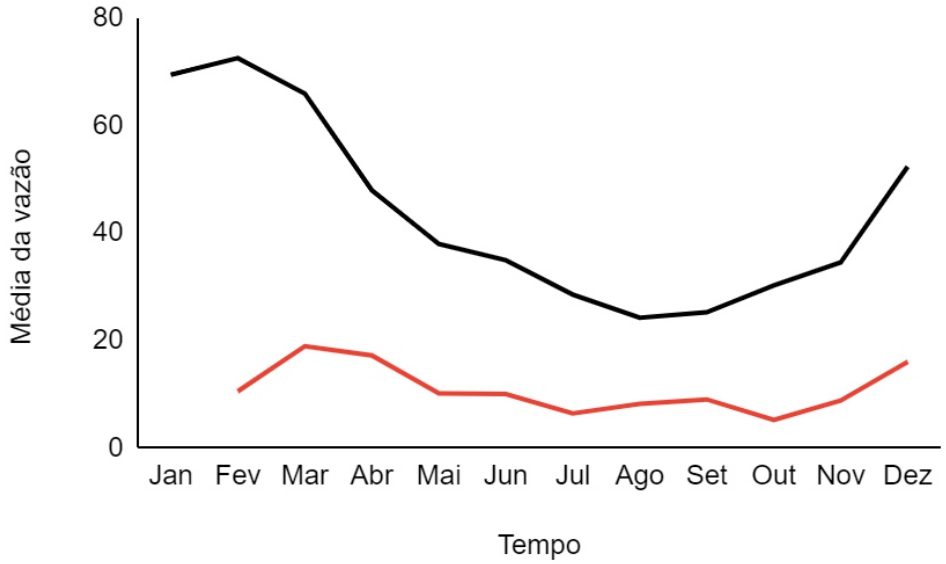
A escassez da água é representada pela seca e estiagem, ambas caracterizam os baixos índices pluviométricos e manejo inadequado das bacias hidrográficas. Dessa forma, a seca é um fenômeno climático decorrente da insuficiência de precipitação pluviométrica, enquanto a estiagem é um período de baixa pluviosidade, em que a perda de umidade do solo é maior do que a sua recarga (Grigoletto et al., 2016). De modo que, estas refletem nas reservas hidrológicas locais, ampliando os danos à sociedade, caso sejam prolongadas, interrompe o sistema hidrológico, ocasionando impactos ecológicos, sociais, econômicos e culturais, como exemplo, a região Sudeste do Brasil apresenta 35% de ocorrência de estiagem e seca total do país, devido aos efeitos das mudanças climáticas, variabilidade longitudinal e de relevo (Carmo et al., 2014).

Um caso ocorrido em 2014, no Sistema Cantareira, demonstra este evento climático, pois, este sistema que perpassa as bacias do Rio Piracicaba, enfrentou uma condição anormal no cenário hídrico. Como comparativo ao período de seca e estiagem, foi levantado uma média histórica de 1930 a 2015 da Campanha de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que demonstrou médias de volumes mensais, com uma queda acentuada principalmente em agosto e setembro, em torno de 30 $m^3$ $s^{-1}$, sendo a máxima do sistema 75 $m^3$ $s^{-1}$, em fevereiro. Contudo, os valores representativos para o ano de 2014 obtiveram máxima de 20 $m^3$ $s^{-1}$, em março, e mínima de 5 $m^3$ $s^{-1}$, em outubro, vazões com baixa relevância para o abastecimento hídrico (Figura 1).

Além de que, em 2014, as captações das bacias PCJ somavam 36,92 $m^3$ $s^{-1}$, o que correspondia a 97% da disponibilidade hídrica. Já em 2020, a previsão de captação foi de 39,52 $m^3$ $s^{-1}$, excedendo a disponibilidade de 37,98 $m^3$ $s^{-1}$. Isso demonstra que a demanda de água era maior do que a quantidade disponível, evidenciando um desequilíbrio entre oferta e demanda hídrica. E ainda, o município apresentava índices percentuais de perda de abastecimento, que somado à falta de água para captação resulta em um cenário alarmante (CBH-PCJ, 2008). Por fim, Cordeirópolis

possui um extenso histórico de escassez de água. Em 2014 e 2015 o município precisou adotar o sistema de rodízio de água aos moradores devido à falta de água, visto que a represa Cascalho ficou aproximadamente 4 m abaixo do limite do reservatório e a prefeitura adotou o racionamento diário de 12 horas (Villela, 2015). Além disso, de acordo com o Instituto Água e Saneamento, Cordeirópolis possui 2.557 habitantes sem água potável, o que compõe aproximadamente 10% do total de habitantes do município em condição de vulnerabilidade social de desabastecimento público.

Figura 1. Média mensal da vazão de água ($m^3\ s^{-1}$) armazenado no Sistema Cantareira de 1930 a 2015 (linha preta), com vazão mínima ($m^3\ s^{-1}$) em 2014 (linha vermelha).




Fonte: Autoria própria com base em SABESP (2015)

Segundo Gonçalves et al. (2021), o índice climático de Dias Secos Consecutivo no Ano (CDD), obtido a partir dos dados de precipitação, indica a quantidade de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 milímetro. A média anual do CDD, entre 1961 e 2005, na região Macrometrópole Paulista (MMP) foi de 20,6, enquanto a projeção para 2038 e 2042 é de 22,7. Além disso, o autor apresenta ainda que toda região MMP possui uma sequência maior de dias secos na projeção de 2023 a 2027, se comparado ao período de referência de 2013 a 2017, com aumento de 26 a 35 dias nos casos mais sensíveis, como Cordeirópolis. Essa projeção é crítica devido ao cenário de estiagem se estender por mais de um mês.

Gonçalves et al. (2021) apontaram ainda que Cordeirópolis está entre os municípios críticos, em relação a alteração do uso e cobertura do solo, produção de serviços ecossistêmicos e abastecimento público, pois apresenta saldo negativo (-0,5%) de área natural convertida e baixa garantia hídrica. De acordo com o Atlas de Abastecimento Urbano (2020) para a região RMP, 58% dos municípios necessitaram de investimentos devido à baixa garantia hídrica, do qual Cordeirópolis se inclui.

### Fatores socioambientais afetados

Mendonça (2001) define o termo socioambiental como o envolvimento da sociedade, enquanto sujeito, parte fundamental dos processos relativos à problemática ambiental moderna. Esta terminologia deve emendar as problemáticas das situações conflituosas, proveniente da interação entre sociedade e natureza, que explicitem a degradação de uma ou ambas. Os eventos extremos das mudanças climáticas potencializam doenças que são sensíveis ao clima. A seca, por exemplo, afeta a saúde humana de maneira indireta, devido ao impacto na quantidade e qualidade de água potável, sobretudo em populações de risco, como crianças, idosos, pessoas que dependem de poços, entre outros (Carmo, et al. 2014).

Dessa maneira, os impactos das mudanças climáticas afetam diretamente os fatores socioambientais. Como demonstrado pelo Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPAD) (2012), entre o período de 1991 e 2010 a estiagem e seca foi o desastre que mais afetou a população, com um índice de 50,34%, os danos humanos causados à população, como óbitos, afetaram em torno de 195.000 pessoas entre 1991 e 2010 no estado de São Paulo. Portanto, observa-se a crescente urgência em debater os eventos climáticos e encontrar soluções para os impactos dessas alterações, como seca e estiagem. Esses fenômenos resultam na escassez de água em mananciais, agravando o desabastecimento público. Além disso, como evidenciado pelo CEPAD, esses incidentes climáticos podem interagir com a sociedade de forma grave, ocasionando até mesmo óbitos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levando em consideração a urgência de abastecimento hídrico em Cordeirópolis (SP) e a projeção de escassez hídrica no município para os próximos anos, esta seção tem como objetivo discutir soluções viáveis e aplicáveis em um Plano Local de Ação Climática para contornar as problemáticas de desabastecimento público da região.

### Plano de Ação Climática de Cordeirópolis

Um Plano Local de Ação Climática (PLAC) tem como objetivo a elaboração de ações com novas perspectivas em âmbito social, ambiental e econômico, este aponta as principais medidas mitigadoras e adaptativas aplicáveis ao município, trazendo conceitos de justiça climática e resiliência. O plano é elaborado a partir de um diagnóstico inicial denominado Inventário de Gases de Efeito Estufa

(IGEE), que identifica os principais setores contribuintes à emissão de GEE e seus impactos ao fortalecimento das mudanças climáticas. Estudos com estratégias mitigadoras e adaptativas são soluções promissoras em questões voltadas às mudanças climáticas, pois representam um desenho político climático social viável economicamente. Desta forma, as medidas de mitigação e adaptação reduzem a vulnerabilidade social e enfrentam os eventos climáticos extremos, respectivamente (Ventura et al., 2019).

## Medidas Mitigadoras à seca

As secas são fenômenos climáticos naturais passíveis de previsão. De acordo com Silva (2010), não há como combatê-las, mas existem medidas para possibilidade de convivência com o fenômeno. Para isso é necessário a adoção de um plano de ações que viabilizem o desenvolvimento social e econômico junto ao uso sustentável dos recursos naturais.

A adoção de medidas mitigadoras pode contribuir para Cordeirópolis conviver com este efeito climático e ter diminuição de impactos, através de programas como o monitoramento de secas e sua proporção; fortalecimento da comunicação e do fluxo de informação sobre a seca; programas de reestruturação para as famílias atingidas; treinamento de técnicos para formação de equipes para atender a demanda da área e adoção da convenção para combate à desertificação no países que sofrem

com de seca ou desertificação, conforme o âmbito da agenda 21 (Gama et al., 2013). Além disso, Andrade e Grzebieluckas (2021) definem que a arborização é uma ação mitigadora aos efeitos de escassez hídrica, pois atua na conservação das águas. Portanto, em âmbito municipal, o Poder Legislativo poderia sugerir leis sobre a recuperação de nascentes como medida de preservação.

## Medidas Adaptativas ao desabastecimento público

Medidas adaptativas para o enfrentamento do desabastecimento público são ações necessárias para fortalecer a resiliência das cidades e prover o bem-estar da população. Esta seção apresenta ações para ampliação da segurança hídrica no município de Cordeirópolis.

Alternativas como a expansão do saneamento rural sustentável; medidas de infraestrutura natural para o aumento da quantidade e qualidade água; estudo de viabilidade de implementação de poços de águas subterrâneas; diminuição de perdas de água na rede de distribuição; coleta da água da chuva; reciclagem da água cinza; tecnologias para redução do consumo de água em prédios públicos e privados e reservatórios em domicílio que podem garantir a continuidade de acesso à água para a população (PLAC Campinas, 2024; Diniz, 2019).

Além disso, o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEE)[1] estabelece soluções que podem ser aplicadas a medidas adaptativas e mitigadoras. Práticas determinadas por essa iniciativa podem ser aderidas para o município de Cordeirópolis, como o Pagamento por Serviço Ambiental (PSA), que visa o incentivo à conservação e desenvolvimento sustentável pela remuneração em troca do bem preservado. E o aumento da efetividade e sustentabilidade do tratamento de água e medidas para tornar o tratamento mais efetivo com objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

[1] Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)

## CONCLUSÕES

Devido ao histórico de secas no município de Cordeirópolis (SP), o sistema de abastecimento público enfrenta desabastecimento hídrico na região. Segundo projeções futuras, espera-se que o município enfrente um aumento nos dias secos, resultando em maior escassez de água. Nesse contexto, este trabalho apresentou alternativas de adaptação e mitigação que podem ser integradas ao plano de ação climática (PLAC) do município para enfrentar o dilema socioambiental e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Ressalta-se que essas estratégias estão alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, sobretudo a ODS 6 que aborda sobre água potável e saneamento, assim como a ODS 11, que trata sobre cidades e comunidades sustentáveis e a ODS 13, sobre ação contra a mudança global do clima. Além disso, as propostas sugeridas estão em conformidade com a Lei 12.608 de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e incentiva a criação de cidades resilientes, promovendo a redução de riscos de desastres naturais. Dessa forma, a implementação dessas

ações em Cordeirópolis pode fortalecer o município, tornando-o mais resiliente às alterações climáticas, através de programas, como o Projeto Cidades Resilientes é possível implementar ações que buscam capacitar as cidades a se adaptarem e enfrentarem os impactos ambientais, como secas.

## AGRADECIMENTOS

Expressamos agradecimento ao Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPEX) por financiar a participação no 21º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Assim como, agradecemos a disponibilidade e engajamento da Prefeitura de Cordeirópolis (SP) em questões socioambientais.

## REFERÊNCIAS

Andrada, A, et al. Water governance: a case study in Tangará da Serra, MT, after water shortage in 2016. Interações, Campo Grande, MS, v.22, n. 3, p. 855-868, 2021.

Carmo, R. et al. Seca nas metrópoles: materialização de um desastre anunciado, Waterlat-Gobacit Network Working Papers, v. 1, n. 1, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Esteban-Castro/publication/303744211_Water related_disasters_from _transscale_challenges_to_interpretative_multivocality_in_Portuguese_and_Spanish/links/57502cd808aefe968db7249c/Water-related-disasters-from-trans-scale-challenges-to-interpretative-multivocality-in-Portuguese-and-Spanish.pdf#page=99.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF). Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. 2004. Disponível em: https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/media/2020/01/PlanoDecenaldeRecursosHidricos.pdf.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - CBH-PCJ.

Diniz, T. Vulnerabilidade ao desabastecimento em situação de intermitência no abastecimento de água. 2019.

Gama, C. et al. Secas: uma "tragédia socioeconômica". 2013. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/wiasb/2013/Modalidade_4datahora_31_10_2013_16_54_54_idinscrito_370_d7a051e5e2a6d2a7dfdda9bc2fb5473a.pdf.

Geirinhas, J. et al. Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in Southeast Brazil. Environmental Research Letters, v. 16, n. 3, 2021. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abe0eb.

Gonçalves, D. et al. Variações no uso e na cobertura da terra na Macrometrópole Paulista e implicações para a resiliência hídrica sob mudanças climáticas. Sustainability in Debate, v. 12, n. 2, p. 32-50, 2021.

Gonçalves, S. et al. Avaliação de Índices de Seca no Monitoramento Hidrológico de Reservatórios Estratégicos do Ceará, Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 38, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863810018.

Instituto Água e Saneamento. Cordeirópolis (SP). Disponível em: https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/sp/cordeiropolis

Instituto Agronômico. Dados climatológicos de 1961-1990; 2018-2020. Compilado em 2021.

Luo, P. Impact of forest maintenance on water shortages: Hydrologic modeling and effects of climate change. Science of The Total Environment, v. 615, p. 1355-1363, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.044.

Martine G.; Alves, J. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade? Revista Brasileira de Estudos de População, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 433-460, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0102-3098201500000027.

Martins, A. Fatores Climáticos e Sistemas Meteorológicos que atuam sobre o Brasil - Uma Revisão Bibliográfica. 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46691/1/FartoresClimaticosSistemasMeteorolgicos_Martins_2022.pdf.

Matos, A. Poluição Ambiental Impactos no Meio Físico. 2010.

Moratori, S. Avaliação da gestão do saneamento básico em municípios de pequeno porte aplicando o método multicritério saw. Campinas, 2020. Disponível em: https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/bitstream/handle/123456789/15152/ceatec_ppgsiu_me_Sergio_MF.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Moura, L. Em SP, seca no Cantareira supera o cenário mais pessimista. UOL, 2015. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2015/01/26/seca-no-cantareira-supera-o-cenario-mais-pessimista.htm?cmpid=copiaecola.

Nascimento, M. Influência da Variabilidade Climática sobre a linha de costa, Riscos e Vulnerabilidade do Litoral de Maceió, Alagoas. 2023.

Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 a 2020 (com propostas de atualização do Enquadramento dos Corpos d'Água e de Programa para Efetivação do Enquadramento dos Corpos d'Água até o ano de 2035). 2008.

Plano Municipal de Saneamento Básico de Cordirópolis: água e esgoto. 2015.

SABESP. Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da SABESP. 2015. Disponível em: https://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess_crise_hidrica.pdf.

Soares, A. Seca afeta 6 milhões de pessoas no interior do estado. Veja São Paulo, 2016. Disponível em: https://vejasp.abril.com.br/cidades/seca-afeta-6-milhoes-de-pessoas.

Stanfoca, M. et al. Non-invasive methods in the identification of hydrological ecosystem services of a tropical isolated wetland (Brazilian study case). Environmental Challenges, v. 5, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021002122.

Ussami, K.; Guilhoto, J. Economic and water dependence among regions: The case of Alto Tiete, Sao Paulo State, Brazil. Economia, v. 19, p. 350-376, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.econ.2018.06.001.

Ventura, A. et al. O potencial das tecnologias sociais de convivência com o semiárido para a geração de sinergia. 2019. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/723/754.

Villela, H. Seca de represas faz Cordeirópolis cancelar o carnaval de rua da cidade. G1, 2015. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2015/01/seca-de-represas-faz-cordeiropolis-cancelar-o-carnaval-de-rua-da-cidade.html.

Wanderley, L.; Nóbrega, R. Desenvolvimento de um novo sistema de classificação climática com base na metodologia dos tipos de tempo sinóticos para a região Nordeste do Brasil. Revista GEOUSP, v. 26, n. 1, 2022. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/175243/181251.

# AVALIAÇÃO DE DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA EM COMUNIDADES ADJACENTES A MINERADORA: ESTUDO DE CASO EM MARIANA/MG

Poluição atmosférica

Flávio Luiz Santos Soares
Eng. Ambiental: Physis Engenharia Ambiental Departamento de Projetos e Estudos Ambientais
flavio.soares@physisambiental.com.br.

Gabriel Wilson Lorena Florêncio
Msc. em Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Physis Engenharia Ambiental – Departamento de Projetos e Estudos Ambientais
gabrielflorencio1797@gmail.com.

Geraldo André Rosseto Barreto
Msc. em Engenharia Ambiental: Physis Engenharia Ambiental – Departamento de Projetos e Estudos Ambientais
geraldo.barreto@physisambiental.com.br.

## Resumo

O estudo avaliou a dispersão do poluente atmosférico definido por partículas totais em suspensão (PTS) em comunidades adjacentes a uma mineradora no município de Mariana/MG. A metodologia utilizada foi a de modelagem matemática de dispersão atmosférica com a utilização do software AERMOD. Foi considerado na modelagem um domínio computacional de 225 km² e três grades de resolução com refinamentos distintos de modo a avaliar as concentrações do poluente. Os resultados obtidos demonstram que, no cenário de máxima operação da mina, as principais fontes de emissão incluíram atividades de escavação, movimentação de veículos, e erosão eólica das pilhas de minério. As maiores concentrações de poluentes foram observadas próximas ao empreendimento, com algumas áreas rurais superando os limites legais de concentração de curto período. Concluiu-se que, embora a maioria dos pontos sensíveis (compreendidos por comunidades adjacentes ao empreendimento) tenham mantido os níveis de concentração do poluente dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 506/2024, há necessidade de medidas mitigadoras, como cobertura vegetal e umectação de áreas expostas, para minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde da população local. Também se faz necessário o monitoramento contínuo para o controle e gestão das emissões atmosféricas.

**Palavras-chave:** Qualidade do ar; Modelagem matemática; Dispersão de poluentes; Material Particulado.

# INTRODUÇÃO

As mineradoras representam um grande papel na economia brasileira, segundo o relatório do primeiro semestre de 2023 elaborado pelo Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2023) a atividade econômica contribuiu com R$ 41,4 bilhões em recolhimento de tributos e encargos. Além disso, transforma o espectro social ao gerar um montante de 206.641 empregos diretos do setor em maio de 2023, um percentual de aumento de 2,41% em relação a maio de 2022.

Observa-se que no referido relatório que o estado de Minas Gerais teve o maior faturamento em relação a esta atividade econômica no primeiro semestre de 2023, totalizando um montante de 42%, impulsionado principalmente pela exploração de minério de ferro, um dos minerais mais abundantes no estado de Minas Gerais.

Com base no exposto acima não se deve apenas ater aos ganhos monetários, mas avaliar os impactos ambientais decorrentes dessa atividade, com atenção especial às comunidades adjacentes a estes empreendimentos, tema este, bastante discutido pela comunidade científica e que tem se tornado mais relevante desde o início da mineração no Brasil no século XVII (REZENDE, 2016).

Segundo Freitas, Belardi e Barbosa (2022), um dos maiores impactos decorrentes da operação da mina quando o método de extração utilizado é o de cava a céu aberto é a degradação da qualidade do ar local. A poluição atmosférica causada por esta atividade é um dos grandes responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias causada em crianças e adolescentes e doenças cardiovasculares em adultos, sendo o material particulado o poluente mais expressivo entre os emitidos (REZENDE, 2016). Em relação as atividades desenvolvidas no processo de exploração, as fontes de emissão que geram níveis significativos de poeiras são a escavação, movimentação de veículos nas estradas de transporte, carga e descarga de materiais (FREITAS, BELARDI E BARBOSA, 2022). De acordo com Singh e Perwez (2015), o transporte de materiais é a principal fonte de emissão de partículas suspensas totais.

Tendo em vista a importância de avaliar o impacto da atividade minerária na poluição atmosférica da região onde se encontra instalada e a compreender a magnitude da poluição à qual a comunidade local está exposta diariamente, este estudo tem por objetivo avaliar as emissões e a dispersão de Partículas Totais em Suspensão (PTS) ou Material Particulado Total (MPT), por meio da modelagem matemática computacional de dispersão atmosférica, utilizando o software AERMOD disponibilizado pela USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), para avaliar os impactos ambientais do cenário de máxima operação do empreendimento na qualidade do ar local.

# METODOLOGIA

## CONDIÇÕES DE CONTORNO DO MODELO

Para realizar a modelagem matemática da dispersão de poluentes na atmosfera, foram considerados os fatores fundamentais para um estudo numérico de emissões atmosféricas, sendo estes: a abrangência e a resolução da modelagem (MECP, 2017; EPA, 2023).

Quanto à abrangência, a área delimitada deve ser extensa o suficiente para possibilitar a identificação das características de dispersão dos poluentes estudados, garantindo que os parâmetros estatísticos da dispersão sejam representativos. Além disso, possuí a finalidade de compreender os impactos das emissões nas comunidades circunvizinhas, e dessa forma a abrangência da área de estudo deve incluir a área das comunidades próximas ao empreendimento (ONTARIO, 2017).

No presente estudo foi considerado a resolução do domínio computacional com uma área de abrangência de 225 km² (15 km x 15 km). O centro do domínio encontra-se na Latitude: 665.049 m E e Longitude: 7.753.269 m S, zona 23S, datum SIRGAS 2000.

A resolução do modelo seguiu a distribuição uniforme com grades cartesianas ou multicamadas e foi subdividido em células que variam seu espaçamento em função da distância em relação ao centro do domínio (EPA, 2023). Dessa forma, o domínio foi dividido em três grades, possuindo assim um maior refinamento na região próximo a mineradora, onde inicialmente se espera os maiores níveis de concentração do poluente avaliado. A divisão da malha de receptores e seu alinhamento em três subdomínios diferentes, são descritas conforme os dados abaixo:

- Quadrado com 2 km de lado e espaçamento regular de 250 m;
- Quadrado com 5 km de lado e espaçamento de 500 m;
- Quadrado com 15 km de lado e espaçamento de 1000 m.

A malha regular utilizada totalizou 1489 pontos receptores analisados, integrado a uma análise temporal de três anos, o que totalizou 26.280 horas processadas para os anos de 2020, 2021 e 2022, conforme recomendação da Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM do estado de Minas Gerais (2023). Além disso, foram incluídos 18 receptores discretos representando os pontos sensíveis de interesse, representados por bairros e comunidades limítrofes a mina, além de moradias rurais próximas, definidos por zonas rurais.

## INVENTÁRIO DE FONTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Além da delimitação da área de contorno do modelo, realizou-se o inventário de fontes com a finalidade de determinar as taxas de emissão de material particulado total (MPT), para as fontes listadas na Tabela 01, que representam a relação entre a quantidade de poluente emitido para a atmosfera com a atividade associada ao lançamento desse poluente (EPA, 2024). Além das estimativas de emissão

calculadas, foram utilizados dados de produção de 2022 para estimar as emissões para cada grupo de fontes consideradas no estudo, conforme as metodologias disponibilizadas na AP-42: "*Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources*" (EPA, 2024).

Tabela 01: Descrição das fontes de emissão de cada grupo considerado.

| Grupo | Descrição |
|---|---|
| Áreas expostas | Emissões referente as fontes tipo área como: área operacional da lavra (extração e manutenções de talude e drenagem), com emissões associadas de MPT. |
| Britagem e peneiramento | Emissões fugitivas referentes à britagem e peneiramento do material, com emissões associadas de MPT. |
| Erosão eólica | Contempla a erosão eólica na superfície de pilhas de estocagem de material da CEDRO, com emissões associadas de MPT. |
| Máquinas | Máquinas destinados a extração do material que trabalham por longas horas em uma determinada área, contribuindo com emissões dos seguintes poluentes: MPT. |
| Transferência, manuseio e estocagem | Emissões fugitivas advindas da atividade carregamento e descarregamento de caminhões, conformação das pilhas nos locais de estocagem de material dentro da frente de lavra (Quadrantes D, E, G, H, K e entrada da mina (expedição)) e das transferências dos materiais britado e peneirado (a ser instalado). O que contribuí com as emissões dos poluentes MPT. |
| Vias de tráfego - Escapamento | Emissões referentes ao escapamento e desgaste de pneus e freios de veículos utilizados nas atividades de transporte de materiais (caminhões), o qual emitem os poluentes: MPT. |
| Vias de tráfego – Ressuspensão | Emissões referentes a ressuspensão de material depositado nas vias internas. A ressuspensão é ocasionada durante a movimentação de caminhões utilizados nas atividades de transferência de materiais e tráfego de veículos, o qual emitem os poluentes: MPT. |

Fonte: Autores (2024).

## DISCRETIZAÇÃO DO MODELO - AERMOD

Para a modelagem de dispersão dos poluentes na atmosfera utilizou-se o modelo regulatório AERMOD da Agência Norte Americana de Proteção Ambiental – EPA (2023), versão 22112 (2023). O modelo AERMOD consegue simular diferentes tipos de plumas, dependendo da estabilidade atmosférica e dos locais dentro ou acima da camada limite. Para condições atmosféricas estáveis (SBL), por exemplo, o AERMOD modela a pluma com distribuição gaussiana na vertical e horizontal de forma semelhante, típicas de modelos estacionários, conforme ilustra a equação 01 e equação 02.

$$C_s(x,y,z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}u\sigma_{zs}} F_y \sum_{m\to\infty}^{\infty} \left[ \exp\left( -\frac{(z - h_{es} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2} \right) + \exp\left( -\frac{(z + h_e + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2} \right) \right]$$

Equação 01

Sendo:

$$F_y = \left( -\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} exp\left( -\frac{y^2}{2\sigma_y} \right) \right)$$

Equação 02

Onde:

$Z_{ieff}$ é a altura da camada de mistura mecânica efetiva; Q é a taxa de emissão; u é a velocidade do vento; $\sigma_z$ é a dispersão vertical total na camada limite estável; $h_e$ é a altura da pluma; $\sigma_y$ são os coeficientes de dispersão lateral; x,y e z são as distâncias segundo as direções dos eixos coordenados; s é o valor igual à 1 para linha inferior da pluma e igual à 2 para a linha superior da pluma; e m representa o índice do somatório para fontes dentro da camada de mistura, que representa a reflexão da pluma.

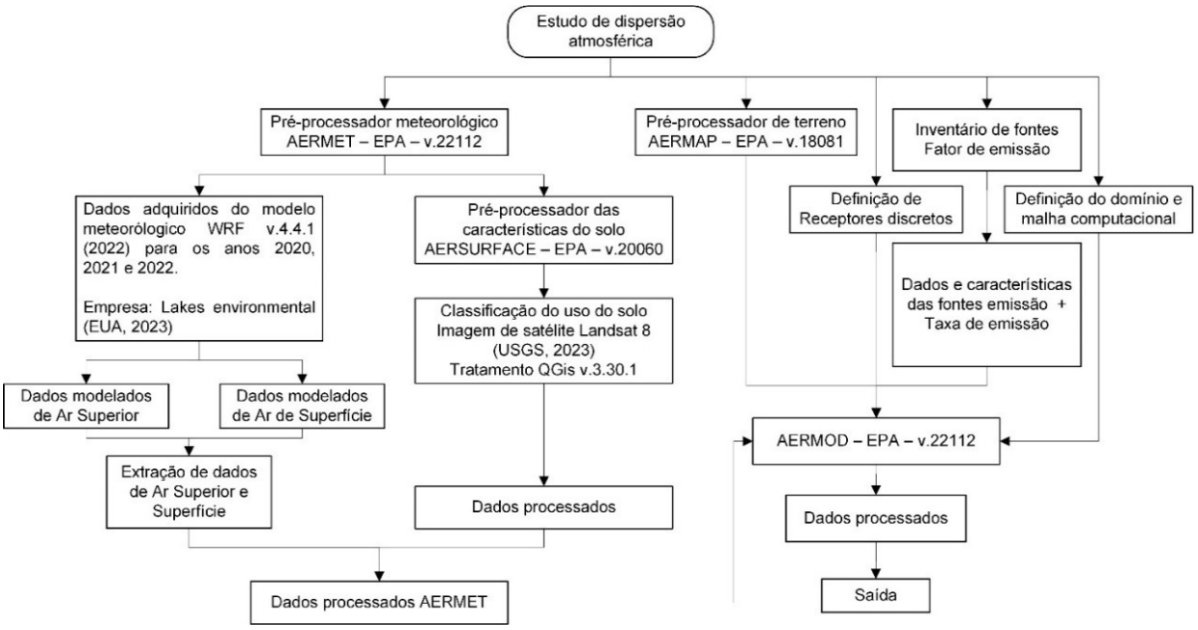
Contudo, na condição de camada limite convectiva (CBL), a distribuição horizontal é definida como gaussiana, mas a distribuição vertical é descrita por uma função de densidade probabilidade bi gaussiana.

Embora o AERMOD seja capaz de modelar os processos de deposição seca e deposição úmida de material particulado, tais opções não foram consideradas com o objetivo de manter o estudo conservador do ponto de vista dos acréscimos ambientais.

De modo geral o AERMOD precisa dos imputs detalhado no fluxograma descrito na Figura 01 para que se possa chegar ao resultado esperado, que são as concentrações de emissão dos poluentes modelados em µg/m³. Para avaliação dos resultados obtidos no modelo utilizou-se a Resolução CONAMA nº 506, de 05 de julho de 2024, em que “dispõe sobre os padrões de qualidade do ar” e define os limites de exposição

em um intervalo de tempo para um determinado poluente que se deseja avaliar, de modo a não trazer danos a saúde e bem-estar público. Ademais, o fluxograma apresentado na Figura 01, detalha todo o fluxo de trabalho realizado para o estudo de dispersão atmosférica apresentado neste artigo, levando em consideração os três últimos anos de dados meteorológicos, conforme recomenda a Fundação Estadual de Meio Ambiente do estado de Minas Gerais – FEAM (2023).

Figura 01: Fluxograma detalhado do fluxo de trabalho utilizado neste trabalho.




Fonte: Autores (2024).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do inventário de fontes para os poluentes definidos por material particulado total – MPT, descritos na Resolução CONAMA nº 506/2024 como partículas totais em suspensão - PTS, são apresentados na Tabela 02. A Tabela 02 também contém um compilado das emissões globais do empreendimento inventariado, para cada parâmetro citado, levando em consideração o cenário de máxima operação da mina, bem como as emissões discretizadas para cada grupo de fonte consideradas no presente inventário. Estes dados foram utilizados como entrada para o modelo.

Levando em consideração os resultados do inventário de fontes acima, as simulações matemáticas de dispersão dos poluentes apresentadas a seguir, obedecem à referência temporal para o parâmetro definido por Partículas Totais em Suspensão (PTS = MPT – Material Particulado Total), conforme os padrões preconizados na Resolução CONAMA nº 506/24. A referência temporal ocorre em concentração média de 24h (curto período) e média anual (longo período).

Tabela 02: Resumo do inventário de emissões da mineradora (máxima operação) por grupo de fonte.

| Tipo de fonte | Taxa de emissão [t/ano] |
|---|---|
| | MPT |
| Áreas Expostas | 284,96 |
| Britagem e peneiramento | 142,5 |
| Transferência de Materiais | 61,09 |
| Máquinas | 0,43 |
| Transferência, manuseio e estocagem | 369,71 |
| Vias de tráfego | 874,73 |
| **Soma emissão total [t/ano]** | **1.733,41** |
| **Soma emissão total [kg/dia]** | **4.749,08** |
| **Soma emissão total [kg/h]** | **197,88** |
| **Soma emissão total [g/s]** | **54,97** |

Para avaliação dos resultados da modelagem para o cenário de sinergia entre todas as fontes a Tabela 03 apresenta os máximos acréscimos das concentrações diárias (curto período) e os acréscimos médios anuais (longo período) para o parâmetro PTS.

Observa-se que nos resultados apresentados na Tabela 03 que representa os receptores discretos compreendidos pelas comunidades adjacentes ao empreendimento (pontos sensíveis), o parâmetro PTS ultrapassou o limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 506/2024, para os acréscimos de curto período (24 h), no ponto receptor denominado de zona rural 02, onde encontra moradias esparsas a aproximadamente 2,11 km do empreendimento (concentração obtida de 296,98 µg/m³, acima do limite em 23,74%). Para as concentrações de longo período (anual) o parâmetro PTS apresentou os resultados dentro dos limites estabelecidos para todos os receptores avaliados.

Tabela 03: Concentrações obtidas nos receptores discretos (comunidades sensíveis) no entorno da mineradora.

| ID | Receptor Discreto | Coord. E (m) | Coord. S (m) | Cota (m) | Distância da fonte (m) | PTS [µg/m³] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 24 horas | Anual |
| 1 | Alvorada | 660.551 | 7.750.992 | 957 | 5.054 | 142,36 | 7,18 |
| 2 | Bairro Bandeirantes 01 | 666.507 | 7.747.940 | 705 | 5.729 | 39,05 | 3,01 |
| 3 | Bairro Novo Bento Rodrigues | 661.872 | 7.754.499 | 879 | 3.265 | 111,89 | 9,01 |
| 4 | Bairros Bandeirantes 02 | 670.403 | 7.748.515 | 673 | 7.347 | 28,57 | 2,29 |
| 5 | Distrito Antônio Pereira | 658.781 | 7.754.078 | 804 | 6.206 | 49,64 | 3,5 |
| 6 | Distrito de Camargos | 666.827 | 7.757.267 | 747 | 4.297 | 77,45 | 5,02 |
| 7 | Escola Novo Bento Rodrigues | 661.895 | 7.754.823 | 872 | 3.364 | 79,61 | 8,53 |
| 8 | Morro Santana | 662.956 | 7.748.948 | 788 | 4.934 | 138,68 | 7,12 |
| 9 | Nossa Senhora Aparecida | 665.788 | 7.747.406 | 732 | 6.100 | 37,23 | 2,94 |
| 10 | Policlínica | 665.283 | 7.747.388 | 699 | 6.076 | 34,59 | 3,15 |
| 11 | São Cristóvão - FUPAC | 665.028 | 7.747.966 | 702 | 5.495 | 50,83 | 3,85 |
| 12 | Vila Del Rey | 664.751 | 7.748.795 | 762 | 4.670 | 58,51 | 5,35 |
| 13 | Vila Maquiné | 665.259 | 7.748.269 | 779 | 5.194 | 46,58 | 4,14 |

Continua

Continuação

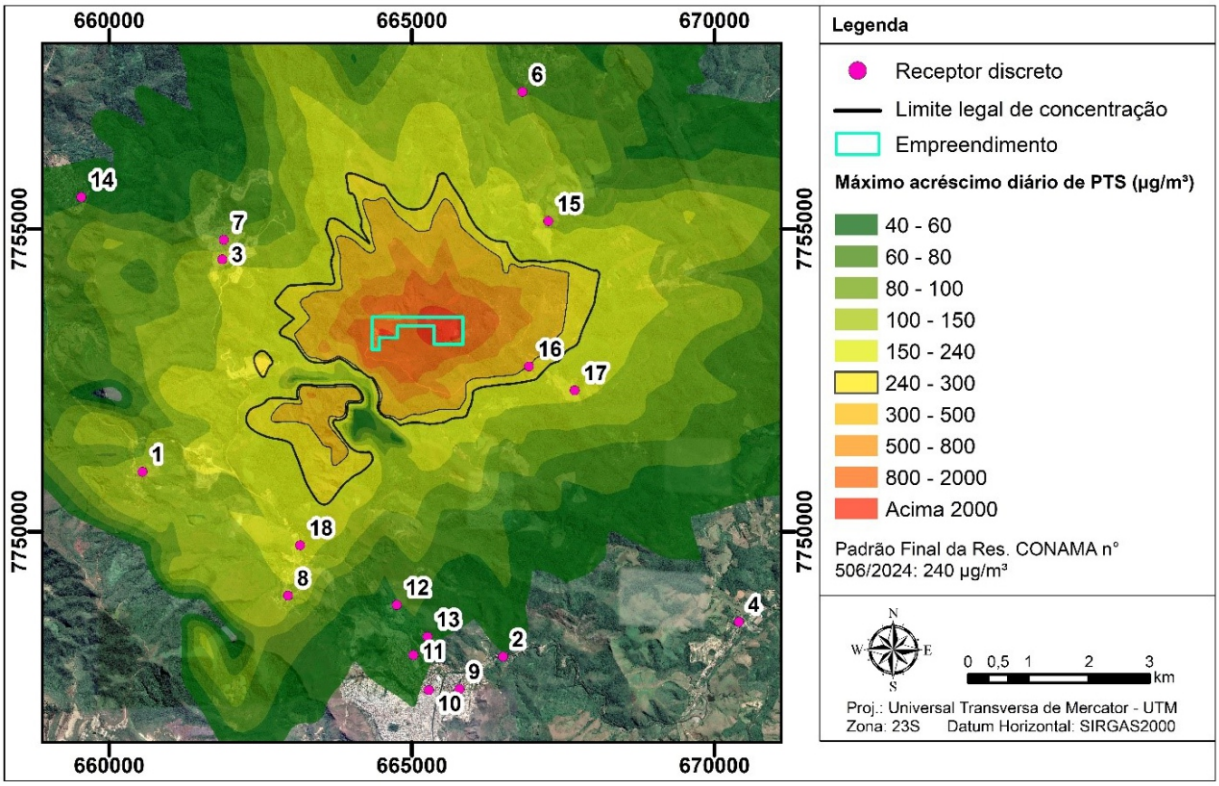
| ID | Receptor Discreto | Coord. E (m) | Coord. S (m) | Cota (m) | Distância da fonte (m) | PTS [µg/m³] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 24 horas | Anual |
| 14 | Vila Samarco | 659.542 | 7.755.528 | 801 | 5.807 | 53,92 | 3,47 |
| 15 | Zona Rural 01 | 667.256 | 7.755.133 | 795 | 2.843 | 143,32 | 9,44 |
| 16 | Zona Rural 02 | 666.937 | 7.752.733 | 847 | 2.110 | 296,98 [1] | 25,45 |
| 17 | Zona Rural 03 | 667.691 | 7.752.337 | 783 | 2.957 | 173,31 | 12,9 |
| 18 | Zona Rural 04 | 663.157 | 7.749.778 | 737 | 4.093 | 203,25 | 9,97 |

[1] Concentração maior que 240 µg/m³, permitido pela Res. CONAMA nº 506/2024.

As Figuras 02 a 03 traz as plumas de dispersão para as máximas concentrações de curto período e de longo período para o parâmetro PTS. Ao analisar as isolinhas de concentrações, observa-se que os resultados de 24h e anuais que estão acima do limite permitido, ultrapassam os limites da empresa.

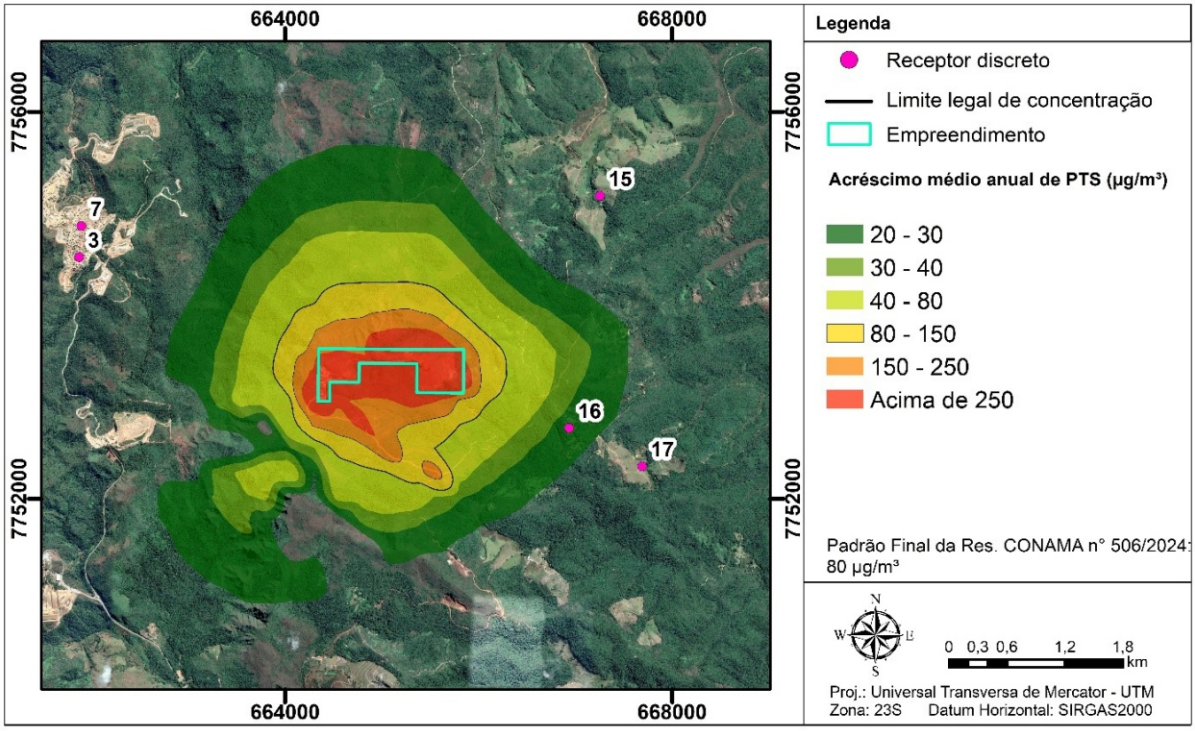
Todavia, nessas áreas ao observar as imagens geradas em 2024 pelo satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 m, não são observadas construções dentro da mancha com alta concentração e que ultrapassa os limites legais, com exceção do receptor 16 (zona rural 02) para as concentrações de curto período.

Figura 02: Pluma de dispersão de PTS nas concentrações de curto período (média de 24h).




Fonte: Autores (2024).

Figura 03: Pluma de dispersão de PTS nas concentrações de longo período (média anual).




Fonte: Autores (2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foi apresentado o cenário de máxima dispersão de partículas totais em suspensão - PTS, considerando a sinergia entre todas as fontes para extração do minério de ferro realizado pela mineradora, localizada no município de Mariana/MG. Os resultados, foram avaliados a luz dos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 506/2024.

No cenário de máxima operação da mina, as emissões são causadas principalmente pelas atividades como recorformação de taludes, movimentação das pilhas de minério e arraste eólico destas, e exploração do mineral de interesse, denominado de áreas expostas, ressuspensão de material particulado das vias e outros.

Deste modo, pôde-se verificar que, as maiores concentrações foram encontradas próximas ao empreendimento, o que era inicialmente esperado, dado as características das fontes do empreendimento. Entre os receptores discretos avaliados junto à comunidade adjacente, o receptor definido como Zona Rural 02 a aproximadamente 2,11 km da mina apresentou concentração de curto período para o parâmetro PTS, acima do limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 506/2024. Nesse sentido, é válido ressaltar que tal condição não é representativa de todos os dias no ano. Para as concentrações de longo período de PTS não houveram ultrapassagem do limite legal nos pontos receptores discretos avaliado.

Todavia, há de se ressaltar que apesar de apenas um ponto receptor discreto ter ultrapassado o limite legal no pior cenário de curto período para o parâmetro PTS, as isolinhas do espalhamento da concentração deste poluente obtida pelo modelo, apresentou-se acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 506/2024, passando os limites do empreendimento. Tal fato ocorreu também para os acréscimos médios anuais (longo período) para o parâmetro citado anteriormente. Contudo, não houve áreas povoadas atingidas por estes poluentes nas duas análises temporais realizadas, seja estas de curto ou longo período, para as isolinhas que transpassam o limite de operação do empreendimento. Com exceção da moradia rural isolada definida por Zona rural 02, para os acréscimos de curto período.

De modo a minimizar os impactos ambientais decorrentes da emissão de material particulado que possam a vir a ocorrer nas adjacências do empreendimento, para as áreas expostas não utilizadas, recomenda-se realizar a cobertura vegetal da superfície exposta, aplicação de biomanta para proteção do solo ou até mesmo cobertura com tela, quando a alternativa for viável. Para as áreas que necessitam em algum momento serem trabalhadas, como pilhas, taludes e afins, recomenda-se realizar a umectação destas e/ou aplicação de polímero. Quanto as fontes tipo via, recomenda-se continuar realizando a umectação, bem como o lonamento dos caminhões, visando reduzir/minimizar as emissões atmosféricas.

Vale destacar que, o monitoramento de emissões atmosféricas do empreendimento é fundamental não só para validação dos resultados, mas também como para permitir o gerenciamento ambiental e auxiliar na tomada de decisão acerca de eventos extremos de emissões atmosféricas, caso venham ocorrer.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Disponível em: <https://bit.ly/4dKyOiu>. Acesso em 28 jul. 2024;

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Termo de referência para elaboração de um estudo de dispersão atmosférica. 2023. Disponível em: <https://bit.ly/4412Jig>. Acesso em: 10 ago. 2024;

FREITAS, Ana Carolina Vasques; BELARDI, Rose-Marie; BARBOSA, Henrique de Melo Jorge. Characterization of particulate matter in the iron ore mining region of Itabira, Minas Gerais, Brazil. Atmósfera, Ciudad de México, v. 35, n. 4, p. 781-802, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/478mt56>. Acesso em: 03 ago. 2024;

IBRAM – INSITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Setor Mineral – Primeiro Semestre de 2023. 2023. Disponível em: <https://bit.ly/3X0Q1Ni>. Acesso em: 28 jul. 2024;

ONTARIO. Ministry of the Environment and Climate Change. Air Dispersion Modelling Guideline for Ontario: Guideline A-11. Version 3.0. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3Mv53pL>. Acesso em 10 ago. 2024;

REZENDE, VANESSA LEITE. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. Sociedade & Natureza, v. 28, n. 3, p. 375–384, set. 2016. Disponível em: <https://bit.ly/4e3nA8l>. Acesso em: 28 jul. 2024;

SINGH, Gurdeep; PERWEZ, Atahar. Estimation of Assimilative Capacity of the Airshed in Iron Ore Mining Region of Goa. Indian Journal of Science and Technology, Jharkhand, v. 8, n. 23, p. 1-7, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/4cMVkGb>. Acesso em: 05 ago. 2024;

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. AP-42: Compilation of Air Emission Factors. 2024. Disponível em <https://bit.ly/3X99oUA>. Acesso em: 10 agosto, 2024;

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD). 2023. Disponível em <https://bit.ly/3zRslhA>. Acesso em: 10 ago. 2024.

# CHUVA NO SUL DA AMAZÔNIA LEGAL: COMPARAÇÃO PRELIMINAR ENTRE OS EVENTOS EXTREMOS DE SECA DE 2023 E 2024

Investigação dos efeitos das mudanças climáticas nos padrões de precipitação, disponibilidade de água e eventos extremos, como secas e inundações

Nilzele de V Gomes Jesus
Analista de Ciência e Tecnologia Dra. Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia; Coordenação de Meteorologia
nilzele.jesus@sipam.gov.br

Edmir dos Santos Jesus
Pesquisador Dr. Instituto Tecnológico Vale Tecnologia Ambiental
edmir.jesus@pq.itv.org

Carolina Ramos de Araújo
Aluna do Curso de graduação em Meteorologia Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia
carolramos278@gmail.com

Deydila Michele Bonfim dos Santos
Analista de Ciência e Tecnologia Msc. Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia; Coordenação de Meteorologia
deydila.santos@sipam.gov.br

## Resumo

O objetivo deste estudo foi comparar a distribuição de chuva durante os eventos de seca de 2023 e 2024 no sul da Amazônia Legal, destacando qual dos dois anos apresentou a estiagem mais intensa. Para avaliar as condições oceânicas foram utilizadas as anomalias mensais de temperatura da superfície do mar do Atlântico e Pacífico, baseadas na climatologia de 1971 a 2000, provenientes da *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), com resolução espacial de 0,25° x 0,25° de latitude e longitude. Foram usados também os acumulados mensais de chuva da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), através do *Climate Prediction Center* (CPC), que consiste numa densa rede observacional ao redor do mundo, interpolada numa grade de 0,5°x 0,5° de latitude e longitude, e ajustada com a chuva estimada por satélites. Optou-se fazer as comparações de janeiro a julho, devido o ano de 2024 está em curso na data da publicação deste estudo. A climatologia de 1981 a 2020 do CPC apontou que os maiores volumes de chuva ocorreram de janeiro a abril e os meses secos de maio a julho, com máximos valores em janeiro e mínimos em julho, o que está de acordo com as climatologias prévias. Concluiu-se também que a estiagem de 2024 foi mais intensa em relação ao ano anterior, no contexto dos acumulados mensais de chuva no sul da Amazônia Legal, com volumes de chuvas em 2024 inferiores ao ano anterior na maior parte da área analisada.

**Palavras-chave:** Estiagem; *El Niño*; Precipitação; Temperatura da Superfície do Mar.

# INTRODUÇÃO

A Amazônia desempenha um papel crucial no equilíbrio climático e hídrico, tanto em nível regional quanto global. A chuva na região é um dos principais fatores que sustentam a vasta biodiversidade e os ecossistemas de floresta tropical, além de influenciar a agricultura, os recursos hídricos e a produção de energia hidrelétrica. Todavia, nos últimos anos, eventos climáticos extremos, como secas severas, têm se tornado cada vez mais frequentes, possivelmente associados às mudanças climáticas globais e ao desmatamento (Marengo et al., 2011; Nobre et al., 2016).

Os eventos climáticos extremos na Amazônia são muitas vezes exacerbados por fenômenos como El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que tem uma periodicidade variando de 3 a 7 anos e é detectado por meio de anomalias persistentes de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), com duração igual ou superior a cinco meses consecutivos (Trenberth, 1997), ou seja, aquecimento/resfriamento das águas superficiais no Pacífico Equatorial. Particularmente na Amazônia a fase quente (El Niño) está associada com chuva abaixo da média no período chuvoso, devido a modificações na célula de Walker, cujo ramo subsidente predomina sobre grande parte do estado. Da mesma forma, na fase fria (La Niña) ocorre o padrão inverso de circulação observado na fase quente do ENOS, resultando de forma geral, em excesso de chuva (Ramos da Silva et al., 2008; Aragão et al., 2013).

A região também sofre influência do Atlântico, mais especificamente do gradiente inter-hemisférico entre o Atlântico Tropical Norte e Sul. Este gradiente ocorre quando a bacia do Atlântico Norte está aquecida (resfriada) e a bacia do Atlântico Sul está resfriada (aquecida) e contribui para a modulação das anomalias negativas (positivas) de chuva na Amazônia (Uvo, 1989; Souza et al., 2000).

A variabilidade da chuva tem influência nas mais diversas atividades do setor produtivo (agricultura, setor energético, indústria, etc), principalmente na Região Amazônia, tornando a população vulnerável as alterações climáticas. Os eventos extremos associados com secas têm efeitos devastadores, desde o aumento das queimadas até a redução da disponibilidade de água para consumo humano e agricultura. Além disso, contribuem para o aumento das emissões de carbono, à medida que grandes áreas de floresta tropical secam e queimam, transformando a Amazônia de um sumidouro em uma fonte de carbono (Aragão et al., 2018). Eventos como os que ocorreram em 2005, 2010 e 2015-2016 foram classificados como secas severas, com consequências devastadoras para a floresta e as populações que dela dependem (Marengo et al., 2018). Durante esses períodos, o nível dos rios caiu significativamente, o que prejudicou a navegação, o abastecimento de água e a geração de energia hidrelétrica. Além disso, a seca intensificou os incêndios florestais, agravando a perda de cobertura vegetal e emitindo grandes quantidades de carbono na atmosfera (Brando et al., 2014).

As estiagens de 2023 e 2024 na Amazônia foram intensas, com impactos significativos, como o alcance de níveis mínimos históricos nos principais rios da região e a intensificação das queimadas, influenciando a qualidade do ar local e em áreas remotas. Neste contexto, este estudo tem como objetivo comparar a distribuição de chuva durante os eventos de seca de 2023 e 2024 no sul da Amazônia Legal, destacando qual dos dois anos apresentou a estiagem mais intensa em relação aos acumulados de chuva.

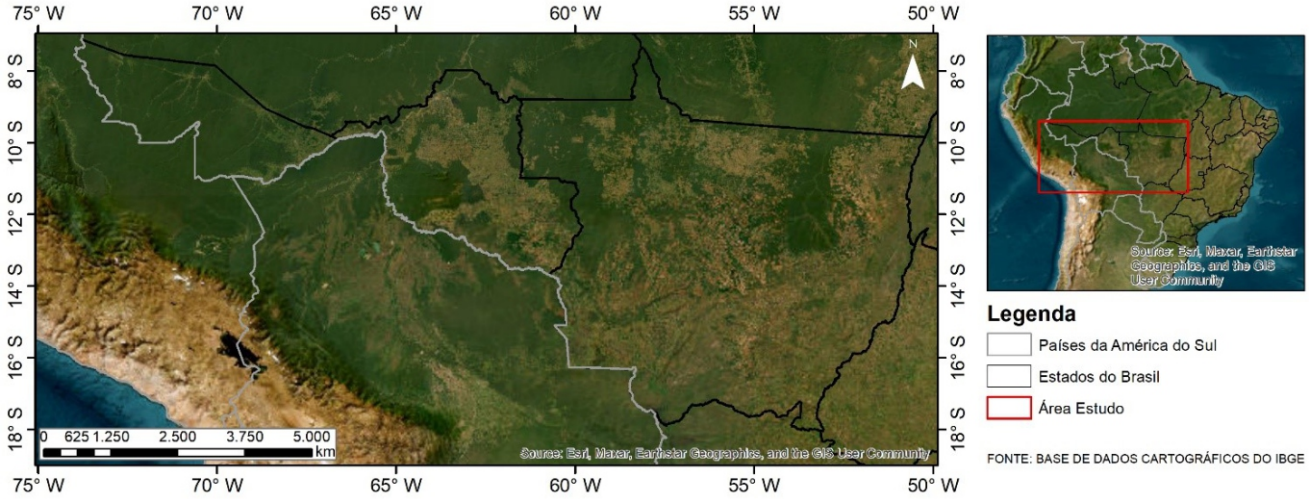
## METODOLOGIA

A Amazônia Legal é uma região administrativa criada pelo governo brasileiro em 1953, que abrange nove estados brasileiros: Acre, Amapá, Amazonas, oeste do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Sua criação foi motivada pela necessidade de planejar o desenvolvimento econômico e social da Amazônia, além de promover a preservação ambiental (IBGE, 2022). O local de análise deste estudo foi o sul da Amazônia Legal composta pelos estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso, além do sul dos estados do Amazonas e Pará (Figura 1).

Para avaliar as condições oceânicas do Pacífico e Atlântico nos anos de 2023 e 2024, foram utilizados os dados mensais de anomalias de TSM (ATSM) da National Centers for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR) com resolução espacial de 0,25° x 0,25° de latitude e longitude. A anomalia foi definida como a diferença entre a TSM observada menos a média da mesma variável do período de 1971 a 2000 (equação 1). Maiores detalhes sobre os dados de TSM podem ser vistas em Reynolds et al., 2007 e Huang et al., 2021.

Foram usados os dados de chuvas, acumulados mensais da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), através do Climate Prediction Center (CPC), que consiste numa densa rede observacional ao redor do mundo, interpolada em uma grade de 0,5°x 0,5° de latitude e longitude (Silva et al., 2007). Este conjunto de dados é gerado com base em observações coletadas em plataformas orbitais de satélites, interpolados com dados de estações de observações de superfícies e ajustados estimativas de satélites. Optou-se por escolher este tipo de dado, pois na Amazônia há uma ínfima quantidade de medições convencionais com série histórica longa (pelo menos 30 anos), sendo adequado para estudos climatológicos.

Figura 01: Localização geográfica área de estudo: sul da Amazônia Legal.



$$ATSM = TSM_{obs} - \overline{TSM} \qquad \text{Equação 1}$$

Em que *ATSM* é a anomalia de Temperatura da superfície do mar, $TSM_{obs}$ é a TSM observada média e $\overline{TSM}$ é a TSM média de 1971 a 2000.

Para descrever as condições climatológicas da região, a primeira análise deste estudo foi da climatologia de chuva no sul da Amazônia Legal, através do cálculo da média aritmética dos acumulados mensais de chuva de janeiro de 1981 a julho de 2020 (totalizando 40 anos). Optou-se selecionar apenas os sete primeiros meses do ano para poder fazer a comparação com ano de 2024 (o qual ainda está em curso na data de publicação deste estudo). Após a descrição da climatologia, foi comparado a distribuição espacial do total de chuva do ano de 2023 e 2024, utilizando a diferença entre os seus valores em ambos os anos, conforme a equação 2.

$$DCHV = CHV_{2023} - CHV_{2024} \qquad \text{Equação 2}$$

Em que *DCHV* é diferença entre a chuva entre o ano de 2023 e 2024. $CHV_{2023}$ é o acumulado de chuva de 2023 e $CHV_{2024}$ é o acumulado de chuva de 2024. Se *DCHV* for positivo indica que o volume de chuva de 2023 foi maior que 2024 e se *DCHV* for negativo indica que o volume de chuva de 2023 foi menor que 2024.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a média de 1981 a 2020 do acumulado de chuva para o sul da Amazônia Legal. Os maiores acumulados de chuva (cerca de 1300 mm) ocorreram no sul do Amazonas, nordeste do Acre e sudoeste do Pará. As áreas mais secas, ou seja, os menores acumulados de chuva encontraram-se no sudoeste de Rondônia, centro, sudeste e leste do Mato Grosso.

Os meses mais chuvosos, dentro do período analisado, são de janeiro a abril, com acumulados máximos em janeiro, de aproximadamente 350 mm no sul do Amazonas, sul do Pará, leste de Rondônia e noroeste-oeste do Mato Grosso. De maio a julho notou-se a redução dos acumulados mensais de chuva na região, com valores mínimos inferiores a 10 mm ocorrendo em julho na maior parte do sul da Amazônia Legal (Figura 3a-g).

É importante destacar que estes resultados estão de acordo com as climatologias prévias apresentadas por Figueroa e Nobre (1990) e INMET (2022), cuja distribuição espacial e temporal dos acumulados mensais de chuva médios corroboram com os resultados encontrados deste estudo.

Figura 02: Climatologia do acumulado mensal de chuva para o sul da Amazônia Legal, no período de janeiro a julho, média dos anos de 1981 a 2020
através do CPC/NCEP

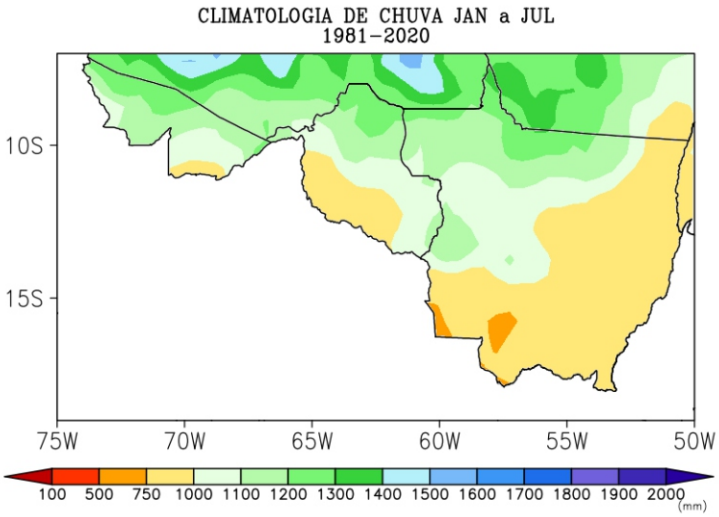
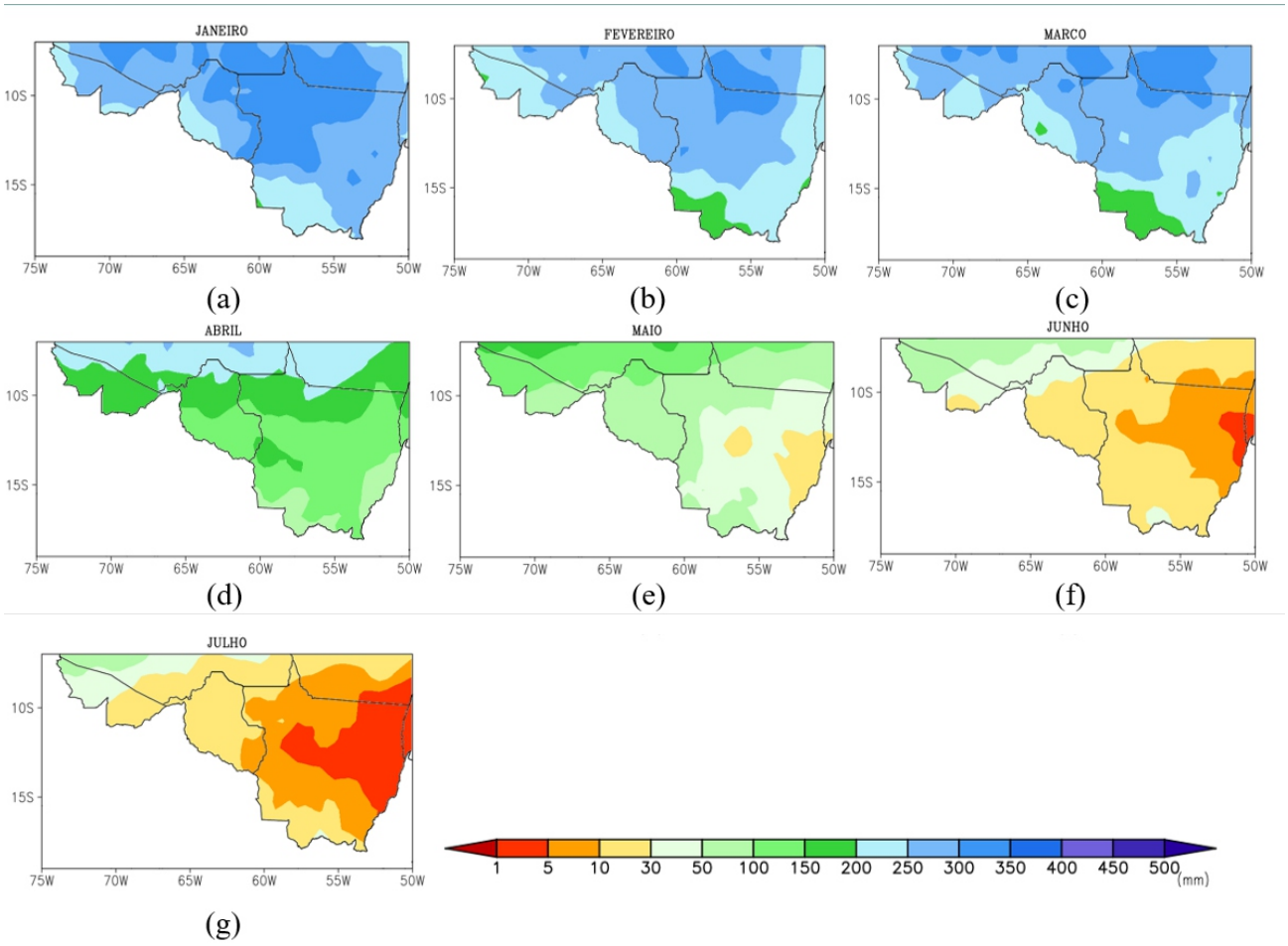
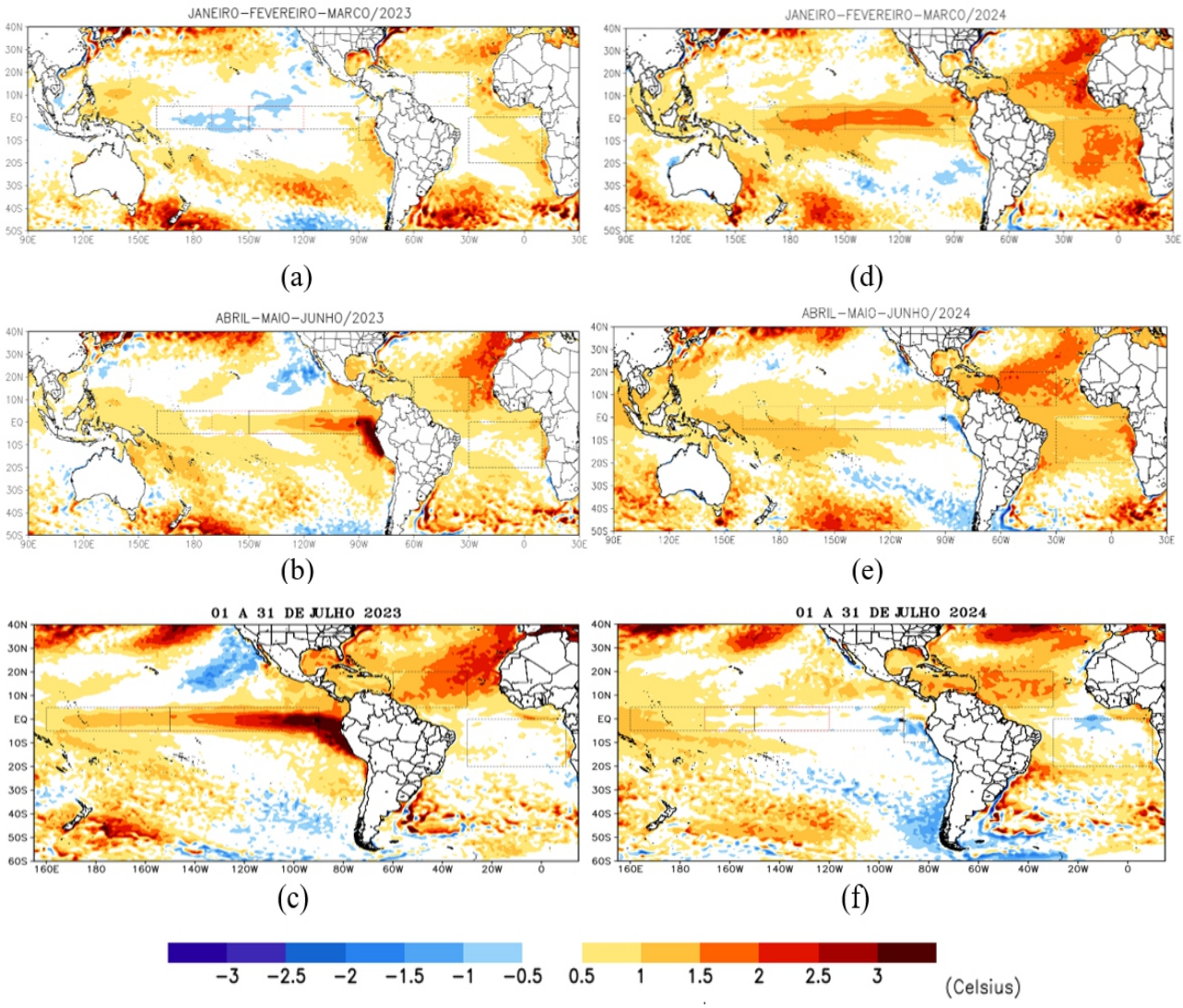



Figura 03: Climatologia mensal da chuva no sul da Amazônia Legal: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho e (g) julho de 1981 a 2020, através do CPC/NCEP.



A Figura 4 mostra a distribuição da TSM no Pacífico e Atlântico, média para janeiro-fevereiro-março (JFM), abril-maio-junho (AMJ) e para julho, de 2023 e 2024 (Figura 4a-f). No primeiro trimestre de 2023 a distribuição das ATSM, esteve favorável à ocorrência de chuva próxima da climatologia na Amazônia Legal, com neutralidade na maior parte do Pacífico Equatorial. No Atlântico Tropical a Bacia Sul apresentou águas mais quentes que a média, enquanto que a Bacia Norte exibia TSM próximas da média. Porém, em AMJ e julho de 2023 as ATSM do Pacífico Equatorial sofreram grandes mudanças, com a persistência de elevadas ATSM positivas, período que se estabeleceu o El Niño (NOAA, 2024). No Atlântico Tropical as ATSM ficaram positivas na faixa norte e em condição de neutralidade na faixa sul. De acordo com Uvo (1989) e Souza et al. (2000), esta configuração das ATSM no Atlântico Tropical e tende a inibir a ocorrência de chuva na Amazônia Legal (Figura 4b-c).

Figura 04: Anomalias de temperatura da superfície do mar nos Oceanos em 2023: (a) janeiro-fevereiro-março, (b) abril-maio-junho, (c) julho. E em de 2024: (d) janeiro-fevereiro-março, (e) abril-maio-junho e (f) julho.

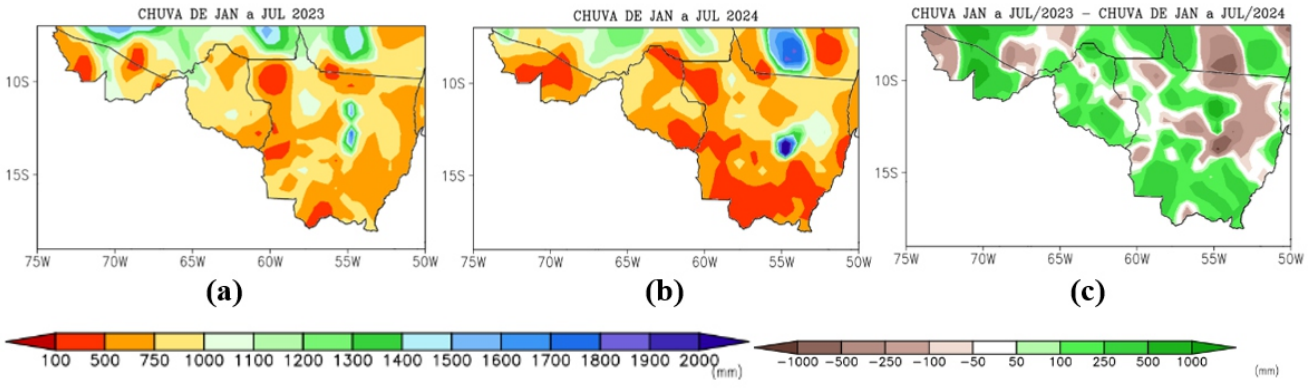


Em 2024, o trimestre JFM apresentou ATSM quentes, marcando o final do El Niño, vindouro desde o ano anterior (NOAA, 2024), no entanto em AMJ as ATSM positivas foram regredindo mês a mês, chegando à condição de neutralidade em julho (Figura 4d-f). Então em relação ao Pacífico, os setes primeiros meses de 2024 apresentaram condições desfavoráveis à ocorrência de chuva na Amazônia Legal, devido a influência do El Niño (Ramos da Silva et al., 2008; Aragão et al., 2013), principalmente nos primeiros meses. Por outro lado, o Atlântico Tropical esteve mais quente que a média na Bacia Norte e na Bacia Sul em JFM, reduzindo esta anomalia na Bacia Sul no próximo trimestre, chegando até a presentar pontos com ATSM negativa em julho de 2024, configuração totalmente inibidora de chuva na Amazônia Legal.

A Figura 5 mostra a distribuição de chuva em 2023 e 2024, assim como a diferença entre ambos, de janeiro a abril (meses chuvosos) e a Figura 6 o mesmo que a Figura 5, mas para os meses secos (maio a julho). Na maior parte do período de janeiro a julho, tanto do ano de 2023, quanto de 2024 as condições oceânicas apresentaram um cenário que desfavorecia a ocorrência de chuvas na Amazônia Legal. Comparando os sete primeiros meses do ano, notou-se que em 2023 os volumes de chuvas, embora tenham sidos reduzidos em relação a climatologia (Figura 2), ou seja, inferiores a 1000 mm, foram superiores ao mesmo período do ano de 2024, cujo total foi menor a 750 mm, sobretudo no sul e oeste da região, sendo representada pelos desvios positivos de chuva (Figura 5a-c). Neste período, principalmente em janeiro e março o Mato Grosso se destacou com praticamente todo o seu território com desvios positivos de chuva (Figura 5i e 5k).

Nos meses secos pode ser observado o mesmo padrão de maior volume de chuva em 2023, quando comparado à 2024 em toda a área analisada (Figura 6 a-f), sendo destacado com o excesso de chuva (desvio positivo) na Figura 6g-i. Sugere-se que um erro sistemático nos dados de chuva tenha ocorrido em uma pequena área no centro do Mato Grosso que apresentou chuva superior a 100 mm em maio e junho de 2024 (Figura 6d-e). No mês de julho em ambos os anos analisados o acumulado de chuva esteve abaixo da climatologia e próximo de 1 mm na maior parte do sul da Amazônia Legal.

Figura 05: Total de chuva para o sul da Amazônia Legal de janeiro a julho em:
(a) 2023, (b) 2024 e a diferença entre a o total de chuva de janeiro a julho de 2023 e 2024.



janeiro, (b) fevereiro, (c) março e (d) abril. Acumulado mensal em 2024 para: (e) janeiro, (f) fevereiro, (g) março e (h) abril. E a diferença entre o acumulado mensal de chuva de 2023 e 2024 para: (i) janeiro, (j) fevereiro, (k) março e (l) abril.

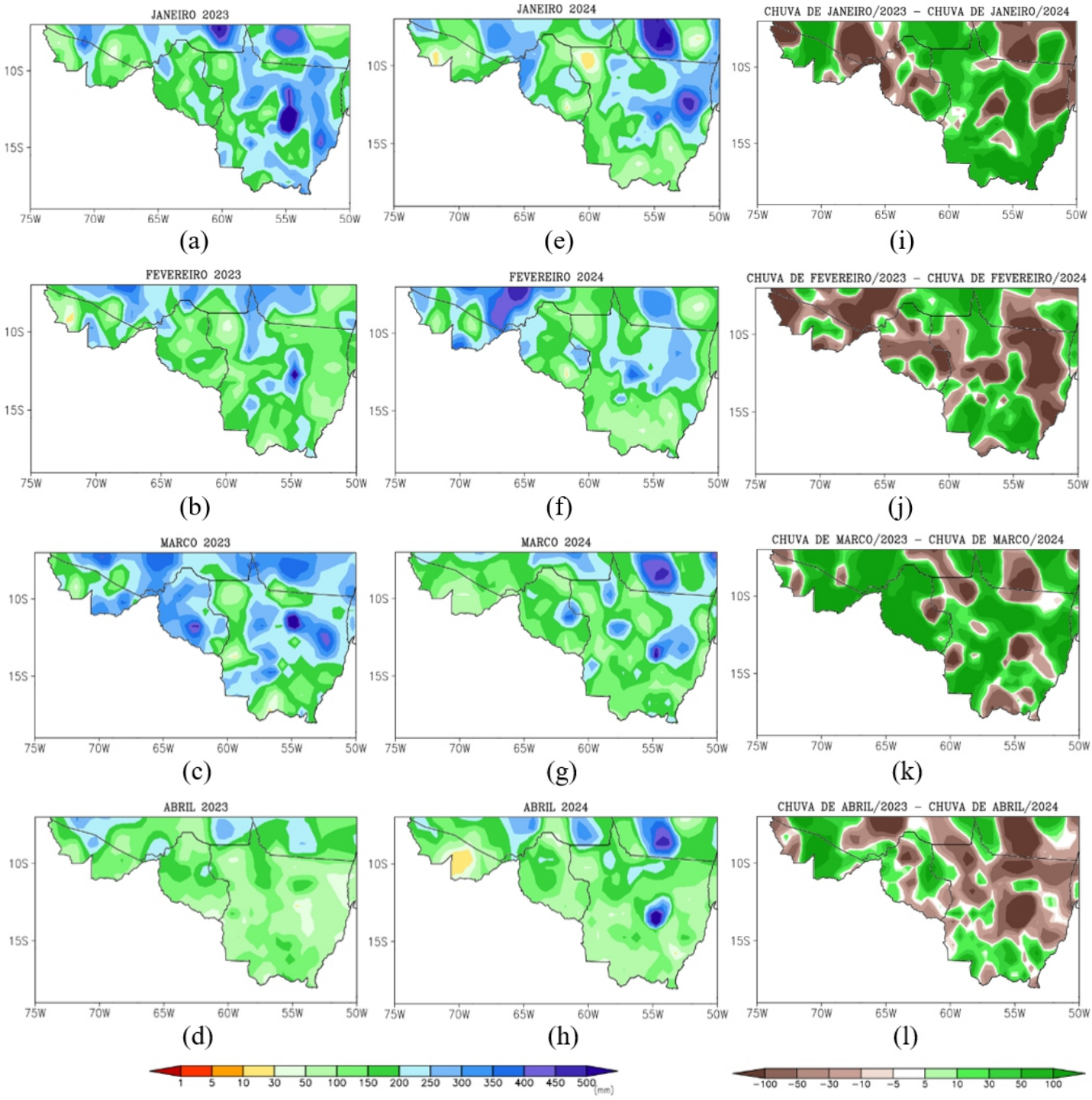
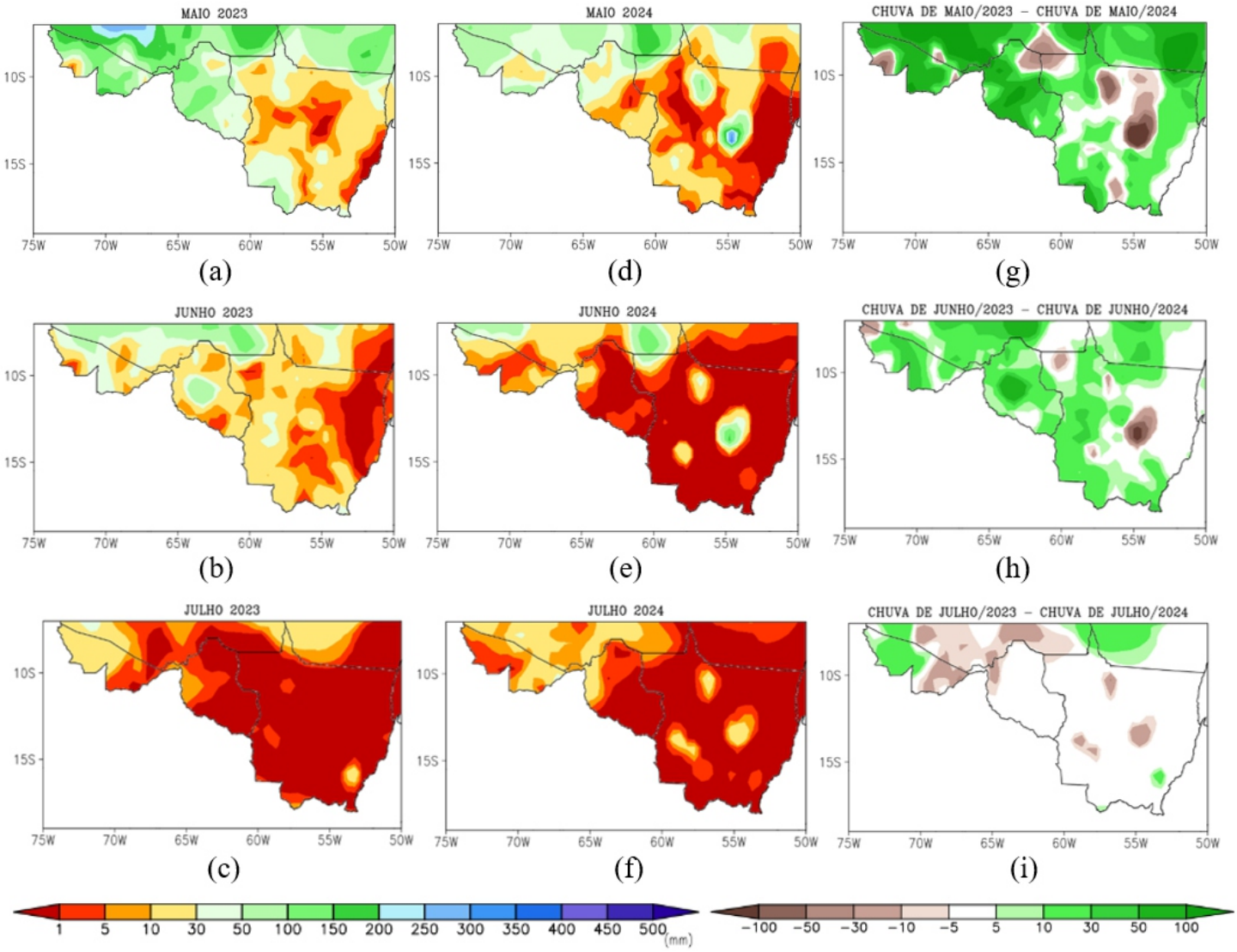


Figura 07: Chuva para o sul da Amazônia Legal. Acumulado mensal em 2023 para: (a) maio, (b) junho e (c) julho. Acumulado mensal em 2024 para: (d) maio, (e) junho e (f) julho. E a diferença entre o acumulado mensal de chuva de 2023 e 2024 para (g) maio, (h) junho e (i) julho.



## CONCLUSÕES

A distribuição espacial e temporal na Amazônia Legal é extremamente modulada pelas condições Oceânicas, sobre tudo dos Oceanos Atlântico e Pacífico. Devido a ocorrência do fenômeno El Niño 2023/2024 e da persistência do intenso aquecimento na Bacia Norte do Atlântico Tropical os anos de 2023 e 2024 foram marcados por uma forte estiagem na Amazônia Legal, ambas com impactos na região. Utilizando os acumulados mensais de chuva do CPC de janeiro a julho e comparando os anos de 2023 e 2024, conclui-se que a estiagem de 2024 foi mais intensa no contexto dos acumulados mensais de chuva no sul da Amazônia Legal, em relação ao ano anterior, com volumes de chuvas inferiores aos de 2024 na maior parte da área analisada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) e ao Instituto Tecnológico Vale (ITV) pelo apoio à elaboração deste estudo.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, L. E. O. C., et al. 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. Nature communications, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018.

BRANDO, P. M., et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 111, n. 17, p. 6347-6352, 2014.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitions distribution over Central and Western Tropical South America. Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v. 5, n. 6, p. 36 - 45, 1990.

HUANG, B., C. et al. Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1, Journal of Climate, v. 34, p.2923-2939, 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). "Amazônia Legal", 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15819-amazonia-legal.html?edicao=37404&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 06 de set. 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Normais Climatológicas de 1991-2020, 2022. Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/1961-1990/precipitacao_acumulada_mensal_anual. Acesso em: 06 de set. 2024.

MARENGO, J. A., et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. Geophysical Research Letters, v. 38, n. 12, 2011.

MARENGO, J. A., et al. Changes in climate and land use over the Amazon Region: Current and future variability and trends. Frontiers in Earth Science, v. 6, n. 228, 2018.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2024. Cold & Warm Episodes by Season. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 10 de set. 2024.

NOBRE, C. A., et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

PHILLIPS, O. L., et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. Science, v. 323, n. 5919, p. 1344-1347, 2009.

RAMOS DA SILVA, Renato; WERTH, David; AVISSAR, Roni. Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon basin wet-season climate. Journal of climate, v. 21, n. 6, p. 1153-1170, 2008.

REYNOLDS, Richard W. et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. Journal of climate, v. 20, n. 22, p. 5473-5496, 2007.

SILVA, V. B., et al. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. Journal of Hydrometeorology [on line], v. 8, n. 4, p. 847-861, 2007.

SOUZA, E. et al. On the influences of the el Niño, la Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. Acta Amazônica, v.30, n. 2, p. 305-318, 2000.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 78, n. 12, p. 2771-2778, 1997.

UVO, C. R. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro. 1989.

# IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E URBANOS CAUSADOS POR ALAGAMENTOS EM UM MUNICÍPIO NO LESTE DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Mudanças Climáticas

Vânia dos Santos Franco
Pesquisadora Bolsista, Meteorologista, Instituto Tecnológico Vale
vania.franco@pq.itv.org

Edmir dos Santos Jesus
Pesquisador Bolsista, Meteorologista, Instituto Tecnológico Vale
edmir.jesus@pq.itv.org.

Douglas Batista da Silva Ferreira
Pesquisador, Meteorologista,
Instituto Tecnológico Vale
douglas.silva.ferreira@itv.org

Karla Beatriz de Souza Soares
Estagiária, Estudante de Meteorologia,
Instituto Tecnológico Vale
karla.soares@itv.org

João Marcos Araújo Brandão
Estagiário, Estudante de Meteorologista,
Instituto Tecnológico Vale
joao.brandao@pq.itv.org

Cláudia Priscila Wanzeler da Costa
Pesquisadora, Meteorologia,
Instituto Tecnológico Vale
claudia.costa@itv.org

## Resumo

As cidades da Amazônia têm sido cada vez mais afetadas por alagamentos, resultado tanto dos altos volumes de precipitação quanto da crescente expansão urbana desordenada. Esses eventos têm gerado graves impactos socioambientais e urbanos frente as mudanças climáticas. Este estudo teve como objetivo analisar os danos causados pela passagem de um sistema convectivo precipitante sobre a área urbana de São Luís - Maranhão, ocorrido em 13/05/2024. A análise do volume extremo de precipitação foi realizada a partir dos dados diários de nove estações da Agência Nacional de Águas. Além disso, foram examinadas imagens de satélites disponíveis no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, o que permitiu uma avaliação detalhada da evolução do evento climático. O estudo destacou como relevante a avaliação da expansão urbana de São Luís entre os anos de 1985 e 2020. O crescimento acelerado e desordenado da cidade, sem o devido planejamento de drenagem e infraestrutura, aumentou a vulnerabilidade a inundações. O sistema convectivo que atingiu a cidade gerou um acumulado de 225,2 mm de precipitação, resultando em inundações significativas que causaram diversos danos sociais e econômicos, além de prejuízos como perdas materiais de moradores e comerciantes, a interrupção de serviços essenciais, como o fornecimento de energia e água, afetando a população local e setores produtivos, como o comércio e a indústria de mineração. Para mitigar os impactos de eventos similares no futuro, o estudo destaca a necessidade urgente de planejamento urbano adequado, aliado à implementação de políticas públicas eficazes no monitoramento climático e prevenção de riscos a população.

**Palavras-chave:** Evento extremo, Precipitação, Urbanização, São Luís

# INTRODUÇÃO

A Amazônia é uma região caracterizada por altos índices pluviométricos, com uma estação chuvosa bem definida. Entretanto, com as mudanças climáticas globais, eventos de precipitação extrema têm se tornado mais frequentes e intensos. Segundo estudos, esses eventos estão diretamente relacionados ao aumento da temperatura e à modificação dos padrões atmosféricos, que intensificam as chuvas em períodos curtos de tempo, sobrecarregando os sistemas de drenagem das cidades (MAIA et al., 2017).

Além disso, a expansão urbana desordenada contribui significativamente para o agravamento desses impactos. O processo de urbanização na Amazônia frequentemente ocorre sem um planejamento adequado, levando à ocupação de áreas de risco, como encostas e várzeas, que são mais suscetíveis a alagamentos e deslizamentos. A impermeabilização do solo nas áreas urbanas, por meio da construção de ruas e edifícios, reduz a capacidade de infiltração da água, aumentando o escoamento superficial e, consequentemente, a frequência e a intensidade das inundações (QIN, 2020; PEREIRA SOUZA et al, 2019).

Os impactos urbanos causados por elevados volumes de precipitação na Amazônia representam um desafio crescente para as cidades da região, que enfrentam frequentes enchentes, deslizamentos de terra, alagamentos e degradação das infraestruturas urbanas. O regime de chuvas intensas, característico da Amazônia, somado aos impactos das mudanças climáticas, tem intensificado esses eventos extremos, sobrecarregando os sistemas de drenagem e aumentando os riscos de desastres (DE SIQUEIRA PINTO et al, 2023). A rápida urbanização desordenada, a falta de planejamento adequado e a impermeabilização do solo nas áreas urbanas agravam ainda mais os impactos, resultando em perdas econômicas, danos às habitações e prejuízos à qualidade de vida das populações locais, especialmente as mais vulneráveis (BISPO; LEVINO, 2011).

Para mitigar os danos causados pelos altos volumes de precipitação, é necessário um planejamento urbano mais eficaz. Soluções baseadas na natureza, como a criação de áreas verdes e a ampliação de zonas de infiltração, as quais podem minimizar os impactos das chuvas intensas sobre a região. Além disso, o fortalecimento dos sistemas de drenagem e a proibição da ocupação de áreas de risco são medidas essenciais para a prevenção de desastres.

No entanto, essas iniciativas precisam ser combinadas com políticas públicas que levem em consideração as especificidades climáticas da Amazônia e promovam a adaptação das cidades às mudanças climáticas. Assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar os impactos socioeconômicos e urbanos decorrentes da passagem de sistema convectivo precipitante sobre a área urbana de São Luís, no dia 13 de maio de 2024.

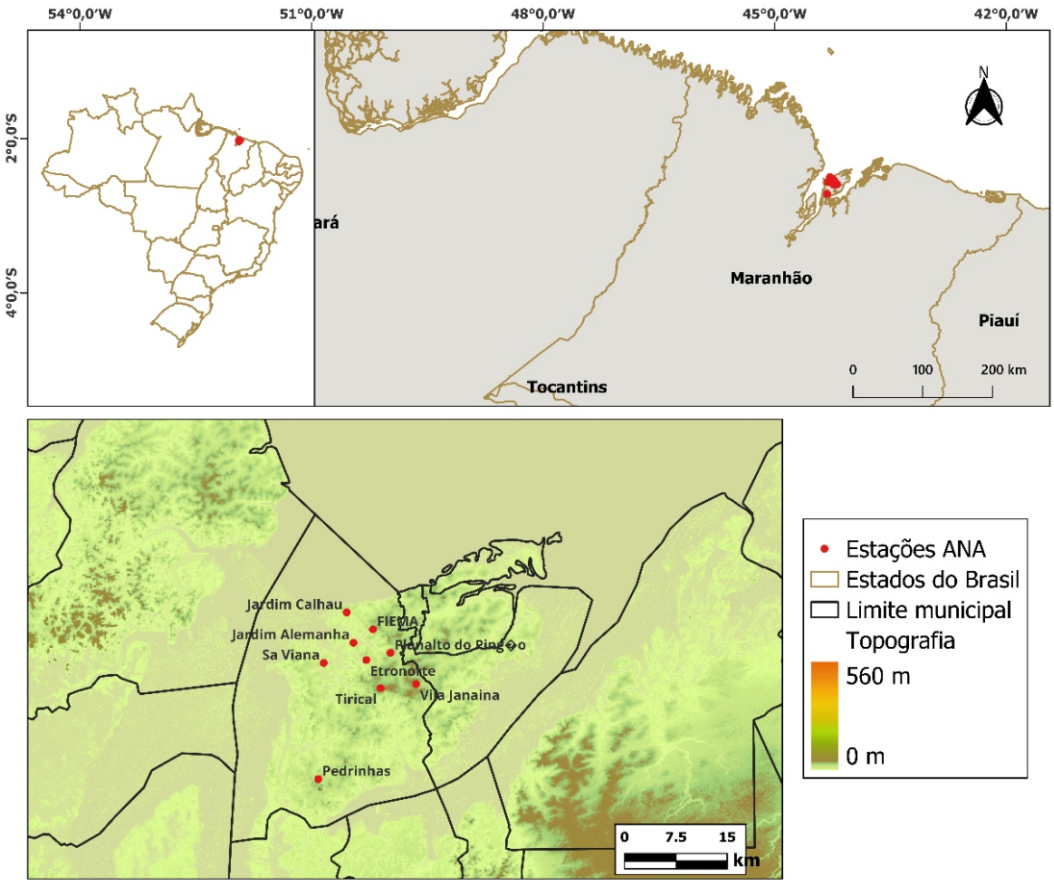
# METODOLOGIA

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o município de São Luís (Figura 01), capital do Maranhão, localizado entre as coordenadas geográficas 2° 34' 41,8" de latitude S e 44° 16' 50,4" de longitude W, área territorial de 583, 063 km² (IBGE, 2021) e população estimada em 1.108,975 habitantes, é o município mais populoso do Estado e o quarto da Região Nordeste.

Quanto a climatologia, apresenta clima do tipo Aw' tropical quente e úmido com duas estações bem definidas e distintas ao longo do ano, uma caracterizada pelo período chuvoso nos meses de janeiro a junho (precipitação máxima em abril, 452,8 mm) e outra menos chuvosa (precipitação mínima de 2,8 mm em outubro) no semestre que se estende de julho a dezembro, de acordo com as Normais climatológicas de 1991-2020 (INMET, 2024). Os sistemas atuantes e a formação da estação chuvosa dependem, principalmente de condições ideais de temperatura do Oceano Atlântico Tropical. Com a convergência das massas de ar Equatorial Atlântica e Equatorial Continental, produz a chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), essa Zona é oriunda da convergência dos ventos alísios dos Hemisférios Norte e Sul, fenômeno principal para precipitação pluviométrica na região. Além da ZCIT, destacam-se outros sistemas indutores de precipitação na região, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL - ondas de leste), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Linhas de Instabilidades (LI), Brisas marítimas e terrestres.

Figura 01: localização das estações da ANA situadas na região urbana de São Luís – MA.




## DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizados os dados diários de precipitação das estações pluviométricas de FIEMA, Eletronorte, Jardim Alemanha, Jardim Calhau, Planalto do Pigão, Pedrinhas, Sá Viena, Vila Janaína e Tirical disponibilizados pelo portal

(https://www.snirh.gov.br/gestorpcd) pertencente a Agência Nacional de Águas (ANA), do dia 13 de maio de 2024 (Tabela 01). Também foram utilizadas imagens de satélite do canal infravermelho do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), entre os horários das 13h00 às 15h30 (hora local), disponibilizados em https://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic. E acrescidas as imagens de notícias veiculadas nas mídias visual e escrita local.

A fim de analisar as mudanças no uso e cobertura do solo em São Luís, utilizou-se a base de dados do Projeto Anual de Mapeamento e Uso da Terra no Brasil (MapBiomas), referentes aos anos de 1985, 1991, 2000, 2010 e 2020.

Tabela 01: coordenadas geográficas das estações da ANA situadas em São Luís

| Estações | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|---|---|---|---|
| FIEMA | -2,52098 | -44,24708 | 18 |
| Eletronorte | -2,56128 | -44,25571 | 32 |
| Jardim Alemanha | -2,53849 | -44,27258 | 9 |
| Jardim Calhau | -2,49873 | -44,28156 | 14 |
| Planalto do Pingão | -2,55193 | -44,22401 | 45 |
| Pedrinhas | -2,71773 | -44,31898 | 37 |
| Sá Viana | -2,56503 | -44,31181 | 37 |
| Vila Janaina | -2,59289 | -44,19027 | 54 |
| Tirical | -2,59811 | -44,23692 | 59 |

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## QUANTITATIVO DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

O mês de maio ainda está dentro do período chuvoso em que vários sistemas podem estar atuantes na região de São Luís como a ZCIT. O INMET, em seu Informativo Meteorológico Nº 17/2024, informou que havia a previsão de altos acumulados (acima de 70 mm) de chuva associados a ZCIT, no noroeste do Maranhão (que inclui São Luís) para o período de 6 a 13 de maio.

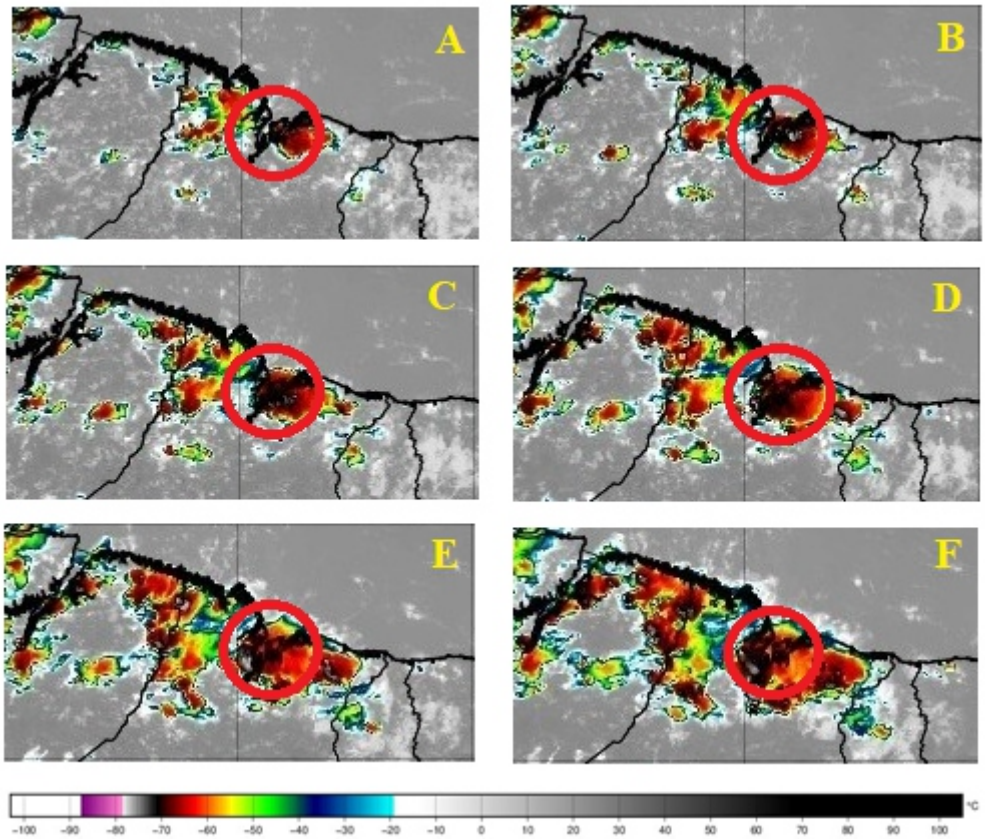
A Figura 02 mostra a evolução do sistema convectivo formado por aglomerados de nuvens cumulonimbus que passou sobre a região de São Luís no dia 13 de maio de 2024 e que atingiu a área urbana com alto valores pluviométricos. O sistema iniciou às 13 horas (painel A) e evolui até as 15h30 horas (painel F).

As imagens de satélite, capturadas pelo canal infravermelho, revelam a temperatura do topo das nuvens mais frias, que estão abaixo de -60°C. Esse dado é particularmente importante porque a baixa

temperatura do topo das nuvens está associada a grandes altitudes, onde se formam nuvens cumulonimbus, indicativas de tempestades severas. A dispersão dessas nuvens sobre o município de São Luís sugere a presença de fortes chuvas localizadas, com potencial para provocar condições climáticas adversas, como tempestades com relâmpagos, granizo, e ventos intensos. Além disso, esse tipo de formação é comum em áreas onde há convergência de umidade e instabilidade atmosférica significativa.

A região amazônica influenciada por sistemas como a ZCIT, convecção local, entre outros (SIQUEIRA et al., 2010), sistemas estes que provocam grandes totais pluviométricos no Nordeste do Brasil. O munícipio de São Luís por estar localizado na região amazônica têm grandes volumes de precipitação pluviométrica e que fazem parte da climatologia da Amazônia (SANTOS; SILVA JÚNIOR; ROCHA; 2020).

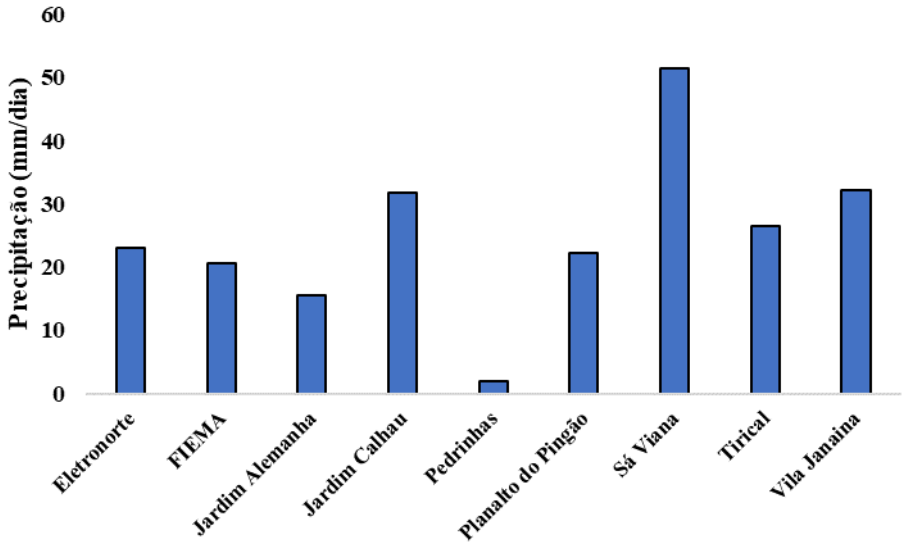
Figura 02: Evolução do sistema convectivo que passou sobre a região de São Luís atingindo a área urbana no dia 13 de maio de 2024. Onde: A) Inicio da evolução do sistema às 13h local, B) evolução do sistema às 13h30, C) evolução do sistema às 14h, D) evolução do sistema às 14h30, E) evolução do sistema às 15h e, F) final da evolução do sistema às 15h30.



A Figura 03 apresenta a precipitação pluviométrica registrada nas estações da ANA para o dia 13 de maio de 2024. Observa-se que o maior quantitativo (aproximadamente 60 mm) de precipitação registrada foi na estação de Sa Viana com localização na porção oeste do município. O total registrado nas nove estações pluviométricas foi de 225,2 mm. De acordo com as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1991-2020, a precipitação no mês de maio, no município de São Luís é de 312mm, e a precipitação registrada nas estações da ANA naquele dia corresponderam a 72,2% da precipitação esperada para o mês.

Segundo Moura et al. (2016) O valor pluviométrico registrado nas estações da ANA foi classificado por como chuvas extremas (precipitação acima de 100 mm/dia) que ocasionam desastres hidrometeorológicos.

Figura 03: Quantitativo da precipitação registrada pelas estações pluviométricas da ANA no dia 13/05/2024.

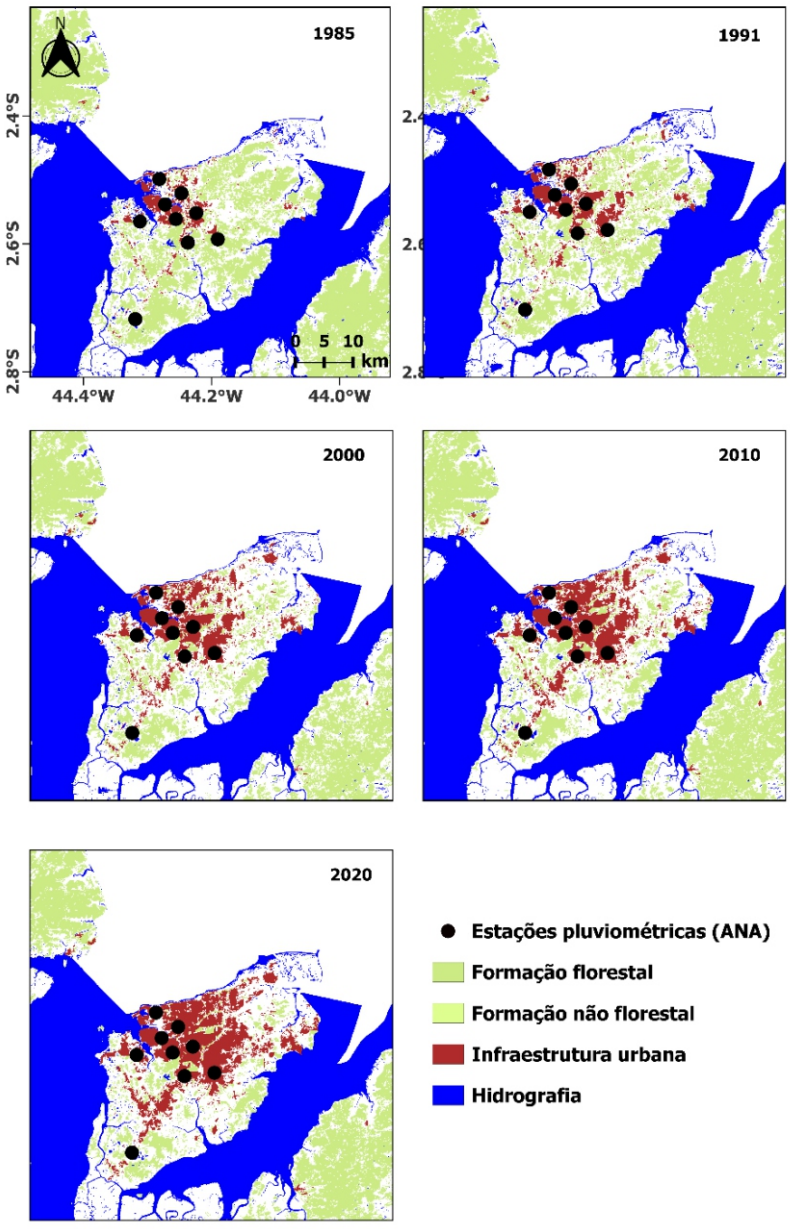



## USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

No mapa da Figura 4, pode-se observar a distribuição espacial do uso e cobertura do solo na área de estudo. Nota-se que as estações de São Luís estão inseridas, em uma ampla área de infraestrutura urbana desde a década de 1980, nas décadas posteriores, essa classe se expande para todas as direções ao redor das estações, abrangendo as regiões norte, sul, leste e oeste, porém, em menor proporção na área sul onde está localizada a estação de Pedrinhas. A expansão urbana intensa induz impactos locais, como mudanças na composição atmosférica (SETO et al, 2009), contribuindo para eventos de precipitação extrema como o ocorrido em São Luís. Além disso, a retirada de floresta contribui para aumento do escoamento superficial e este por sua vez, quando a chuva é intensa e constante, pode ficar inabilitado, provocando inundações. A extensão das superfícies pavimentadas diminui a

infiltração de água e aumenta o escoamento após um evento de precipitação e, portanto, pode fornecer um impacto relevante no regime de fluxo de água e risco de inundação (FERREIRA et al, 2021).

Figura 04: Mapa de uso e cobertura do solo da região metropolitana de São Luís, para os anos de 1985, 1991, 2000, 2010 e 2020.




## DANOS DECORRENTE DA INUNDAÇÃO

A forte precipitação ocorrida no dia 13 de maio de 2024, ocasionou grandes transtornos aos moradores de São Luís (Figura 05). Dentre as consequências estão os alagamentos de inúmeras áreas de São Luís. Por conta do volume de água nas ruas, alguns motoristas chegaram ficar presos e outros, tiveram dificuldades para

transitar na avenida, além disso, houve falta de energia e inundações de residências e comércios. Isso implica prejuízo econômico devido aos danos e extravios de bens materiais. Outro setor muito afetado com os altos volumes de precipitação foi a indústria de mineração devido à falta de energia que fez paralisar as atividades e assim causou grandes prejuízos financeiros, pois de acordo com Qin (2020), a inundação urbana ainda é um problema sério e não resolvido.

Vale ressaltar que além das causas naturais, os eventos extremos podem estar associados a causas antropogênicas, associadas ao aumento da emissão de gases de efeito estufa por queima de combustíveis fósseis (dos automóveis, das indústrias, usinas termoelétricas), queimadas, desmatamento, decomposição de lixo etc (LEE et al, 2023).

Figura 05: Registro das consequências após a inundação sobre a área urbana do município na tarde do dia 13/05/2024 (Fonte: G1 Maranhão)

## CONCLUSÕES

A quantidade pluviométrica ocorrida no dia 13 de maio de 2024, sobre a região urbana de São Luís, foi ocasionada por sistema de grande escala (ZCIT) e pode estar associado às mudanças climáticas ocasionadas por processos antropogênicos. Tal sistema causou danos sociais e econômico à população, comércios, indústria de mineração etc., além de prejuízo ao poder público pela limpeza das ruas atingidas.

Os impactos urbanos causados por eventos extremos de precipitação na Amazônia são um reflexo da interação entre fatores climáticos e sociais, agravados pelas mudanças climáticas e pela urbanização desordenada. Para reduzir os impactos dessas chuvas intensas, é necessário um esforço conjunto entre governos, sociedade e especialistas, com foco em planejamento urbano resiliente e ações de adaptação climática. Somente por meio dessas medidas será possível minimizar as perdas e garantir uma melhor qualidade de vida para as populações urbanas amazônicas.

## AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece ao Instituto Tecnológico Vale pela oportunidade da apresentação do referido estudo.

## REFERÊNCIAS

BISPO, Telma Cavalcanti; LEVINO, N. de A. Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: um estudo da região da periferia de Maceió/AL. Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011.

DE SIQUEIRA PINTO, Josefa Eliane Santana; ANJOS, Max; BRAZIL, João Luiz Santana. Urban Faces of Climate and Floods in Aracaju, Northeastern Brazil. In: Urban Flooding in Brazil. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 193-208.

FERREIRA, Carla SS et al. Rainfall-runoff-erosion processes in urban areas. In: Precipitation. Elsevier, 2021. p. 481-498.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Cidades e Estados. 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/paragominas.html. Acesso em: 12 ago. 2024.

LEE, Hoesung et al. Climate change 2023: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. The Australian National University, 2023.

MAIA, Meirilane Rodrigues; DE SIQUEIRA PINTO, Josefa Eliane Santana; LIMA, Espedito Maia. Eventos pluviométricos extremos na cidade de Vitória da Conquista (BA) entre 1995 e 2015 (extreme pluviometric events in the city of Vitória da Conquista (BA) between 1995 and 2015). Revista GeoNordeste, n. 2, p. 42-55, 2017.

MOURA, M. O.; CUNICO, C.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C., 2016. Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública; Caderno de Geografia, v.26, número especial2.

PEREIRA SOUZA, Fernanda; LEITE COSTA, Maria Elisa; KOIDE, Sergio. Hydrological modelling and evaluation of detention ponds to improve urban drainage system and water quality. Water, v. 11, n. 8, p. 1547, 2019.

QIN, Yinghong. Urban flooding mitigation techniques: A systematic review and future studies. Water, v. 12, n. 12, p. 3579, 2020.

SANTOS, L.S.; SILVA JÚNIOR, O.M.; ROCHA, M.A.N. Mapa de múltiplas ameaças: um sobreaviso a população amazônica. In: Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2. ed. – São Paulo: CPS, 2020. 865 p.: il. Pg 626-641. <https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020-36.pdf> (Acesso 20 jul 2024).

SETO, Karen C.; SHEPHERD, J. Marshall. Global urban land-use trends and climate impacts. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 1, n. 1, p. 89-95, 2009.

SIQUEIRA, A., H. B. et al. Eventos extremos de precipitação de maio de 2006 sobre Alagoas: uma análise de suas causas e seus impactos. Revista Ambientale, v. 2, n. 2, p. 147-153, 2010.

# AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DEGRADAÇÃO VEGETAL NO BALANÇO DE ENERGIA NA APA DE ITUPARARANGA PARA 2015, 2019 E 2023

Mudanças Climáticas

Mayra Vannessa Lizcano Toledo
Me. Univerdidade estadual Paulista - Unesp
Campus Sorocaba
Departamento de Ciências ambientais
mayra.lizcano@unesp.br.

Gabriela dos Santos Luchetti Vieira
Universidade Estadual Paulista - Unesp
Campus Sorocaba
Departamento de Ciências ambientais
gabriela.luchetti@unesp.br.

Roberto Wagner Lourenço
Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista - Unesp
Campus Sorocaba
Departamento de Ciências ambientais
roberto.wagner@unesp.br.

## Resumo

Esta pesquisa avaliou a degradação da vegetação nos anos de 2015, 2019 e 2023 e seus impactos no balanço de energia da área de estudo. Foi utilizado imagens do satélite Sentinel-2 para classificar o uso da terra por meio de redes neurais artificiais do tipo Multi-Layer Perceptron, cuja precisão foi avaliada com matrizes de confusão e pelo índice Kappa. Foram calculados índices de vegetação como NDVI, EVI e NDWI, além de variáveis relacionadas ao balanço de energia. O albedo, a radiação solar de onda curta e longa foram extraídos de imagens do satélite Landsat 8, enquanto o fluxo de calor sensível, o fluxo de calor latente e a temperatura do ar foram obtidos do serviço Copernicus Climate Change Service. Esses dados foram analisados para os períodos seco e chuvoso, calculando-se uma média utilizada nas análises posteriores. A correlação de Pearson foi aplicada para investigar a relação entre a degradação da vegetação e as variáveis do balanço de energia, utilizando dados normalizados. Os índices de vegetação indicaram uma redução no vigor fotossintético da APA entre 2015 e 2023, enquanto variáveis como o albedo mostraram variações associadas a mudanças na cobertura terrestre identificadas pelas classificações, que apresentaram um índice Kappa de 0,99. Finalmente, as correlações revelaram relações significativas entre as variáveis analisadas, algumas das quais refletem mudanças nos padrões climáticos.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Índices de Vegetação; SEBAL; Sentinel 2

# INTRODUÇÃO

A degradação ambiental tem-se intensificado em diversas regiões do Brasil ao longo dos últimos anos, o que resulta em consequências para os ecossistemas, refletindo na qualidade de vida da população (Thomas et al., 2020). A APA de Itupararanga, localizada no estado de São Paulo, é uma área de proteção ambiental que enfrenta diversos desafios, entre os quais a perda de cobertura vegetal (Bernadi et al., 2020). Esse fenômeno, o qual é impulsionado por atividades antrópicas como a agricultura intensiva, urbanização e exploração de recursos naturais, compromete a biodiversidade, alterando o ciclo hidrológico e afetando o clima da região. A degradação da vegetação nativa, em particular, pode ter efeitos drásticos no balanço de energia da região, que influencia a dinâmica dos processos atmosféricos e terrestres (Spera et al., 2016).

Entre as ferramentas desenvolvidas para o monitoramento de mudanças ambientais, encontra-se o geoprocessamento, que permite a análises e mapeamento de alterações na cobertura do solo, bem como avaliar os impactos resultantes dessas mudanças. Métodos como a classificação de imagens de satélite e a geração de índices de vegetação são fundamentais para quantificar a extensão da degradação vegetal e monitorar a evolução temporal dessas alterações. O uso de técnicas de geoprocessamento permite, portanto, uma análise detalhada e precisa das transformações na paisagem, facilitando a compreensão das suas consequências para o ecossistema (Xie et al., 2019).

Entre as metodologias de análise, o modelo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) destaca-se como uma ferramenta eficaz para estimar o balanço de energia na superfície terrestre. O SEBAL permite calcular fluxos de energia como radiação solar, calor sensível e latente, proporcionando uma visão abrangente sobre como a energia é distribuída na superfície (Bastiaanssen et al. 1998).

Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos da degradação vegetal no balanço de energia na APA de Itupararanga para os anos de 2015, 2019 e 2023. Através da aplicação do modelo SEBAL e de técnicas de geoprocessamento.

# METODOLOGIA

## AREA DE ESTUDO

A Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga, situada entre os municípios de Alumínio, Cotia, Votorantim, Vargem Grande Paulista, Mairinque, São Roque, Piedade e Ibiúna, é uma Unidade de Conservação (UC) de 936,51km$^2$ que foi instituída em 1998 pela lei nº 10.100 com a finalidade de preservar e conservar os recursos naturais, especialmente o reservatório de Itupararanga, que é a principal fonte de abastecimento da região (Bernadi et al., 2020).

## PROCESSAMENTO E ANÁLISES DE DADOS

Para a realização deste estudo, foram adquiridas variáveis para os períodos seco e chuvoso, da cobertura vegetal e do balanço de energia na APA de Itupararanga, sendo calculadas as médias anuais para os anos de 2015, 2019 e 2023. Foram utilizadas as

imagens de satélite do sensor Sentinel-2 com resolução espacial de10 m para gerar índices espectrais, e os dados de temperatura do ar, fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente foram extraídos do sistema *Copernicus Climate Change Service*, e a evapotranspiração junto ao *TerraClimate,* com resolução espacial de 0,1 x 0,1 e 0,5 x 0,5 graus, respetivamente. As imagens foram reescalonados e reprojetados para o sistema de coordenadas SIRGAS2000 UTM 23S, assegurando a compatibilidade com os demais conjuntos de dados utilizados.

O processamento dos dados envolveu várias etapas de cálculo de índices espectrais, utilizando imagens do satélite Sentinel-2. Foram calculados os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*), os quais são essenciais para a análise da cobertura vegetal e da umidade do solo. Esses índices proporcionam uma compreensão detalhada das condições da vegetação e da disponibilidade hídrica na área de estudo, servindo como indicadores-chave para avaliar as mudanças ambientais ao longo do tempo. As equações são apresentadas em Sousa et al. (2019).

Além disso, foi utilizado o modelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), para estimar o albedo da superfície, a radiação de onda curta incidente e a radiação de onda longa incidente, componentes fundamentais para o cálculo do balanço de energia. As equações utilizadas são apresentadas em Bastiaanssen et al. (1998).

Posteriormente, os dados foram normalizados para assegurar uma escala comum entre parâmetros com intervalos diferentes. Essa normalização foi realizada considerando os valores máximos e mínimos de cada série, resultando em variáveis padronizadas dentro de um intervalo de 0 a 1. Esse processo permitiu uma comparação mais precisa entre os diferentes conjuntos de dados, facilitando a análise integrada dos resultados.

## CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA

A classificação do uso da terra foi realizada através de Redes Neurais Artificiais (RNA) do tipo *Perceptron Multicamadas* (MLP). Esta técnica permite uma classificação precisa com base nos dados de entrada, sendo a classificação crucial para identificar as mudanças no uso e cobertura do solo ao longo dos anos estudados. As classes utilizadas são as estabelecidas pelo manual do uso da terra do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), especificamente as classes de nível 1. Estas classes incluem categorias Água, Áreas de vegetação natural, Áreas antrópicas agrícolas, Áreas antrópicas não agrícolas e outras áreas. As classificações foram avaliadas através de matrizes de confusão e do índice Kappa, permitindo uma análise quantitativa da precisão e da confiabilidade dos resultados obtidos. No qual, a matriz de confusão fornece uma visão detalhada de como cada classe foi classificada, enquanto o índice Kappa mede o grau de concordância entre a classificação automática e a referência (EASTMAN, 2016).

## AVALIAÇÃO DOS EFEITOS NO BALANÇO DE ENERGIA

Finalmente, para avaliar os efeitos da degradação vegetal no balanço de energia, foi realizada uma análise de correlação de Pearson entre as variáveis calculadas, como albedo, evapotranspiração, fluxo de calor sensível e latente, e os índices de

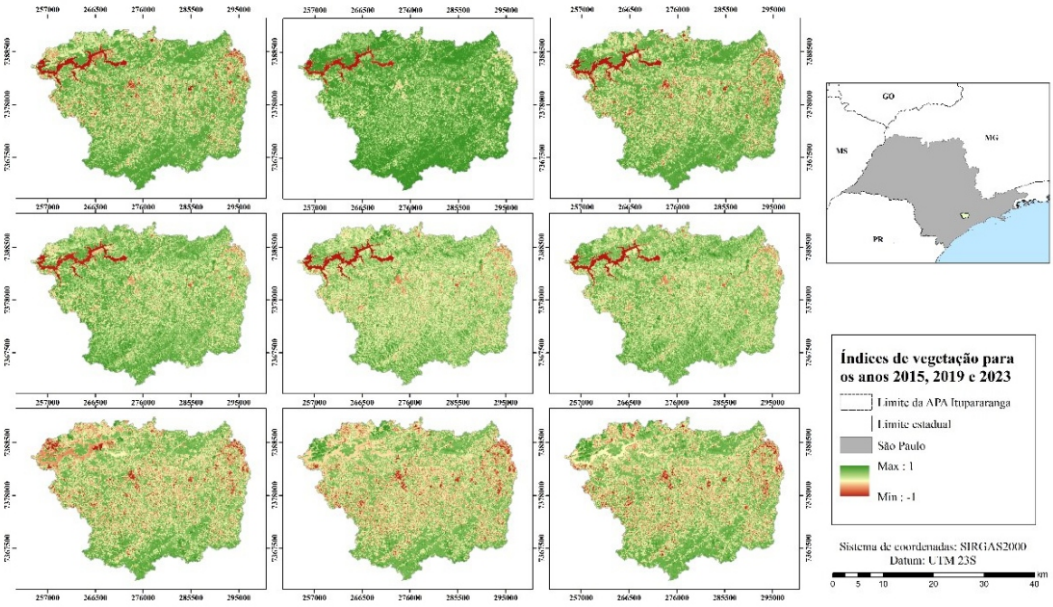
vegetação. A correlação de Pearson forneceu uma medida quantitativa da força e direção dessas relações, auxiliando na compreensão dos impactos ambientais decorrentes da degradação da vegetação na região estudada. A equação de Pearson pode ser encontrada na pesquisa de Filho et al. (2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 01, são apresentados os resultados dos índices NDVI, EVI e NDWI. Para o NDVI em 2015, observa-se vegetação saudável, especialmente na região sul da área de estudo, com valores que atingem até 0,94. Em 2019, verifica-se uma diminuição do vigor fotossintético, com valores reduzidos para 0,92, particularmente na região central da área de estudo, onde predominam as principais áreas antrópicas não agrícolas. Em 2023, o valor máximo do NDVI atinge 0,89. De acordo com Kinyanjui (2011), a diminuição do NDVI é um indicativo de degradação da vegetação em uma área.

Em relação ao EVI (Figura 02), observa-se uma maior sensibilidade às áreas de vegetação mais densa. Em 2015 (Figura 02 D), a região sul apresenta alta densidade de vegetação. Em 2019 (Figura 02 E), nota-se uma redução na densidade de vegetação nas regiões central e leste da área de estudo. Já em 2023 (Figura 02 F), há uma recuperação visível nas regiões norte e sul da área de estudo.

Figura 01: índices de vegetação A) NDVI 2015 B) NDVI 2019 C) NDVI 2023
D) EVI 2015 E) EVI 2019 F) EVI 2023 G) NDWI 2023 H) NDWI 2019 I) NDWI 2023




Quanto ao NDWI (Figura 02), em 2015, as regiões com maior presença de água na vegetação estão localizadas nas porções norte e sul, enquanto a região central apresenta menor presença de água. Em 2019, houve uma expansão das áreas secas, principalmente na região central da APA de Itupararanga. Finalmente, em 2023, observa-se uma recuperação da umidade nas porções norte e sul, enquanto a região central continua apresentando menor umidade.

O albedo para 2015, apresentou valores máximos e mínimos de 0,748 e 0,027, respectivamente. Em 2019, houve um aumento no valor máximo (0,816), enquanto o mínimo permaneceu próximo ao observado em 2015. Em 2023, o albedo máximo aumentou ainda mais para 0,983, e o mínimo apresentou um leve aumento para 0,047. Segundo Boiser et al. (2012) o aumento contínuo no albedo sugere uma maior refletividade da superfície ao longo do tempo é indicativo de mudanças na cobertura do solo.

A Tabela 01 apresenta dados anuais para as variáveis do balanço de energia e temperatura do ar, com valores máximos e mínimos registrados nos anos de 2015, 2019 e 2023.

Tabela 01: variáveis do balanço de energia

| Ano/Variáveis | | Albedo | $Rs_{\downarrow}$ ($W/m^2$) | $R_{L\downarrow}$ ($W/m^2$) | Celsius | H ($W/m^2$) | LE ($W/m^2$) | ET (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2015** | Max | 0,748 | 991,949 | 349,233 | 27,4 | 0,834 | -15,89 | 62,9 |
| | Média | 0,150 | 905,205 | 342,36 | 26 | -0,55 | -17,16 | 61,89 |
| | Min | 0,027 | 903,073 | 339,139 | 25,4 | -1,02 | -18,96 | 60 |
| **2019** | Max | 0,816 | 667,778 | 328,566 | 22,9 | 0,407 | -17,52 | 69,95 |
| | Média | 0,142 | 662,839 | 323,672 | 21,8 | -0,88 | -20,86 | 68,98 |
| | Min | 0,031 | 661,278 | 320,886 | 21,4 | -1,26 | -23,11 | 67,1 |
| **2023** | Max | 0,983 | 622,664 | 318,412 | 20,5 | 1,26 | -14,16 | 64,7 |
| | Média | 0,207 | 618,059 | 315,454 | 19,9 | -1,17 | -15,78 | 60,71 |
| | Min | 0,047 | 616,604 | 313,954 | 19,7 | -2,10 | -17,75 | 59,2 |

A radiação solar incidente também apresentou uma tendência decrescente ao longo dos anos. A APA de Itupararanga apresentou uma variação de valores máximo entre 622,278 W/m² em 2023 a 991,949 W/m² em 2015. Segundo Du et al. (2017) o aumento da Rs↓ pode influenciar no aquecimento da superfície terrestre refletindo no aumento da temperatura.

Da mesma forma, a radiação de onda longa incidente também apresentou variações significativas. Em 2015, os valores foram 349,233 W/m² (máximo) e 339,139 W/m² (mínimo). Em 2019, houve uma diminuição nos valores máximos (328,566 W/m²) e mínimos (320,886 W/m²). Em 2023, essa tendência de diminuição continuou, com valores de 318,412 W/m² (máximo) e 313,954 W/m² (mínimo). De acordo com Koll e Cronin (2018) o incremento dos valores da RL↓ pode intensificar o efeito estufa, aumentando o aquecimento global, devido ao aumento do calor que é retido na superfície.

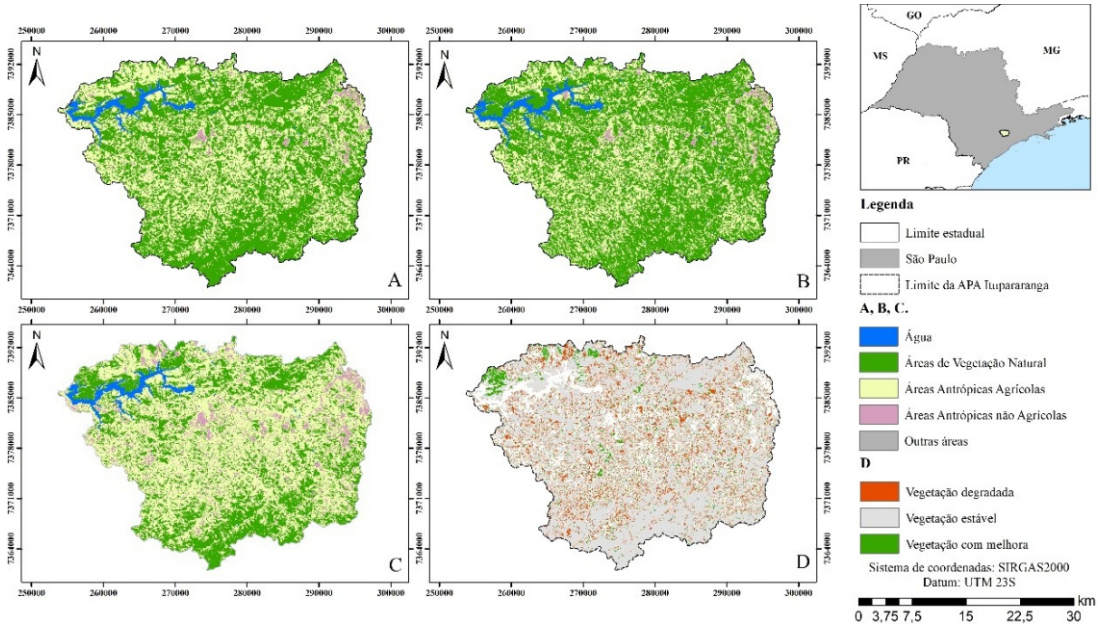
O fluxo de calor sensível (H), refere-se à transferência de calor entre a superfície da terra e a atmosfera através dos efeitos do movimento turbulento do ar. Na área de estudo a variável apresentou uma tendência de variação significativa entre os anos, sendo que em 2015, o valor máximo foi de 0,834 W/m², já para 2019, os valores mudaram para 0,407 W/m², finalmente em 2023, houve um aumento para 1,26 W/m². Essas variações podem estar relacionadas a mudanças nas condições de superfície e nos processos de troca de calor entre a superfície e a atmosfera, cujo aumento indica transferência significativa de calor aumentando as temperaturas locais contribuindo ao aquecimento global (SCHLÖGL et al., 2018).

O fluxo de calor latente (LE) representa a quantidade de calor latente com a superfície através de difusão turbulenta. A área de estudo mostrou um fluxo negativo que representa troca de calor latente entre a superfície e a atmosfera, sendo que em 2015, o valor máximo atingiu -15,89 W/m², já em 2019, houve uma diminuição com um valor máximo de -17,52 W/m² e em 2023 -14,16 W/m²; o incremento do LE pode indicar maior evapotranspiração o que contribui ao resfriamento da superfície terrestre, mas a uma maior perda de água em ecossistemas (OHTA et al., 2008; LILJEDAHL et al., 2011).

Finalmente, a evapotranspiração (ET) apresentou variações significativas. Em 2015, o valor máximo foi de 62,9 mm e o mínimo de 60 mm. Em 2019, houve um aumento para 69,95 mm (máximo) e 97,1 mm (mínimo). Em 2023, os valores foram 64,7 mm (máximo) e 59,2 mm (mínimo). Essas variações podem refletir mudanças nos padrões de precipitação e na disponibilidade de água para as plantas. O aumento da ET indica uma maior remoção de água da superfície e vegetação contribuindo ao resfriamento da superfície, mas também à disponibilidade de água (XU et al., 2023).

Em relação à classificação do uso da terra (Figura 02), para 2015 (A) é possível observar como as áreas vegetação natural predominam na paisagem, indicando uma cobertura vegetal densa e bem distribuída por toda a APA. As áreas antrópicas agrícolas e as áreas antrópicas não agrícolas, aparecem em menor proporção, principalmente nas extremidades da APA e em pequenos núcleos dispersos.

Figura 02: classificação do uso da terra A) 2015 B) 2019 C) 2023
D) degradação da vegetação




Em 2019 (B), identificou-se uma expansão das áreas antrópicas agrícolas e não agrícolas. As áreas de vegetação natural ainda são predominantes, mas começam a mostrar sinais de fragmentação, especialmente nas bordas e nas proximidades dos corpos hídricos. Além disso, além do aumento das áreas agrícolas, tem-se ainda um aumento na urbanização e outras atividades humanas não relacionadas à agricultura, indicando uma maior pressão sobre os ecossistemas naturais e uma transformação gradual do uso da terra na região.

No ano 2023 (C) destaca-se um padrão mais acentuado de mudanças no uso da terra, com a evidente diminuição das áreas de vegetação natural e forte fragmentação e dispersão, sugerindo uma perda contínua de habitats naturais. Por outro lado, as áreas antrópicas agrícolas e não agrícolas aumentam significativamente, indicando uma intensificação dessas práticas, bem como o crescimento da urbanização, sendo essa mudança um indicativo da constante substituição da vegetação natural por áreas destinadas a atividades humanas (Figura 02 D).

Em relação a avaliação das classificações, a matriz de confusão de 2015 (Tabela 02) apresenta um índice Kappa de 0,99, indicando uma classificação de alta precisão. O valor de erro de comissão (ErroC) é baixo para a maioria das classes, sugerindo uma baixa taxa de falsos positivos. No entanto, a classe áreas antrópicas não agrícolas apresenta um erro de comissão ligeiramente mais elevado (0,024659), indicando uma maior dificuldade na correta classificação dessa categoria.

Tabela 02: matriz de confusão 2015

| | 1 | 2 | 3 | 4 | Total | ErroC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 22417 | 0 | 0 | 0 | 24417 | 0 |
| **2** | 0 | 127909 | 1 | 0 | 127910 | 0,000008 |
| **3** | 0 | 76 | 3006 | 0 | 3082 | 0,024659 |
| **4** | 0 | 0 | 0 | 3730 | 3730 | 0 |
| **Total** | 24417 | 127985 | 3007 | 3730 | 159139 | |
| **Erro0** | 0 | 0.000594 | 0.000333 | 0 | | 0,000080 |

Para 2019, a matriz de confusão de 2019 (Tabela 03) também revela um índice Kappa de 0,99, mantendo a alta precisão observada em 2015. Notou-se um aumento na precisão da classe “outras áreas”, com um erro de comissão relativamente baixo (0,011945). Apesar da alta precisão geral, a classe 3 ainda apresentando dificuldades na distinção precisa dessa categoria.

Tabela 03: matriz de confusão 2019

| | 1 | 2 | 3 | 4 | Total | ErroC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 34168 | 0 | 0 | 0 | 34168 | 0 |
| **2** | 1 | 76039 | 2 | 0 | 76042 | 0,000039 |
| **3** | 0 | 476 | 3864 | 1 | 4341 | 0,109883 |
| **4** | 0 | 7 | 0 | 579 | 586 | 0,011945 |
| **Total** | 31469 | 76522 | 3866 | 580 | 115137 | |
| **Erro0** | 0,000029 | 0,006312 | 0,000517 | 0,001724 | | 0,000655 |

Para 2023 (Tabela 04), o índice Kappa permanece em 0,99, sinalizando uma consistência na alta precisão das classificações ao longo dos anos. A classe 1 e classe 2 apresentam erros de comissão muito baixos (0,000825 e 0,000289,

respectivamente). A classe 3, no entanto, continua a ser a mais problemática, com um erro de comissão de 0,108696 e a classe 4 mostra uma ligeira melhoria.

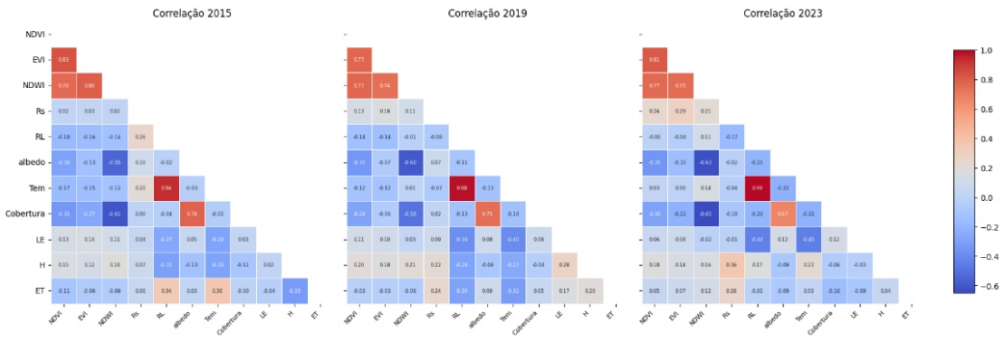
Tabela 04: matriz de confusão 2023

| | 1 | 2 | 3 | 4 | Total | ErroC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 20149 | 0 | 0 | 0 | 20149 | 0 |
| **2** | 0 | 17297 | 5 | 0 | 17302 | 0,000289 |
| **3** | 0 | 154 | 1271 | 1 | 1426 | 0,108696 |
| **4** | 0 | 0 | 0 | 2472 | 2472 | 0 |
| **Total** | 20149 | 17451 | 1276 | 2473 | 41349 | |
| **Erro0** | 0 | 0,008825 | 0,003918 | 0,000404 | | 0,003870 |

A Figura 03 apresenta as matrizes de correlação para os anos de 2015, 2019 e 2023, com as relações entre as variáveis ambientais e climáticas. Uma forte correlação positiva consistente é observada entre NDVI, EVI e NDWI, sugerindo uma relação estável entre vegetação densa e maior conteúdo de água.

A radiação de ondas curtas (Rs) apresentou uma baixa correlação com a temperatura (TEM), enquanto as ondas longas (RL) apresentaram uma alta correlação positiva com a temperatura (TEM) ao longo dos anos. Considerando que a vegetação tem uma maior capacidade de absorver essas variáveis pode-se afirmar que a diminuição da cobertura natural tem influenciado na capacidade da superfície retor ou emitir energia, mostrando o importante papel da radiação solar na temperatura da superfície terrestre. A correlação entre temperatura e evapotranspiração diminuiu de 0,36 em 2015 para 0,03 em 2023, possivelmente também influenciada pela retração da cobertura natural, visto que ambas são fortemente influenciadas pela capacidade da vegetação de dispor de umidade na atmosfera, indicando inclusive alteração do ciclo hidrológico, com consequentes mudanças climáticas.

Figura 03: Gráfico das correlações




O albedo mostrou baixa correlação negativa com NDVI, EVI e NDWI, indicando que áreas com vegetação densa têm menor refletividade. Já com o uso da terra a correlação foi positiva alta no período, variando de 0,78 em 2015 a 0,67 em 2023,

indicando novamente que as alterações na cobertura do solo, com possíveis remoção da cobertura vegetal tem disponibilizado maior energia a atmosfera, por conseguinte provocando diversas alterações no ciclo hidrológico e balanço de energia.

O calor latente e calor sensível tiveram no geral baixas correlações com as demais variáveis, e entre si também, de 0,02 em 2015, aumentando para 0,28 em 2019 e caindo para -0,03 em 2023, indicando que não possibilitou uma troca mais eficaz de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera.

Algumas correlações, como as da radiação de ondas longas e a temperatura, se mostraram bastante altas durante o período analisadas, sendo 0,94 em 2015, 0,98 em 2019 e 0,99 em 2023. Considerando que a radiação de onda longa é a diferença entre a radiação atmosférica incidente e a radiação de onda longa terrestre emitida, coberturas naturais, tendem a manter o equilíbrio da energia disponibilizada para atmosfera, e quanto menor essa cobertura, maior a energia disponibilizada, consequentemente maior o desequilíbrio climático.

## CONCLUSÕES

As técnicas de geoprocessamento e os índices de vegetação utilizados permitiram identificar as mudanças na cobertura vegetal, evidenciando uma redução do vigor fotossintético, especialmente nas áreas centrais e antrópicas. As classificações entre 2015 e 2023, mostraram que a APA de Itupararanga experimentou uma significativa alteração no uso da terra, com notável redução das áreas de vegetação natural e um aumento das áreas antrópicas agrícolas e não agrícolas. A aplicação do modelo SEBAL mostrou que o albedo aumentou continuamente, indicando uma maior refletividade da superfície, enquanto a radiação solar incidente e de onda longa apresentaram uma tendência decrescente. O fluxo de calor sensível variou significativamente, refletindo mudanças nas condições de superfície e processos de troca de calor com a atmosfera. A correlação de Pearson revelou relações significativas entre algumas variáveis ambientais e climáticas que podem ser indicativos de mudanças em padrões climáticos; reforçando a necessidade urgente de políticas de conservação e manejo sustentável para mitigar os efeitos adversos das atividades humanas sobre este importante ecossistema.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

BASTIAANSSEN, W.; MENENTI, M.; FEDDES, R.; HOLTSLAG, A.; A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of Hydrology. Volume 212 – 213, p. 198 – 212, 1998. doi:10.1016/S0022-1694(98)00253-4.

BERNADI, I.; SILVA, L.; FALCO, P.; PIRES, J.; SANTOS, A. Análise comparativa das ferramentas de gestão: Plano de Manejo da APA Itupararanga e os Planos Diretores Municipais. Sociedade & Natureza. Volume 32, p. 75 – 91, 2020. doi: 10.14393/SN-v32-2020-36541.

BOISER, J. P.; NOBLET-DUCOUDRÉ, N.; CIAIS, P. Inferring past land use-induced changes in surface albedo from satellite observations: a useful tool to evaluate model simulations. Biogeosciences. Volume 10, n. 3, 2013. doi: 10.5194/bg-10-1501-2013.

DU, J.; WANG, K.; WANG, J.; MA, Q. Contributions of surface solar radiation and precipitation to the spatiotemporal patterns of surface and air warming in China from1960 to 2003. Atmospheric Chemistry and Physics. Volume 17, 2017. doi: 10.5194/acp-17-4931-2017.

EASTMAN, J. R. TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling Software. Clark University. 2016.

FILHO, D.; ROCHA, E.; JÚNIOR, J.; PARANHOS, R.; NEVES, J.; SILVA, M. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: O retorno. Leviatan. Volume 8. p. 66 – 95, 2014.

KINYANJUI, M. J. NDVI-based vegetation monitoring in Mau forest complex, Kenya. African Journal of Ecology. Volume 49, n. 2, 2011. doi:10.1111/j.1365-2028.2010.01251.x.

KOLL, D.; CRONING, T.; Earth's outgoing longwave radiation linear due to H2O greenhouse effect. Proceedings of the National Academy of Sciences. Volume 115, p. 10293 – 10298, 2018 doi: 10.1073/pnas.1809868115.

LILJEDAHL, A.; HINZMAN, L.; HARAZONO, Y.; ZONA, D.; TWEEDIE, C.; HOLLISTER, R.; ENGSTROM, R.; OECHEL, W. (2011). Nonlinear controls on evapotranspiration in arctic coastal wetlands. Biogeosciences, Volume 8, 2011. doi: 10.5194/BG-8-3375-2011.

OHTA, T.; MAXIMOV, T.; DOLMAN, A.; NAKAI, T.; MOLEN, M.; KONONOV, A.; MAXIMOV, A.; HIYAMA, T.; IIJIMA, Y.; MOORS, E.; TANAKA, H.; TOBA, T.; YABUKI, H. Interannual variation of water balance and summer evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998-2006). Agricultural and Forest Meteorology. Volume 148, p. 1941-1953, 2008. doi: 10.1016/J.AGRFORMET.2008.04.012.

SCHLÖGL, S.; LEHNING, M.; MOTT, R. How Are Turbulent Sensible Heat Fluxes and Snow Melt Rates Affected by a Changing Snow Cover Fraction?. Front. Earth Sci. Volume 6, 2018. doi: 10.3389/feart.2018.00154.

SOUSA, V.; SALAMI, G.; SILVA, M.; SILVA, E.; JÚNIOR, J.; ALBA, E. Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. Geology, Ecology and Landscapes. Volume 4, 2019. doi: 10.1080/24749508.2019.1608409.

SPERA, S.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. Global Change Biology. Volume 22, n. 22, p. 3405 – 3413, 2016. doi: 10.1111/gcb.13298.

THOMAZ, S. M.; BARBOSA, L. G.; DE SOUZA DUARTE, M. C.; PANOSSO, R. OPINION: The future of nature conservation in Brazil. Inland Waters, Volume 10, n. 2, p. 295–303, 2020. doi: 10.1080/20442041.2020.1750255.

XIE, Z.; PHIN, S.; GAME, E.; PANNELL, D.; HOBBS, R.; BRIGGS, P.; MADDEN, E. Using Landsat observations (1988–2017) and Google Earth Engine to detect vegetation cover changes in rangelands - A first step towards identifying degraded lands for conservation. Remote Sensing of Environment. Volume 232, 2019. doi: 10.1016/j.rse.2019.111317.

XU, D.; IVANOV, V.; AGEE, E.; WANG, J. (2023). Energy Surplus and an Atmosphere-Land-Surface “Tug of War” Control Future Evapotranspiration. Geophysical Research Letters, Volume 50, 2023. doi: 10.1029/2022GL102677.

# PEGADA DE CARBONO DO LEITE: A INFLUÊNCIA DA ALIMENTAÇÃO ANIMAL NAS EMISSÕES DE GEE

Mudanças Climáticas

Virginia Mendonça Lourenço Benhami
Bolsista de Estímulo à Inovação,
Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG, Brasil
virginiamlbenhami@gmail.com

Thais de Souza Miranda
Bolsista de Estímulo à Inovação,
Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG, Brasil
thaismir92@gmail.com

Ellen de Almeida Moreira
Bolsista de Estímulo à Inovação,
Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG, Brasil
ellen.almeida.moreira@hotmail.com

Rafael Gonçalves Tonucci
Pesquisador, Embrapa Gado de Leite,
Juiz de Fora/MG, Brasil
rafael.tonucci@embrapa.br

Thierry Ribeiro Tomich
Pesquisador, Embrapa Gado de Leite,
Juiz de Fora/MG, Brasil
thierry.tomich@embrapa.br

Vanessa Romário de Paula
Analista, Embrapa Gado de Leite,
Juiz de Fora/MG, Brasil
vanessa.paula@embrapa.br

## Resumo

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) resultantes da produção da alimentação animal constituem como uma das etapas que mais contribuem na pegada de carbono (PC) do leite. O desmatamento e a Mudança de Uso da Terra (MUT) nas áreas agrícolas são fontes de maior impacto. Neste contexto, a substituição de insumos convencionais por alternativas livres de impactos de desmatamento e MUT apresentam-se como caminho para redução da PC do leite. O objetivo deste estudo foi comparar o impacto da alimentação animal proveniente de cultivo convencional com a que utiliza parcialmente insumos (milho e farelo de soja) de origem livre de desmatamento. Foram analisados dados de 196 fazendas de leite caracterizadas pela suplementação intensiva na alimentação dos bovinos. A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi empregada para calcular a PC do leite e as emissões de GEE. A média das emissões associadas à alimentação animal com insumos convencionais foi de 0,468 kg de CO2 eq./kg de FPCM, com a substituição do milho e farelo de soja convencional por cultivados em áreas livre de desmatamento, as emissões foram de 0,225 kg de CO2 eq./kg de FPCM, representando uma redução de 52% da contribuição na PC do leite. A variação da PC foi de 1,06 para 0,8 kg de CO2 eq./kg de FPCM, redução de 23%. Esses resultados evidenciam o impacto do desmatamento nas áreas de produção agrícola que afetam a PC e apontam uma alternativa eficaz para mitigação das emissões na produção de leite no Brasil.

**Palavras-chave:** Pecuária leiteira; Desmatamento; Impactos Ambientais; Mudança de Uso da Terra.

# INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira desempenha um papel crucial na economia brasileira, sendo o leite, um dos pilares da agricultura, impulsionando a economia e sustentando uma complexa cadeia produtiva, desde a produção no campo até a comercialização internacional. Adicionalmente, a produção de leite envolve impactos relacionados à expansão de áreas de lavouras, desmatamento de florestas e ecossistemas naturais, contaminação de solos e rios devido ao manejo inadequado de dejetos e uso de agrotóxico, contribuindo consideravelmente para a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Tomich et al., 2024).

Os principais GEE emitidos no sistema de produção de leite são o metano (CH4) entérico e dos dejetos, o óxido nitroso (N2O) dos dejetos animais e da aplicação de fertilizantes nitrogenados e a emissão de dióxido de carbono (CO2) resultante da Mudança de Uso da Terra (MUT) e desmatamento para produção agrícola destinada a alimentação animal (Cheng et al., 2022). A etapa de produção de alimentos é responsável por 20% a 50% das emissões que compõem a Pegada de Carbono (PC) do leite (Tomich et al., 2024).

No Brasil, a MUT e o desmatamento são os principais responsáveis pelas emissões de GEE, em 2021 corresponderam a 1,12 bilhão de toneladas de CO2 eq., cerca de 48% das emissões totais nacionais. A agropecuária ocupou o segundo lugar, contribuindo com 27%, seguido pelo setor de energia (18%), resíduos (4%), processos industriais e uso de produtos (3%). Somadas, as emissões por MUT, desmatamento e a agropecuária representam cerca de 75% das emissões totais do Brasil (Tsai et al., 2023).

As metas acordadas por governos e empresas para redução das emissões de GEE têm fomentado o desenvolvimento de práticas ambientais, econômicas e sociais adaptadas para sistemas de produção mais sustentáveis. Uma delas é a substituição de produtos oriundos de uma agricultura convencional por aqueles que foram cultivados em áreas em que não houve desmatamento nos últimos 20 anos, sendo essa uma alternativa para garantir a produção sustentável de grãos livres dos impactos de MUT (McElwee et al., 2020).

Para quantificar e identificar as principais fontes de emissões de GEE em cada etapa do ciclo de vida de um sistema de produto, umas das metodologias mais utilizadas é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) parcial, para potencial de impacto na categoria de mudanças climáticas para estimar as emissões de GEE, também usado para expressar a PC da produção de leite (Aguirre-Villegas et al., 2022; Biagetti et al., 2023).

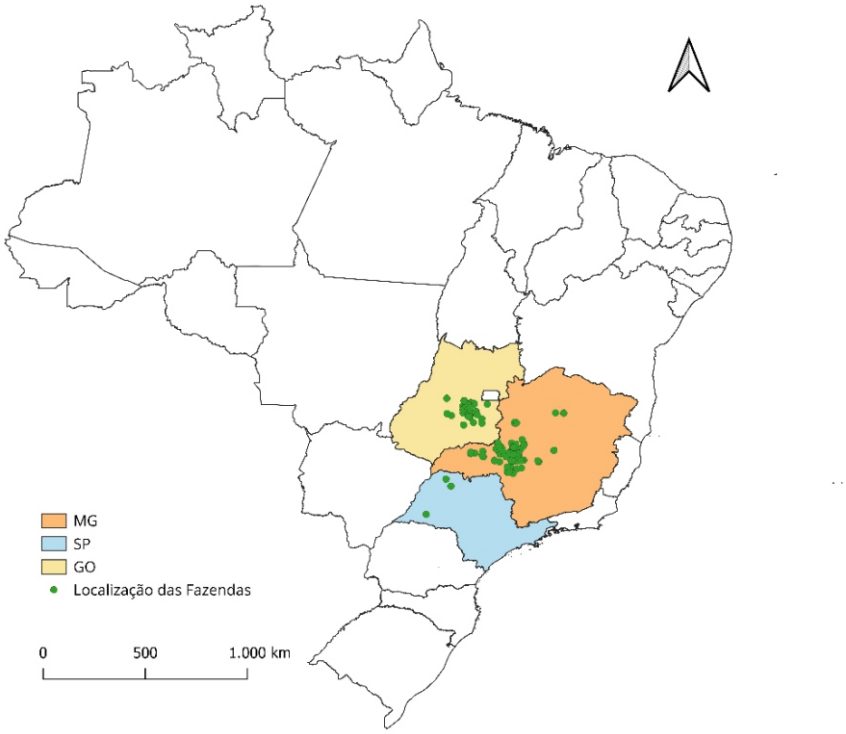
O objetivo do trabalho foi avaliar a influência das emissões associadas à alimentação animal na PC da produção de leite, por meio da comparação entre dois cenários: cenário A, utilizou uma dieta com insumos convencionais; e o cenário B, houve a substituição dos insumos (farelo de soja e milho) convencionais por aqueles livres dos impactos de desmatamento e MUT.

# METODOLOGIA

Para o cálculo de PC e identificação das principais fontes de emissões de GEE da produção de leite, foi utilizada a ACV, estruturada de acordo com os princípios da Organização Internacional de Normalização (ISO 14044, 2006; ISO 14040, 2006) e da PC (ISO 14067, 2018).

Foram selecionadas 196 fazendas de sistemas de produção intensivos, com a produtividade individual média maior que 25 kg de leite/vaca/dia, e com maior consumo de alimentos concentrados. As fazendas estão localizadas nos estados brasileiros de Goiás, Minas Gerais e São Paulo (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição geográficas das fazendas do estudo




Os dados referentes às etapas de produção do leite, como caracterização dos sistemas e da propriedade, os processos de manejo dos animais, compra de insumos e produtividade de leite foram obtidos in loco, através de questionários aplicados diretamente aos proprietários e técnicos das propriedades. As informações coletadas foram referentes ao ano de 2023.

Os dados de entrada foram relacionados à etapa de produção da alimentação animal, transporte dos alimentos, combustíveis utilizados e eletricidade, incluindo os processos realizados dentro das fazendas como manejo do rebanho, gestão de dejetos, uso de maquinarias, dentre outros. As saídas consideradas foram o leite, venda de animais, estercos e as emissões ao ambiente. As construções de edifícios,

os equipamentos, medicamentos para saúde animal e embalagens não foram consideradas nessa ACV. O limite do sistema para este estudo foi considerado como do berço ao portão da fazenda. A Figura 2 apresenta as entradas e saídas, assim como as fronteiras do sistema de estudo.

A unidade funcional (UF) adotada foi 1kg de leite corrigido de acordo com o percentual de gordura e proteína (Fat Protein Correct Milk - FPCM) seguindo as orientações da Federação Internacional de Laticínios (IDF, 2022) (Equação 1) para possibilitar a comparação de diferentes composições de leite.

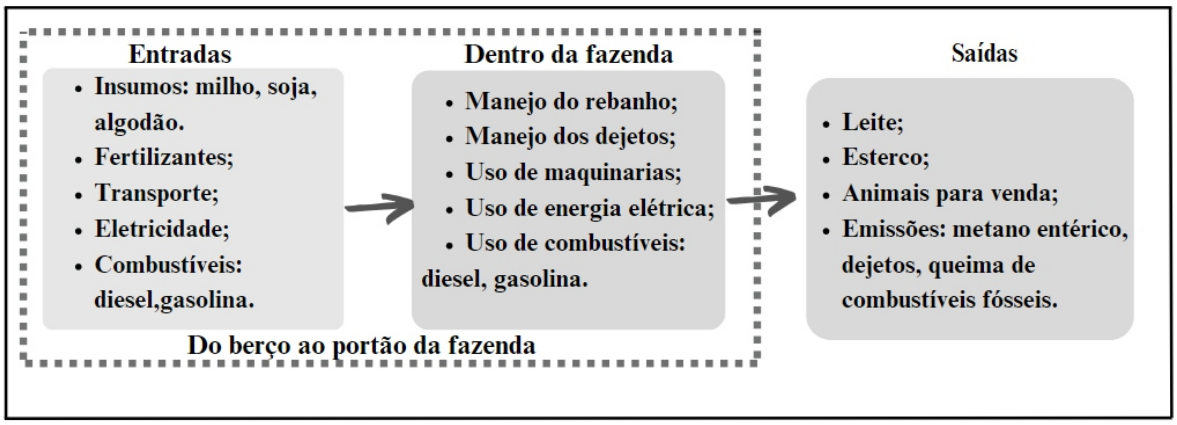
$$FPCM\ (kg) = Produção\ (kg) \times [0.1226 \times Gord\ (\%) + 0.0776 \times Prot\ (\%) + 0.2534]$$

(Equação 1)

Onde:

- FPCM: leite corrigido para gordura e proteína (kg);
- Produção: saída de leite in natura na porta da fazenda, em quilograma (kg);
- Gord.: teor de gordura no leite in natura (%);
- Prot.: teor de proteína no leite in natura (%).

Figura 2 - Sistema de produto e fronteiras da ACV do leite




Os inventários foram construídos com base nos fluxos de entradas dos sistemas de produção que correspondem aos dados primários, obtidos em campo, e os dados secundários, obtidos por meio da indicação de especialistas, revisão bibliográfica e literatura técnica. Os dados de saídas foram estimados de acordo com a metodologia e as equações de cálculo de emissões de GEE estabelecidas no Relatório Intergovernamental sobre Mudanças do Clima ajustados pela unidade de referência (IPCC, 2019).

Para modelagem dos dados foi utilizado o software OpenLCA® v. 1.11.0, associado com a base de dados de inventários do ciclo de vida Ecoinvent® v.3.8. Os resultados de ACV para a PC foram expressos em quilograma de CO2 equivalente (CO2eq.) para

os potenciais de aquecimento global para 100 anos (GWP100), utilizando o método AR6 (IPCC, 2021). Além disso, os gases CO2 (1), CH4 (27,9) e N2O (298,0) foram estabelecidos como padrão de contabilização pelo respectivo fator de potencial de aquecimento global (PAG), de acordo com o 6º Relatório de Avaliação (AR6).

A modelagem dos dados foi realizada no software OpenLCA® para a análise de sensibilidade, substituindo o consumo dos principais alimentos da dieta dos animais, o milho e o farelo de soja convencionais, por banco de dados de soja e milho livres dos impactos do desmatamento e MUT.

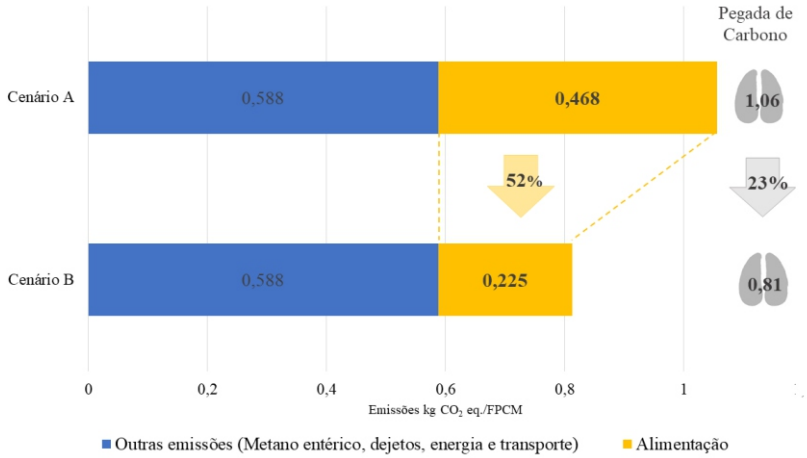
A análise comparativa foi realizada por meio do teste estatístico ANOVA de um fator (one-way), adotando-se o nível de significância de 5% (α = 0,05), sendo que, o valor-p associado ao teste F, muito pequeno (<0,05) e valor F muito alto (>0,05), indicam que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula e concluir que existe uma diferença significativa entre as médias dos grupos.

A análise foi realizada utilizando o software R Studio, versão 4.4.1., com o objetivo de verificar estatisticamente as variações entre os resultados de PC e as emissões associadas à alimentação animal em dois cenários: cenário A: considerou-se o consumo de farelo de soja e milho convencionais na dieta animal e; cenário B: foram considerados o consumo de farelo de soja e milho provenientes do cultivo em áreas que não sofreram ocupação irregular nos últimos 20 anos, livres de desmatamento e MUT.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Figura 3 evidenciam uma diferença significativa na PC entre os cenários A e B nas 196 fazendas avaliadas. No cenário A, a média da PC foi de 1,06 kg de CO2 eq./kg de FPCM, enquanto no cenário B, essa média foi reduzida para 0,81 kg de CO2 eq./kg, representando uma redução de 23%, sendo atribuída à diminuição das emissões relacionadas ao desmatamento e às MUT.

Figura 3 - Comparação entre os cenários de Emissões: Cenário A: alimentação animal composta por insumos como farelo de soja e milho convencionais. Cenário B: consumo de farelo de soja e milho para alimentação animal cultivados em áreas livres de desmatamento.



Destaca-se que houve uma queda significativa nas emissões associadas à alimentação animal, sendo que, no cenário A, essas emissões foram de 0,468 kg de CO2 eq./kg de FPCM, enquanto no cenário B essa média caiu para 0,225 kg de CO2 eq./kg, resultando em uma redução de 52%.

A análise estatística por meio da ANOVA, demonstrou que as diferenças entre as médias da PC e das fontes de emissões provenientes da alimentação animal nos dois cenários foram estatisticamente significativas. Os valores-p encontrados foram inferiores a 0,05 (nível de significância adotado) e os valores de F, superiores, indicando que as diferenças observadas foram significativas e improváveis de ocorrer por acaso (Tabela 1).

Tabela 1: Valores de p e F na ANOVA

| ANÁLISES | VALOR-P | F VALOR |
|---|---|---|
| **PEGADA DE CARBONO** | <2E-16 | 231,3 |
| **EMISSÕES DA ALIMENTAÇÃO ANIMAL** | <2E-16 | 507,4 |

A redução da PC associada às emissões da alimentação animal com a substituição dos insumos convencionais por aqueles livres de desmatamento, podem ser relacionadas à adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis no manejo de lavouras e áreas agrícolas, conforme discutido por Garofalo et al. (2022), que investigaram as emissões de CO2 associadas às MUT para produtos agrícolas no Brasil. Concluindo-se que o desmatamento e os impactos de MUT são uma fonte significativa de emissões de CO2 com implicações na PC dos produtos agrícolas brasileiros, reforçando as evidências encontradas nesse estudo.

Diettrich (2022) realizou uma análise comparativa das emissões de GEE entre alimentos de origem animal e vegetal, apontando que os alimentos de origem animal tendem a emitir maiores quantidades de GEE, em razão de processos como a fermentação entérica e o uso de fertilizantes na produção de ração. No contexto da alimentação animal, conforme demonstrado, a produção de ração foi identificada como uma das principais fontes de emissão, resultado que é consistente com os obtidos no cenário A deste estudo, sendo que a redução significativa das emissões no cenário B destaca pelo impacto positivo das práticas sustentáveis no setor.

Um estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV EAESP, 2019), utilizando a metodologia de ACV para estimativa da PC com foco na carne bovina destinada à exportação, identificou o impacto das emissões decorrentes das MUT na agropecuária brasileira. Os resultados indicaram que as emissões provenientes de MUT têm uma contribuição significativa na PC do produto, destacando que são impactadas por fatores como a localização da fazenda, o histórico de uso da terra em determinada região do Brasil, o nível de degradação das pastagens e o tipo de manejo do sistema produtivo. Esses fatores estão diretamente relacionados à redução significativa de 23% na PC observada entre os cenários A e B, evidenciando a importância das práticas de manejo do solo e a preservação florestal na mitigação das emissões.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia da ACV no cálculo da PC possibilitou uma compreensão abrangente da cadeia produtiva do leite, facilitando a avaliação dos impactos ambientais e auxiliando nas estratégias para tomada de decisão de acordo com os cenários propostos. A substituição de insumos convencionais na alimentação animal por alternativas livre de desmatamento e de MUT, mostrou-se eficaz na redução da PC do leite em sistemas de produção intensivos. Os resultados indicaram uma redução média de 23% na PC do leite das fazendas analisadas, evidenciando o potencial dessa prática para mitigar o impacto ambiental do setor.

A adoção de insumos livres de desmatamento não só contribui para a redução das emissões de GEE, mas também proporciona uma oportunidade valiosa para promover práticas mais responsáveis e ambientalmente conscientes. A proposta reflete a crescente demanda global por soluções sustentáveis e pode servir como referência para futuras políticas e estratégias voltadas à mitigação das emissões de GEE na agropecuária.

## AGRADECIMENTOS

À Nestlé e a Embrapa Gado de Leite.

## REFERÊNCIAS

AGUIRRE-VILLEGAS, H. A. et al. Farm level environmental assessment of organic dairy systems in the U.S. Journal of Cleaner Production, v. 363, p. 132390, 20 ago. 2022.

BIAGETTI, E. et al. Comparison of the use of life cycle assessment and ecological footprint methods for evaluating environmental performances in dairy production. Science of The Total Environment, v. 905, p. 166845, 20 dez. 2023.

CHENG, M.; MCCARL, B.; FEI, C. Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. Atmosphere 2022, Vol. 13, Page 140, v. 13, n. 1, p. 140, 15 jan. 2022.

DIETTRICH, Laura. Avaliação preliminar da emissão de gases de efeito estufa na produção de alimentos. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

FGV EAESP. PEGADA DE CARBONO DA CARNE BOVINA BRASILEIRA EXPORTADA PARA A UNIÃO EUROPEIA. 2019.

GAROFALO, D. F. T. et al. Land-use change CO2 emissions associated with agricultural products at municipal level in Brazil. Journal of Cleaner Production, v. 364, p. 132549, 1 set. 2022.

IDF. The IDF global Carbon Footprint standard for the dairy sector. 2022. Disponível em: https://shop.fil-idf.org/products/the-idf-global-carbon-footprint-standard-for-the-dairy-sector. Acesso em: 18 ago. 2024.

IPCC. Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019.

IPCC. Climate Change 2021 - the Physical Science basis | Interaction. 2021. Disponível em: https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.315096509383738. Acesso em: 10 julh. 2024.

ISO 14044. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. Geneva, 2006. Disponível em: https://www.iso.org/standard/38498.html. Acesso em: 14 jul. 2024.

ISO 14067. Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification. Geneva, 2018.

ISO 14040. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva, 2006. Disponível em: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en. Acesso em: 14 jul. 2024.

MCELWEE, P. et al. The impact of interventions in the global land and agri-food sectors on Nature's Contributions to People and the UN Sustainable Development Goals. Global Change Biology. Blackwell Publishing Ltd, 2020.

NOVAES, R. M. L. et al. Estimating 20-year land-use change and derived CO2 emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. Global Change Biology, v. 23, n. 9, p. 3716–3728, 1 set. 2017.

TOMICH, T. R.; DE PAULA, V. R.; DE CARVALHO, B. C.; TONUCCI, R. G.; MÜLLER, M. D.; PEREIRA, L. G. R. Por que e como reduzir a pegada de carbono do leite. In: ANUÁRIO LEITE 2024: Avaliação Genética Multirracial. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2024. p. 105-111.

TSAI, D. et al. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações paras as metas climáticas do Brasil 1970-2022. 2023.

# AGROECOSSISTEMAS RESILIENTES: SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA A AGRICULTURA FAMILIAR EM TEMPOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA

Implementação de práticas agrícolas sustentáveis

Brenda Barbosa Machado
Graduanda na Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Agronômica
brenda.machado@univale.br

Renata Bernardes Faria Campos
Prof. Dr. (a) Universidade Vale do Rio Doce
Ciências Biológicas
renata.campos@univale.br

Marília A. Martins Silva
Marília Aparecida Martins Silva Mestranda em Gestão Integrada de Território – GIT pela Universidade do Vale do Rio Doce – UNIVALE.
marilia.martins@univale.br

Hernani Ciro Santana
Prof. Dr. Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Civil e Ambiental
hernani.santana@univale.br

## Resumo

Desde 1988 o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) alerta sobre os impactos das mudanças climáticas, que possui alta relação com a atividade humana. A intensificação da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) contribui para um aumento da temperatura do planeta e consequências que afetam a paisagem no planeta Terra, como derretimento de geleiras, aumento do nível do mar e mudanças nos padrões de chuva. No entanto, esses eventos climáticos extremos não afetam apenas os polos e litorais, mas também todo o agroecossistema e, principalmente, as agriculturas familiares, que são mais vulneráveis às mudanças climáticas e representam 77% dos estabelecimentos agropecuários do Brasil. Dentre os impactos na produção da área rural, se observa estresse hídrico ou até mesmo fortes chuvas que podem destruir as plantações e maior ataque de pragas, por exemplo. Por outro lado, o manejo insustentável, como as queimadas e o descuido do solo, incentiva as emissões de GEE na atmosfera. Portanto, esse estudo visa realizar uma revisão de literatura, observando o que está sendo abordado pela Embrapa, em vista o aumento da resiliência dos agroecossistemas e a contribuição disso na mitigação de GEE. Para isso, é preciso permear a resiliência dos agroecossistemas e com boas práticas de manejo, sendo a manutenção da biodiversidade e o acompanhamento meteorológico umas das maneiras mais eficazes.

**Palavras-chave:** Resiliência; Agroecossistema; Mudanças Climáticas; Agricultura Familiar.

# INTRODUÇÃO

Anúncios de mudanças climáticas globais não são recentes e tem se tornado cada vez mais frequentes e incisivos, a exemplo, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) faz apontamentos desde 1988 (MARENGO e SOARES, 2003). Ademais, estudos indicam, com uma confiança superior a 90%, de que consequências das mudanças climáticas das últimas cinco décadas possuem causas antrópicas (MARENGO, 2008). As mudanças na paisagem, com substituição da vegetação nativa por prédios e asfaltos, aumentaram a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), como o carbono, e afetou a dinâmica natural do planeta.

Com o aumento dos GEE, o planeta Terra vem sofrendo um aumento de temperatura desproporcional (IPCC, 2019), dada a relação dos gases com a atmosfera. Assim, não só as paisagens foram modificadas de forma direta pelo ser humano, como indiretamente, por meio das mudanças climáticas. Derretimento de geleiras, aumento do nível do mar, precipitação concentrada espacial e temporalmente ocasionando inundações e longos períodos de estiagem, todos esses são efeitos das mudanças climáticas enfrentadas nas últimas décadas.

As mudanças climáticas afetam diretamente não só o cotidiano das cidades, mas também os meios que produzem insumos que as alimentam, como os agroecossistemas. De modo particular, a agricultura familiar é responsável por cerca de 77% dos estabelecimentos agropecuários e é, justamente esta parcela dos produtores que sofre mais diretamente com as consequências das mudanças climáticas (TANURE, 2020)

Tendo em vista que as diferentes culturas reagem de formas distintas ao clima, é preocupante como as mudanças climáticas podem afetar a produção agrícola. Em primeiro ponto, o aumento de temperatura impacta em um aumento da evapotranspiração, que é a perda de água no solo, podendo causar deficiência hídrica para a planta. Estudos apontam que em 2070 algumas culturas podem ter perda na produção de até 40% devido ao aumento de temperatura e estresse hídrico (PINTO, et. al, 2008 apud EVANGELISTA, 2022, p. 178).

Outro ponto também importante na agricultura é a relação com a chuva. As mudanças climáticas impactam na formação de precipitação, podendo ocasionar em fortes chuvas que destroem a produção. Um exemplo muito recente no Brasil, foi o caso das inundações no Rio Grande do Sul, que se iniciaram com fortes chuvas no fim de abril de 2024, quando deveria ter início o período de estiagem, ocasionando perdas de vidas humanas, além de danos econômicos, sociais, ambientais e estruturais. O impacto disso afetou não só o meio urbano, como também o meio rural, dado que as chuvas concentradas, somadas às inundações, destruiu diversas lavouras, armazéns e estrutura logística necessária o escoamento da produção, o que tem desdobramentos econômicos que se distribuem muito além das áreas inundadas.

O contrário também pode acontecer, algumas regiões podem ser afetadas com menor quantidade de chuva, quer dizer, tempos mais longos de estiagem (OLIVEIRA, et. al, 2019), que contribuem para o estresse hídrico das culturas, fazendo necessário uso de meios alternativos de irrigação. O aumento da duração e intensidade da estiagem

implica também em maior risco de danos por queimadas, como exposição do solo à laterização e lixiviação de nutrientes do solo.

Ademais, o aumento da temperatura corrobora para o aumento de surtos de pragas. Com foco nos insetos, o calor favorece o desenvolvimento e reprodução desses animais. Porém, o problema se agrava quando as pragas não possuem inimigos naturais, que são estimulados pela biodiversidade, então as pragas acabam sendo combatidas por meio de químicos, que inclusive pode afetar o meio ambiente ao mesmo tempo que pode contribuir para o aumento das resistências dessas pragas.

Dessa maneira, é possível identificar como os agroecossistemas são afetados pelas mudanças climáticas e como isso afeta a oferta de alimentos. Entretanto, vale salientar também a agricultura como agente no aumento da emissão de GEE. Isso se dá principalmente por meio do desmatamento de áreas nativas, uso de técnicas como as queimadas enquanto ferramentas agrícolas e adoção de monoculturas, que exploram do solo e inviabilizam a biodiversidade (CANUTO, 2018).

É neste cenário que ações voltadas para a resiliência dos agroecossistemas são importantes para enfrentar o atual cenário de mudanças climáticas globais. O conceito de resiliência na psicologia é muito discutido e de difícil definição universal, porém, considerando a etimologia da palavra, que vem do latim resiliens, significa “voltar” e demais variáveis, ou seja, a capacidade do indivíduo de recuperar o seu estado anterior. O que confere também com o conceito de resiliência na física (PINHEIRO, 2004).

Da mesma forma, abordar sobre resiliência dos agroecossistemas, significa falar da capacidade daquela propriedade em se recuperar rapidamente pelos efeitos das mudanças climáticas ao seu estado anterior. E, para isso, existem diversas maneiras de aumentar a resiliência de um agroecossistemas, desde melhoramento genético e irrigação, até a simples conservação do solo e manutenção da biodiversidade, sendo essa última apontada como a mais eficaz dentro da literatura. Da mesma maneira, o meio de buscar resiliência ainda pode contribuir para a diminuição na emissão dos GEE, que corroboram para o aumento da temperatura no planeta.

Portanto, as mudanças climáticas são fatores decisivos na produtividade dos agroecossistemas. Dessa forma, considerando que as mudanças climáticas são um fato, é necessário aumentar a resiliência dos agroecossistemas, garantindo adaptação frente ao clima previsto para cada região. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo evidenciar práticas de manejo capazes de enfrentar tais mudanças e seus desdobramentos para a produção de alimentos por meio de uma revisão de literatura.

## METODOLOGIA

O trabalho consiste em uma revisão bibliográfica com intenção de reunir estudos que discutem a resiliência de agroecossistemas, tendo em vista que são impactados pelas mudanças climáticas, assim como são agentes na propagação destas mudanças.

Para isso, foi utilizado como ferramenta principal da pesquisa o Portal Embrapa (acesso: https://www.embrapa.br/), tendo em vista que a Empresa Brasileira de

Pesquisa Agropecuária (Embrapa) é parte importante no desenvolvimento do setor agropecuário brasileiro.

Dessa forma, foram realizadas duas buscas sendo a primeira delas com o termo “resiliência”. Os trabalhos resultantes desta busca foram triados por meio de uma leitura dinâmica do título e resumo para separação dos textos que guardavam maior proximidade com os objetivos desta pesquisa. Esta primeira busca resultou em 12 textos para leitura detalhada.

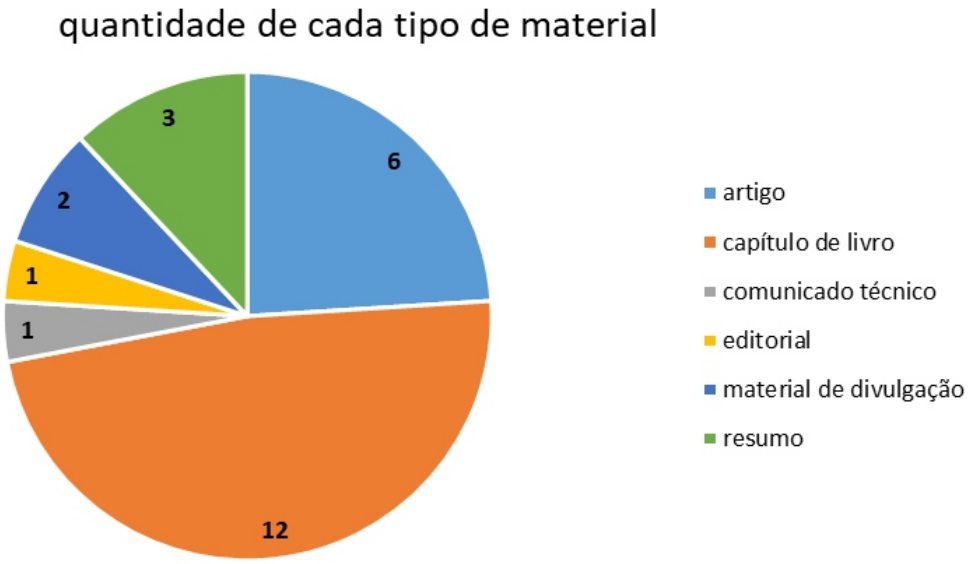
Em seguida, uma outra busca foi realizada com o termo “mudanças climáticas”, e o procedimento de triagem repetido, resultando em 13 documentos selecionados. De modo complementar, foi realizada uma busca no Scholar Google, resultando na seleção de outros 4 textos.

Todos os artigos, sem restrição de tempo, foram salvos em uma pasta única, lidos e fichados. Cada fichamento continha, além do título do arquivo, ano de publicação, tipo de estudo (bibliográfico/documental, relato de experiencia, experimento de campo ou laboratório), objetivos, área ou região do estudo e principais resultados. Entre o título e o comentário, à medida em que as informações se mostravam relevantes para o tema, eram separadas por tópicos, podendo ser comentados ou não.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

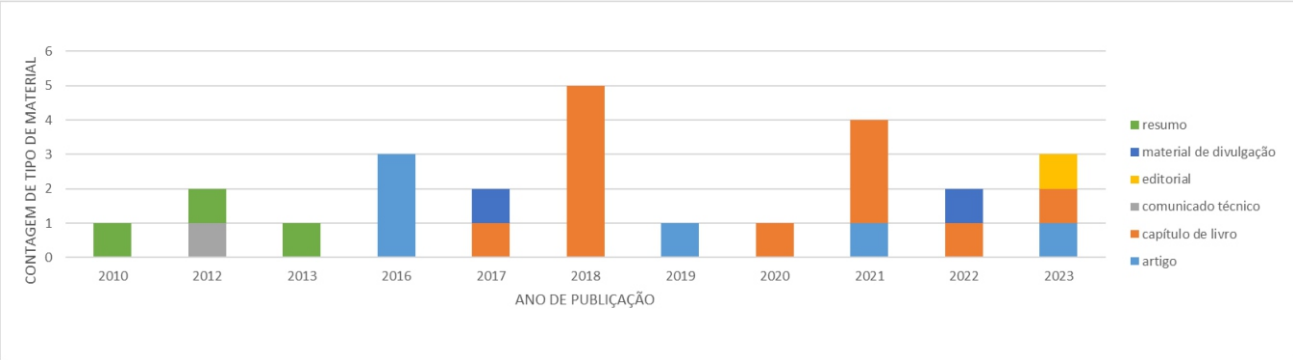
Os 25 textos retirados do site da Embrapa foram agrupados segundo seu tipo em seis categorias, sendo a maioria capítulos de livros e artigos (Figura 1). Também foram encontrados resumos publicados em mostras científicas, materiais de divulgação, além de um comunicado técnico e um editorial.

Figura 1 – Número de textos por categoria (Fonte: os autores)



Os achados da presente pesquisa mostram que há mais de uma década os pesquisadores da Embrapa publicam textos sobre esta temática. Foi possível observar que materiais mais simples, como um comunicado técnico e resumos foram publicados entre 2010 e 2013. Foram encontrados três artigos publicados em 2016 e, a partir de 2017, foram encontrados capítulos de livro em todos os anos, com exceção do ano de 2019. O maior número de textos corresponde aos anos de 2018, com cinco textos, e 2021, com quatro textos.

Figura 2 – Número de materiais por ano de publicação (Fonte: autores)




A análise dos textos encontrados revela que há estudos sobre todas as regiões do Brasil, sendo que dois deles envolvem duas ou mais regiões. Além disso, nove trabalhos não declaram relação com uma ou outra região e outros quatro são genéricos, ou seja, sua abordagem teórica, não trata de nenhuma região específica. O semiárido nordestino concentra maior número de estudos (cinco) e as demais regiões com um ou dois estudos cada.

Além disso, destacam-se os estudos envolvendo análises de dados geoespaciais presentes em pelo menos sete textos, assim como os trabalhos de campo e os trabalhos bibliográficos que totalizam cinco publicações cada. Os demais escritos são materiais de divulgação ou conjuntos de projetos que envolvem mais de um tipo de estudo.

Muito é discutido sobre o impacto da agropecuária no meio ambiente devido a algumas práticas utilizadas que corroboram para as mudanças climáticas, como as queimadas e o monocultivo. No entanto, a própria agropecuária também é impactada pelas consequências dessas mudanças, que afetam várias etapas da produção agrícola, como o aumento do estresse hídrico de plantas e aumento de ataque de pragas (POWER, 2010 apud CUADRA et al, 2018; SILVA, 2017).

Uma maneira discutida por algumas das publicações abordadas no site da Embrapa indicam a biodiversidade como forma de contribuir para a produção e, consequentemente, para o equilíbrio do ecossistema (CANUTO, 2018; ABREU e WATANABE, 2016; MADARI et al., 2018; CUADRA et al, 2018; MATOS et al, 2023). Com destaque para os sistemas agroflorestais (SAF) em que há o consórcio das culturas agrícolas e espécies arbóreas, contribuindo para conservação da estrutura

do solo, sequestro de carbono, maior diversidade de alimentos produzidos, e manutenção do ciclo hídrico. Todos esses fatores podem contribuir para a otimização da produção, que vai a depender menos de irrigação, adubação e químicos. No caso da irrigação, em particular, regiões mais secas como o semiárido podem ainda depender de alguma fonte alternativa de água, sendo indicado a captação de água da chuva como medida (SILVA et al, 2016).

As boas práticas de manejo (respeitando o meio ambiente) impactam positivamente a produção dos agricultores familiares (CANUTO, 2018; MATOS at al, 2023; SILVA et al, 2021), que constituem 77% dos estabelecimentos agrícolas do país (IBGE, 2017). E, para a efetivação das medidas agroecológicas, que andam na contramão da agricultura convencional (como a monocultura), é importante que haja alguma interação com as políticas públicas.

> *A política agrícola brasileira conta com o apoio da Embrapa para manter a ligação entre seus planos, programas e projetos com a realidade produtiva e o estímulo da sustentabilidade e da segurança alimentar. A interação da Embrapa com os quadros técnicos governamentais é essencial para o sucesso da formulação e gestão do Plano ABC e do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) (Oliveira et al, 2018).*

Apesar disso, em junho de 2023, o banco do Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG) declarou destinar R$ 385 milhões para a Safra 2023/2024, entretanto somente R$ 20 milhões desse montante seria destinado para práticas sustentáveis, visto o programa ABC (BDMG, 2023).

Outra prática ganha destaque nas publicações da Embrapa na contribuição para a resiliência dos agroecossistemas: o acompanhamento das condições meteorológicas. Para isso, há o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), que auxilia o produtor em entender a melhor época para plantar dada cultura em dada região.

Com o uso do ZARC foi possível evidenciar tendências esperadas para o clima que irão impactar nas produções agrícolas (EVANGELISTA et al, 2022). Para algumas regiões é esperado aumento da precipitação, que, a depender da intensidade das chuvas, pode haver prejuízos nas áreas de cultivo. Em outras regiões, é esperado maior tempo de estiagem. Nesse sentido, vale ressaltar que, a área irrigada no Brasil em 2022 correspondia apenas a 13,24 % (CNA, 2023), ou seja, a maior parte das áreas rurais do país são diretamente dependentes do clima para produzir. Dessa forma, utilizar o ZARC para acompanhar as condições meteorológicas é de suma importância para que o produtor seja capaz de influenciar no aumento de produtividade (EVANGELISTA et al, 2022; MONTEIRO, 2020; OLIVEIRA et al, 2023).

Com relação ao apoio público, no caso do ZARC, há algum incentivo ao seu uso. Por exemplo, Monteiro (2020) destaca que o Banco Central (Bacen) a partir de 1996 foi recomendado pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) a oferecer alíquotas diferentes para os produtores de um programa que fizessem a utilização do ZARC. Entretanto, a

abordagem foi realizada para culturas específicas, como arroz, feijão, milho, algodão, soja e trigo (SANTOS; MARTINS 2016; ROSSETTI, 1998 apud MONTEIRO, 2020), o que indica um incentivo apenas às monoculturas, não às práticas sustentáveis.

No mais, outras seis publicações não necessariamente abordaram os temas biodiversidade e/ou ZARC, mas ainda assim valem seu estudo. Como é de exemplo, uma publicação sobre a importância da preservação de todo um bioma, a Caatinga, tendo em vista a sua importância no equilíbrio climático e consequente relevância no enfretamento às mudanças climáticas (GOMES et al., 2016).

Outro texto aborda sobre os desafios da produção no semiárido, demonstrando diferentes maneiras agroecológicas de produzir. Dentre as dificuldades encontradas, há destaque para inconsistência de programas que auxiliem os produtores, tendo em vista as trocas de governos, burocratização e dificuldade em acesso à crédito e demais motivos relacionados. Dessa forma, é preciso aumentar a resiliência desses agroecossistemas e produtores. E, uma maneira de solucionar isso é por meio da agroecologia, que tem por via aumentar a independência do produtor (SILVA, 2017).

Com isso, pode-se definir que boas práticas de manejo da produção se demonstram eficientes na manutenção da resiliência nos agroecossistemas. Seja resiliência da própria área, tendo em vista melhora dos recursos hídricos, manutenção do solo vivo e inimigos naturais de pragas (DÍAZ et. al, 2017), como também uma consequente resiliência social (CANUTO, 2017). Nesse último caso, há uma tendência de redução de gastos, por menor necessidade do uso de químicos, como também mais fontes de renda para o produtor, dado a uma maior diversidade da produção. Essa maior diversidade também contribui para a segurança alimentar das famílias e comunidade (OLIVEIRA, 2018). No entanto, para adoção de boas práticas é necessário o incentivo e apoio do governo que, apesar de existirem as políticas, essas não se demonstram tão potenciais, dado que ainda existe maior interesse à monocultura, que, por sua vez, atua na contramão das boas práticas de manejo.

.

## CONCLUSÕES

O trabalho concluiu que preservar e realizar manejo da biodiversidade, como também utilizar das ferramentas de análise meteorológica, como o ZARC, contribuem para a resiliência de um agroecossistema e em diminuir a emissão de GEE.

## AGRADECIMENTOS

Fapemig, Capes, GIT/Univale, LEAS/OBIT

## REFERÊNCIAS

ABREU, Lucimar Santiago de; WATANABE, Maria Aico. Práticas de resiliência social em tempos de crise ecológica global. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 11., 2016, Pelotas. Abordagem sistêmica e sustentabilidade: produção agropecuária, consumo e saúde: anais... Pelotas: Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 2016. Disponível em: https://encurtador.com.br/v6R15. Acesso em: 07 ago. 2024.

ARAÚJO, Maria Isabel de; SOUSA, Silas Garcia Aquino de. Resiliência socioambiental dos agricultores familiares na Hinterlândia amazônica. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AVANÇO TECNOLÓGICO E SUSTENTABILIDADE, 1., 2021. Anais... Triunfo, PE: Omnis Scientia, 2021. v. 1. p. 97-101. Disponível em: https://abrir.link/xyosc. Acesso em: 07 ago. 2024.

ARAUJO FILHO, Jose Coelho de et al. Zoneamentos agroecológicos (ZAEs). In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; MARZALL, K.; SILVA, W. G. da (org.). Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros. Brasília, DF: Mapa, 2021. p. 100-101. Disponível em: https://encurtador.com.br/S5GAC. Acesso em: 13 ago. 2024.

BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS – BDMG. BDMG vai destinar R$ 385 milhões para a safra 2023/2024. 2023. Disponível em: https://www.bdmg.mg.gov.br/bdmg-vai-destinar-r-385-milhoes-para-a-safra-2023-2024/. Acesso em: 04 set. 2024.

BATISTELLA, Mateus et al. SOMABRASIL: Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil. In: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012, Campinas. 11p. Disponível em: https://encurtador.com.br/oinx4. Acesso em: 13 ago. 2024.

CANUTO, João Carlos. Agroflorestas e resiliência social. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; LOPES, E. S. S.; CAVARSAN, E. A.; VALE, J. M. F; MAGNONI, M. G. M.; TEIXEIRA, T.; FIGUEIREDO, W. S. (Org.). Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1103974. Acesso em: 07 ago. 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. Brasil tem potencial de ampliar área irrigada com uso de tecnologias. 2023. Disponível em: https://abrir.link/VcyRg. Acesso em: 04 set. 2024.

CUADRA, Santiago Vianna et al. Mudanças climáticas e a agropecuária brasileira. In: CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (Ed.). Ação contra a mudança global do clima: contribuições da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Cap. 2. Disponível em: https://encurtador.com.br/Yk3wL. Acesso em: 13 ago. 2024.

CUADRA, Santiago Vianna et al. Resiliência e adaptação da agropecuária às mudanças climáticas. In: CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (Ed.). Ação contra a mudança global do clima: contribuições da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Cap. 3, p. 31-47. Disponível em: https://abrir.link/oqlMn. Acesso em: 07 ago. 2024.

DÍAZ, Alejandra et al. Boas práticas agrícolas para uma agricultura mais resiliente: diretrizes para orientação de produtores e governos. In: San José, C. R.: IICA, 2017. Disponível em: https://abrir.link/luFGS. Acesso em: 07 ago. 2024.

EVANGELISTA, Balbino Antonio. Possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no estado do Tocantins. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da (org.). Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento. Palmas, TO: EdUFT, 2022. Disponível em: https://abrir.link/fUWWm. Acesso em: 07 ago. 2024.

GOMES, Viviane Pedroso. Sensoriamento remoto hyperspectral aplicado para análise dos indicadores de resiliência e suscetibilidade do bioma caatinga frente às mudanças climáticas. In: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 4, p. 1122-1136, 2017. Disponível em: https://abrir.link/tLecF. Acesso em: 07 ago. 2024.

GUATIMOSIM, Eduardo et al. Desafios e caminhos para a construção de agroecossistemas resilientes. In: Revista Brasileira de Agroecologia, v. 18, n. 1, 2023. Disponível em: https://abrir.link/vQveo. Acesso em: 07 ago. 2024.

MADARI, Beata Emoke et al. O papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. In: CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (Ed.). Ação contra a mudança global do clima: contribuições da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 59-68. Disponível em: https://abrir.link/yoCho. Acesso em: 13 ago. 2024.

MARENGO, José Antônio. Água e mudanças climáticas. In: Estudos avançados, v. 22, p. 83-96, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/fXZzdm68cnzzt6Khr8zYx3L/. Acesso em: 19 ago. 2024.

MARENGO, Jose Antonio; SOARES, Wagner Rodrigues. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC 2001. In: Clima e recursos hídricos no Brasil, Porto Alegre: ABRH, 2003, Porto Alegre. p. 209-242, 2003. Disponível em: https://abrir.link/aUcPA. Acesso em: 26 ago. 2024.

MATOS, Maria Jardenes de et al. Agricultura resiliente ao clima: um relato de experiência sobre mulheres agricultoras no Semiárido cearense. In: PACHECO, C. S. G. R. (org.). Mudanças climáticas e seus impactos socioambientais: concepções, fundamentos, teorias e práticas mitigadora. Guarujá: Científica Digital, 2023 cap. 3, p. 61-72. Disponível em: https://abrir.link/ugexf. Acesso em: 07 ago. 2024.

MONTEIRO, Jose Eduardo B De Almeida. Zoneamentos de uso agrícola. In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. (ed.). Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, cap. 7, p. 177-190. Disponível em: https://abrir.link/Tukfu. Acesso em: 13 ago. 2024.

OLIVEIRA, Aryeverton Fortes de et al. Avaliação dos impactos do ZARC ao produtor: o valor da informação para soja em MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 22., 2023, Natal. A agrometeorologia e a agropecuária: adaptação às mudanças climáticas: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2023. p. 1347-1350. Disponível em: https://abrir.link/LfMie. Acesso em: 13 ago. 2024.

OLIVEIRA, Aryeverton Fortes de et al. Políticas, planos e estratégias nacionais para combate às mudanças climáticas. In: CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (Ed.). Ação contra a mudança global do clima: contribuições da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2018. cap. 4, p. 49-58. Disponível em: https://abrir.link/nfLzz. Acesso em: 13 ago. 2024.

OLIVEIRA, Aryeverton Fortes de et al. Respostas dos ciclos de culturas agrícolas às alterações climáticas no bioma Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 21., 2019, Catalão. Anais... Catalão: CBAGRO: UFGO, 2019. p. 729-732. Disponível em: https://abrir.link/zqQcu. Acesso em: 13 ago. 2024.

PAES, Lisa Cardillo; ASSAD, Eduardo Delgado. Evolução das áreas de alto risco climático para as principais commodities brasileiras. In: MOSTRA DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS DA EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 6., 2010, Campinas. Resumos... Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2010. p. 106-108. Disponível em: https://abrir.link/tEvNp. Acesso em: 13 ago. 2024.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. Aquecimento Global de 1,5°C. Traduzido por Governo do Brasil. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; Ministério das Relações Exteriores, 2019. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf. Acesso em: 26 ago. 2024.

PINHEIRO, Débora Patrícia Nemer. A resiliência em discussão. In: Psicologia em estudo, v. 9, p. 67-75, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pe/a/hCkq6 FLmry946QGxPWFxsGQ/. Acesso em: 12 ago. 2024.

SALVIANO, Marcos Figueiredo; PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz. Análise de tendências temporais em séries históricas de variáveis meteorológicas no Brasil utilizando o método Contextual Mann-Kendall (CMK). In: MOSTRA DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS DA EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 9., 2013, Campinas. Resumos... Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 122-125. Disponível em: https://abrir.link/dgdpL. Acesso em: 13 ago. 2024.

SANTOS, Patricia Menezes et al. Cenários agrícolas futuros para pastagens no Brasil. In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; MARZALL, K.; SILVA, W. G. da. Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros. Brasília, DF: MAPA, 2021. p. 96-97. Disponível em: https://abrir.link/SOxXz. Acesso em: 13 ago. 2024.

SILVA, Alineaurea Florentino. Bases agroecológicas e resiliência de sistemas de produção em espaços geográficos Semiáridos. In: NÓBREGA, R. S.; SILVA, A. S. dq; SILVA, A. K. de C.; COSTA, A. M. M. da; DANTAS, A. M. da S.; LIRA, D. V. de; MELO, E. E. de; BORGES, G. F. D.

de. S.; SILVA, G. A. da; SOUZA, L. M. da S.; SENA, L. M. F. de; OLIVEIRA. T. N. de; ROSÁRIO, T. N. da S.; HOLANDA, T. F. de (Org.). Reflexões sobre o semiárido: obra do encontro do pensamento geográfico nanindeua: Itacaiúnas, 2017. cap. 4, p. 52-66. Disponível em: https://abrir.link/aKSvo. Acesso em: 07 ago. 2024.

SILVA, Maria Sonia Lopes da et al. Barragem subterrânea: contribuindo com a resiliência às mudanças climáticas de agroecossistemas de base familiar do Semiárido do Nordeste brasileiro. In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; MARZALL, K.; SILVA, W. G. da (org.). Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros. Brasília, DF: Mapa, 2021. p. 88-89. Disponível em: https://abrir.link/qCFev. Acesso em: 07 ago. 2024.

SILVA, Maria Sonia Lopes da et al. Uso e manejo do solo e da água contribuindo na resiliência de sistemas agrícolas às intempéries climáticas no sertão do Araripe, Pernambuco. In: REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2016, Aracaju. Integração e uso do conhecimento para uma agricultura sustentável no Nordeste. Aracaju: SBCS, Núcleo Regional Nordeste, 2016. Disponível em: https://abrir.link/KbnsX. Acesso em: 07 ago. 2024.

SOUZA, Daniela Cristina de; OLIVEIRA, Aryeverton Fortes de. Análise de tendências climáticas regionais: temperatura e precipitação no Bioma Pantanal. In: MOSTRA DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS DA EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 8., 2012, Campinas. Resumos... Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 159-162. Disponível em: https://abrir.link/pUmGJ. Acesso em: 13 ago. 2024.

TANURE, Tarik Marques do Prado. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AGRICULTURA NO BRASIL: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal. 2020. 258 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia Aplicada, Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/33870. Acesso em: 26 ago. 2024.

VICTORIA, Aniel de Castro et al. Frequência de ocorrência de temperaturas extremas em épocas críticas das culturas agrícolas. In: Embrapa Agricultura Digital, 2022, Campinas. 13 p. Disponível em: https://abrir.link/WEjsJ. Acesso em: 13 ago. 2024.

# ARBOVIROSES E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DESAFIOS NA ATUAÇÃO DE AGENTES COMUNITÁRIOS DE SAÚDE EM FREI INOCÊNCIO

Estudo dos efeitos da degradação ambiental, poluição e mudanças climáticas na saúde humana, incluindo doenças respiratórias, alergias e outros problemas de saúde.

Mariana Alves Arruda
Graduanda. na Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Civil e Ambiental
mariana.arruda@univale.

Yasmin Mourão Coelho
Graduanda na Universidade Vale do Rio Doce
Medicina
yasmin.coelho@univale.br.

Julia Lanes Novais Ferreira
Graduanda na Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Civil e Ambiental
julia.ferreira@univale.br

Bianca Gaigher Uzais
Graduanda na Universidade Vale do Rio Doce
Biomedicina
bianca.uzais@univale.br

Dayane Gonçalves Ferreira
Prof. na Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Civil e Ambiental
dayane.ferrenira@univale.br

Hernani Ciro Santana
Prof. na Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Civil e Ambiental
hernani.santana@univale.br

## Resumo

Este estudo analisou a atuação dos Agentes Comunitários de Saúde (ACS) no controle das arboviroses no município de Frei Inocêncio, Minas Gerais, com enfoque em como esses profissionais percebem e enfrentam os desafios relacionados à prevenção e manejo de doenças como Dengue, Chikungunya e Zika. Utilizando uma abordagem qualitativa, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com ACS, explorando sua percepção sobre a relação entre o território, a população e os serviços de saúde, além das condições climáticas que influenciam a proliferação do Aedes aegypti. Os dados revelaram que a maioria dos ACS é formada por mulheres com idades entre 31 e 50 anos, atuando em visitas domiciliares, campanhas educativas e na notificação de casos suspeitos. O estudo também destacou a influência significativa das mudanças climáticas, como o aumento das chuvas e da temperatura, na proliferação dos vetores, complicando o controle das arboviroses na região. Apesar dos esforços dos ACS, a pesquisa identificou que as ações de controle são predominantemente reativas e concentradas nos períodos de surto, apontando para a necessidade de uma política pública contínua, com monitoramento preventivo e maior capacitação dos profissionais de saúde. Conclui-se que uma abordagem mais integrada e proativa entre a população, os ACS e o poder público é essencial para enfrentar os desafios impostos pelas arboviroses e pelas mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Estratégia Saúde da Família; Meio Ambiente e Saúde Pública; Aquecimento Global

# INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o planeta tem passado por mudanças climáticas drásticas, sendo o aumento da temperatura da superfície global um dos indicadores mais alarmantes. Entre 2011-2021, a temperatura do planeta foi cerca de 1,1°C mais alta do que entre 1850-1900 (período pré-industrial), e de acordo com as melhores estimativas, continuará a aumentar, alcançando 1,5°C até 2040. Essa mudança do clima ao longo das últimas décadas tem como principal razão as atividades antrópicas, através das emissões de gases de efeito estufa, que cursam com o aquecimento global. Por conseguinte, eventos de calor extremo, cada vez mais frequentes, impactam na saúde humana, resultando em mortalidade e morbidade (IPCC, 2023).

Um aspecto que merece destaque é a forma como o aquecimento global influencia os ciclos de vida e os padrões de infecção de vetores de doenças. O *Aedes aegypti*, mosquito responsável pela transmissão doenças como a Dengue (DEN), Zika (ZIK) e Chikungunya (CHIK), tem o tempo de desenvolvimento das larval e tempo necessário para ser capaz de infectar um humano reduzidos com o aumento da temperatura (Lima-Camara, 2016). No Brasil, o clima tropical, caracterizado por temperaturas elevadas e alta umidade, cria condições ideais para a proliferação desse mosquito, tornando o país uma zona endêmica para essas arboviroses. O aumento da frequência de eventos de calor extremo agrava o cenário, tornando a amplificação dessas doenças um desafio crescente para a saúde pública (Donateli; Campos, 2023; Donaliso; Freitas; Zuben, 2017).

De acordo com a Superintendência Regional de Saúde de Governador Valadares (2023), os casos prováveis de DEN no período sazonal da doença (meses quentes e chuvosos), no ano de 2023, superaram os registros dos últimos dez anos da série histórica, reforçando a correlação entre as mudanças climáticas e a incidência de arboviroses. Frei Inocêncio, uma das 51 cidades pertencentes a essa regional de saúde, com uma população de 8.226 habitantes, apresentou 455 casos prováveis de arboviroses, e um óbito em 2023, corroborando o panorama de agravamento das taxas de incidência de arboviroses (IBGE, 2022; Minas Gerais, 2024). Apesar de estar relacionada com crescimento populacional desordenado característico de grandes centros urbanos, cidades de pequeno porte também sofrem com a vulnerabilidade climática e a falta de infraestrutura de saneamento, o que desempenha um papel central no agravamento da incidência de arboviroses (Lima-Camara, 2016).

Diante desse cenário, a Atenção Básica à Saúde (ABS), componente da Rede de Atenção à Saúde (RAS) formada pelos serviços do Sistema Único de Saúde (SUS), apresenta um papel fundamental na compreensão e controle dos impactos causados pela DEN, ZIK e CHIK. Isso porque, além de servir de centro de comunicação com os outros níveis de atenção, coordenando o cuidado, serve de porta de entrada da RAS. Nesse viés, a ABS é o único nível de atenção presente em todo território nacional, devendo ser capaz de solucionar 85% dos problemas de saúde de uma comunidade. Para atingir tal resultado, se vale da territorialização, isto é, da organização de suas ações, sobretudo de prevenção e promoção em saúde, com base no vínculo com a população, criando uma relação de pertencimento, de modo a superar a dimensão político administrativa. (Faria, 2020; Mendes, 2010).

Para a operacionalização da ABS, o SUS tem como prioridade a adoção da Estratégia Saúde da Família (ESF), um modelo brasileiro. Desde seu lançamento em 1994, quando ainda era denominada Programa Saúde da Família, a ESF contribui para o esforço de consolidação da atenção às necessidades de saúde não só do indivíduo, como da família e da comunidade, para além do foco no adoecimento. Assim, é ofertada uma assistência integral, isso, em virtude do trabalho de equipes multiprofissionais responsáveis por sua população adscrita (Carmo; Campos; Silva, 2023). Esse modelo de atenção é especialmente eficaz na prevenção e controle de arboviroses, uma vez que permite a atuação em áreas vulneráveis e a implementação de estratégias de educação em saúde.

Dentre os trabalhadores incluídos nesse modelo estão os Agentes Comunitário de Saúde (ACS), que possibilitam a visita domiciliar e a busca ativa nas famílias a eles incumbidas, efetuando fundamentos singulares à ESF. Tais ações, além de viabilizarem a territorialização, propiciam identificação de áreas de intervenção nos determinantes sociais de saúde relacionados à propagação de vetores. (Giovanella et al., 2021; Nepomuceno et al., 2021; Faria, 2020). Diante disso, tanto a ESF, quanto o ACS apresentam um potencial na vigilância e educação em arboviroses, otimizado pela criação do vínculo entre equipe e população assistida (Carmo; Campos; Silva, 2023).

A pesquisa proposta neste trabalho tem como objetivo aprofundar a compreensão sobre a relação entre o território, a população e o serviço de saúde no enfrentamento das arboviroses, a partir da perspectiva dos ACS em Frei Inocêncio. Ao investigar essa interação, espera-se identificar desafios e oportunidades para melhorar as estratégias de controle e prevenção dessas doenças em pequenas cidades, onde as limitações de recursos e a vulnerabilidade climática colocam a população em maior risco.

Dessa forma, o papel da Atenção Básica, e especificamente da ESF, revela-se fundamental na mitigação dos impactos das mudanças climáticas sobre a saúde pública. A atuação dos ACS na identificação de áreas de risco e na educação da população sobre arboviroses pode ser uma das estratégias mais eficazes para reduzir a incidência dessas doenças em cidades pequenas e em áreas rurais. Assim, torna-se imperativo reforçar a formação continuada dos ACS e das equipes da ESF, garantindo que estejam preparados para lidar com os desafios crescentes impostos pelas mudanças climáticas e pela proliferação de arboviroses (Carmo et al., 2023).

## METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa segue uma abordagem qualitativa, com o objetivo de compreender de forma aprofundada a atuação dos ACS no município de Frei Inocêncio, Minas Gerais, no enfrentamento das arboviroses. O foco central da investigação é entender a relação entre o território, a população e os serviços de saúde, a partir da perspectiva dos ACS que atuam na ESF. Para isso, o estudo se desdobrará em duas frentes: uma revisão de literatura e a aplicação de questionários semiestruturados.

A revisão de literatura foi o ponto de partida, proporcionando uma base teórica sólida sobre os temas que norteiam o estudo, como arboviroses, mudanças climáticas e o

papel da ABS, com ênfase na ESF. Foram utilizadas fontes acadêmicas, como artigos científicos publicados em bases de dados renomadas (SciELO, PubMed e Google Scholar), além de documentos institucionais de órgãos como o Ministério da Saúde. Essa etapa visa consolidar o conhecimento existente sobre as implicações das mudanças climáticas no aumento das arboviroses, além de explorar as estratégias de controle e prevenção implementadas no Brasil. O material revisado serviu de subsídio para a formulação dos questionários semiestruturados, que foram aplicados aos ACS de Frei Inocêncio.

A coleta de dados primários ocorreu por meio de entrevistas com questionários semiestruturados, aplicados diretamente aos ACS que atuam na ESF do município. Esses profissionais, pela proximidade com a comunidade e pelo papel que desempenham na promoção da saúde, são considerados peças-chave no controle das arboviroses. As entrevistas buscaram explorar as percepções dos ACS sobre os principais desafios e oportunidades na prevenção e controle dessas doenças em uma cidade de pequeno porte, onde as limitações de recursos e a vulnerabilidade climática impõem barreiras adicionais ao trabalho dos profissionais de saúde. O questionário foi estruturado em blocos, abordando o perfil sociodemográfico e profissional dos ACS, suas percepções sobre a incidência das arboviroses e os desafios enfrentados no dia a dia.

A aplicação dos questionários ocorreu de forma presencial, com agendamento prévio para garantir a disponibilidade dos ACS. Cada entrevista teve duração de aproximadamente 30 a 45 minutos e foi gravada, com o consentimento dos entrevistados, garantindo o anonimato e a confidencialidade das informações. As respostas foram posteriormente transcritas e analisadas com base na técnica de análise de conteúdo, que permite identificar padrões e categorias temáticas emergentes, conforme proposto por Bardin (2011). Esse processo analítico possibilitará a identificação de fatores territoriais, sociais e institucionais que influenciam a atuação dos ACS no controle das arboviroses em Frei Inocêncio.

A escolha por uma abordagem qualitativa justifica-se pela necessidade de capturar a complexidade das interações entre o território, a população e os serviços de saúde, permitindo que os ACS compartilhem suas experiências e desafios de maneira detalhada. A flexibilidade oferecida pelos questionários semiestruturados é essencial para aprofundar o entendimento sobre as condições locais de vulnerabilidade e os esforços realizados pelos agentes para mitigar os impactos das arboviroses. Ao mesmo tempo, a revisão de literatura fornecerá uma contextualização teórica que ajudará a interpretar os dados coletados e a situar os achados da pesquisa no cenário mais amplo das políticas públicas de saúde no Brasil.

Dessa forma, a metodologia aqui proposta visa não apenas a análise do contexto local de Frei Inocêncio, mas também contribuir para o debate sobre o papel da ABS e da ESF no enfrentamento das arboviroses, especialmente em cidades de pequeno porte, onde os recursos e as infraestruturas de saúde são mais limitados. Ao aprofundar a compreensão sobre a atuação dos ACS, espera-se que esta pesquisa identifique tanto as barreiras quanto as oportunidades para aprimorar as estratégias de controle dessas doenças, fornecendo insights que possam ser aplicados a outras regiões com características similares.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prevalência de mulheres entre os ACS entrevistados reflete uma tendência observada em todo o Brasil, onde o trabalho em saúde tem se feminilizado ao longo das últimas décadas. Este fenômeno, como observado por Mota e David (2010), é resultado de uma herança cultural que associa o cuidado à figura feminina, embora seja necessário questionar as implicações dessa feminização em termos de precarização e desvalorização salarial. Como Carmo et al. (2023) apontam, muitas profissões "femininas" acabam sendo marginalizadas no sistema de saúde, com pouca oferta de capacitação e apoio institucional.

A questão das visitas domiciliares, que emergiu como uma das principais atribuições dos ACS, também precisa ser analisada de forma mais crítica. Essa é uma ferramenta essencial para o controle das arboviroses, conforme preconiza a Política Nacional de Atenção Básica (Brasil, 2011), já que o vínculo possibilitado por ela, oportuniza orientações sobre a eliminação de criadouros de mosquitos. No entanto, o sucesso dessas intervenções depende fortemente da adesão da população,e a resistência de parte da comunidade em aceitá-las pode ser atribuída a uma abordagem mais pontual e emergencial do que preventiva, o que reduz o impacto de longo prazo das ações de saúde pública.

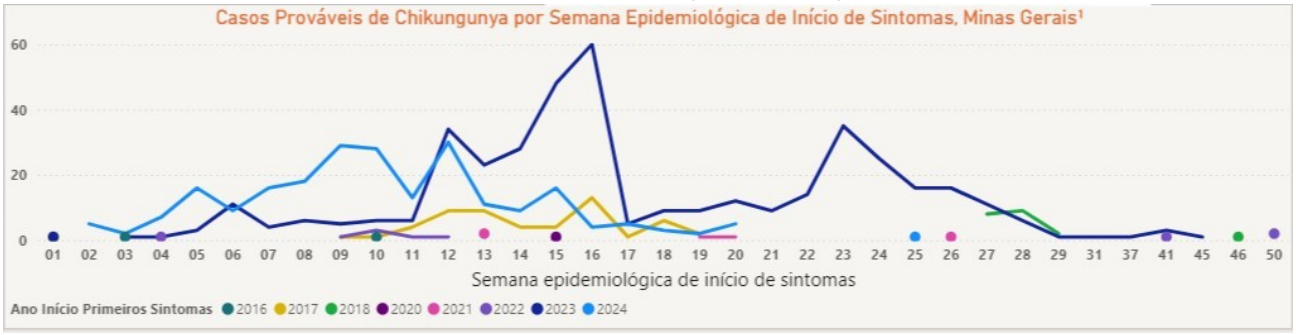
Quando se trata dos padrões sazonais, a percepção dos ACS de que as variações climáticas estão diretamente relacionadas ao aumento da incidência de arboviroses é consistente com a literatura global. O aumento das temperaturas e a alteração do regime de chuvas favorecem a proliferação do *Aedes aegypti*, tornando as regiões tropicais como o Brasil especialmente vulneráveis (Lima-Camara, 2016). No entanto, como observado por Nepomuceno et al. (2021), a falta de recursos e infraestrutura adequada para o monitoramento constante dos focos de mosquito agrava ainda mais esse quadro. Os resultados apontam para a necessidade de investimentos em monitoramento permanente e capacitação, não apenas em períodos de surto, mas ao longo de todo o ano, de forma a prevenir que as arboviroses se tornem epidêmicas.

Os ACS puderam perceber em sua prática uma variação da incidência de arboviroses coincidente à registrada pela Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais (2024), caracterizada pelo aumento dos índices nos últimos dois anos. A epidemia de DEN em 2024, inclusive, já era esperada, sendo prevista por modelos da Infodengue/Fiocruz (Brasil, 2024). Houve ainda o destaque do predomínio da CHIK em 2023, representando 90,3% dos casos prováveis de arboviroses notificados, realidade inversa a do estado, onde os registros de CHIK representaram apenas 19,7%. de casos prováveis dentre as arboviroses, e até a da própria cidade, que nos demais anos teve a DEN como infecção preponderante.

Como criadouros do *Aedes aegypti,* foram apontados pelos entrevistados, sobretudo os quintais das residências e lotes vagos (usualmente usados para descarte de lixo). Quando se leva em conta que a única medida de prevenção eficiente contra as arboviroses é o combate ao vetor, já que ainda não existem vacinas em ampla disponibilização, a eliminação de reservatórios de água artificiais se torna indispensável (Barbosa et al., 2019). Isso depende, segundo Tauil (2001) da mobilização comunitária de forma continuada e de educação em saúde, uma das atribuições dos ACS.

Figura 01: Casos prováveis de Dengue por semana epidemiológica em Frei Inocêncio (2015-2024)

Figura 02: Casos prováveis de Chikungunya por semana epidemiológica em Frei Inocêncio (2016-2024)




A importância da notificação foi outro tema abordado, uma vez que a comunicação dos casos da DEN, ZIK E CHIK é compulsória no Brasil, devendo ser repassados ao Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). No entanto, Donaliso, Freitas e Zuben (2017) ressaltam a presença de dados inconsistentes, incompletos, desatualizados, duplicados e classificados erroneamente nesse sistema. Além do questionamento da qualidade das informações do SINAN, existe ainda subutilização, e conjunto disso, impacta negativamente o planejamento de saúde. A elevada incidência de arboviroses em Frei Inocêncio é influenciada pela inadequada capacitação dos profissionais de saúde, incluindo os ACS, sobre o preenchimento de notificações, o que prejudica a destinação de recursos para a prevenção.

Ademais, a resposta do poder público ao controle das arboviroses é uma questão recorrente na discussão sobre a efetividade das políticas de saúde. Embora os ACS e a equipe da ESF realizem esforços significativos para combater as arboviroses, a pesquisa revela que a atuação do poder público ainda é vista como insuficiente, sendo intensificada apenas durante os surtos, o que está alinhado com as críticas de autores como Silva e Rodrigues (2010). A falta de um planejamento preventivo e de políticas públicas contínuas enfraquece as ações de controle, deixando a população vulnerável nos momentos de maior risco. Isso reforça a importância de uma abordagem

integrada entre os diversos níveis de governo e a sociedade civil para enfrentar não apenas os surtos, mas também as causas estruturais das arboviroses, como o saneamento inadequado e o desmatamento (Donalisio et al., 2017).

No campo das mudanças climáticas, os entrevistados demonstraram uma percepção clara sobre o impacto do aquecimento global na proliferação do *Aedes aegypti*. Embora nem todos associem diretamente o aquecimento global ao aumento de arboviroses, a maioria reconhece que as alterações climáticas têm impactado os padrões sazonais, o que está de acordo com o relatório do IPCC (2023), que prevê um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor e chuvas intensas, condições que favorecem a reprodução de vetores de doenças. Isso indica que, além das ações de saúde pública, é necessário um esforço coordenado para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, com políticas de adaptação que levem em conta os impactos sobre a saúde das populações mais vulneráveis (DONATELI et al., 2023).

Outro aspecto relevante é a percepção da população sobre as arboviroses e as mudanças climáticas. Embora a preocupação com as doenças aumente nos momentos de surto, há uma baixa adesão às medidas preventivas fora desses períodos, o que compromete a eficácia das ações de controle. Essa falta de adesão reflete não apenas uma lacuna na conscientização, mas também a ausência de políticas públicas que incentivem a participação ativa da comunidade na prevenção das doenças. Conforme Giovanella et al. (2021) destacam, a participação comunitária é um elemento-chave para o sucesso de qualquer programa de saúde pública, especialmente em contextos de alta vulnerabilidade social e climática.

Portanto, a discussão mais aprofundada dos resultados obtidos nesta pesquisa revela que o controle das arboviroses em pequenos municípios como Frei Inocêncio depende de uma abordagem integrada e contínua, que envolva tanto os ACS quanto o poder público e a comunidade. A capacitação permanente dos profissionais de saúde, o monitoramento constante dos focos de Aedes aegypti e a conscientização da população são estratégias fundamentais para mitigar os impactos das arboviroses que se agravam com as mudanças climáticas. Além disso, é essencial que o poder público adote uma postura mais proativa, com políticas preventivas robustas e ações intersetoriais que considerem os determinantes sociais e ambientais da saúde.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa destacou a relevância do trabalho dos Agentes Comunitários de Saúde (ACS) no controle das arboviroses em municípios pequenos, como Frei Inocêncio. No entanto, além de reconhecer essa importância, o estudo evidenciou desafios que limitam a eficácia dessas ações, como a resistência da população às medidas preventivas e a falta de capacitação adequada dos profissionais. Embora os ACS dominem as necessidades de saúde da população e do território, o poder público ainda adota uma postura reativa, atuando de forma mais incisiva apenas durante os surtos de arboviroses, o que aumenta a vulnerabilidade da população.

A pesquisa também apontou a necessidade de uma formação contínua e adaptada para os ACS, principalmente em relação ao impacto das mudanças climáticas na proliferação de vetores, como o *Aedes aegypti*. Doenças como Dengue, Zika e Chikungunya são influenciadas por alterações no clima, como aumento de temperatura e mudanças no regime de chuvas, o que reforça a necessidade de capacitar os ACS para atuar de forma preventiva e compreender essas variações.

Além disso, foi criticada a abordagem do poder público, que, ao focar em ações reativas e temporárias, não consegue garantir uma resposta sustentável ao problema das arboviroses. A pesquisa defende a adoção de uma postura mais proativa por parte do governo, com investimentos em saneamento, conscientização contínua e políticas que incentivem a colaboração comunitária. A falta de planejamento a longo prazo e a desarticulação entre setores, como saúde, meio ambiente e urbanismo, são agravantes em cidades pequenas, onde as arboviroses já são endêmicas.

Conclui-se que é urgente fortalecer as ações de controle das arboviroses em Frei Inocêncio, com foco em prevenção, capacitação contínua dos ACS, vigilância constante e políticas públicas que integrem saúde e meio ambiente. O poder público deve adotar uma abordagem mais proativa, com ações preventivas e educativas ao longo de todo o ano. Somente com essas mudanças estruturais e institucionais será possível enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e controlar efetivamente as arboviroses em municípios vulneráveis.

## AGRADECIMENTOS

Aos ACS que participaram desse trabalho e a Universidade Vale do Rio Doce pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2015. 288 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Política Nacional da Atenção Básica. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2012. 108 p. Disponível em: https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/313/1/pnab.pdf . Acesso em: 26 set. 2024.

CARMO, Andressa Daiana Nascimento do; SILVA, Silvia Lanziotti Azevedo da; CAMPOS, Estela Márcia Saraiva. Análise temporal de indicadores da Estratégia Saúde da Família sob o olhar da Política Nacional da Atenção Básica. Cadernos de Saúde Pública, v. 39, p. e00042523, 2023. DOI 10.1590/0102-311XPT042523. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-311XPT042523. Acesso em: 26 set. 2024.

DONALISIO, Maria Rita; FREITAS, André Ricardo Ribas; ZUBEN, Andrea Paula Bruno Von. Arboviroses emergentes no Brasil: desafios para a clínica e implicações para a saúde pública. Revista de saúde pública, v. 51, p. 30, 2017. DOI 10.1590/S1518-8787.2017051006889.

MINAS GERAIS, BRASIL. JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management, v. 20, p. e202320003, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.4301/S1807-1775202320003. Acesso em: 26 set. 2024.

MINAS GERAIS, Superintendência Regional de Saúde de Governador Valadares. Boletim Epidemiológico Arboviroses - Edição Especial 15/2023. Governador Valadares: SRS, 19 jun. 2023.

FARIA, Rivaldo Mauro de. A territorialização da atenção básica à saúde do Sistema Único de Saúde do Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, v. 25, p. 4521-4530, 2020. DOI: 10.1590/1413-812320202511.30662018 Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-812320202511.30662018. Acesso em: 26 set. 2024.

GIOVANELLA, Ligia et al. Cobertura da Estratégia Saúde da Família no Brasil: o que nos mostram as Pesquisas Nacionais de Saúde 2013 e 2019. Ciência & Saúde Coletiva, v. 26, p. 2543-2556, 2021. DOI 10.1590/1413-81232021266.1.43952020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-81232021266.1.43952020. Acesso em: 26 set. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Frei Inocêncio - Panorama." Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/frei-inocencio/panorama. Acesso em: 26 set. 2024.

IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2023, 184 p., DOI 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em: 6 set. 2024.

LIMA-CAMARA, Tamara Nunes. Emerging arboviruses and public health challenges in Brazil. Revista de saúde pública, v. 50, p. 36, 2016. DOI: 10.1590/s1518-8787.2016050006791. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1518-8787.2016050006791 . Acesso em: 26 set. 2024.

MINAS GERAIS. Secretaria de estado de saúde. Painel de arboviroses: Vigilância epidemiológica. Disponível em: https://www.saude.mg.gov.br/aedes/painel. Acesso em: 6 set. 2024.

NEPOMUCENO, Raquel de Castro Alves et al. O trabalho dos Agentes Comunitários de Saúde à luz da Teoria Comunidades de Prática. Ciência & Saúde Coletiva, v. 26, p. 1637-1646, 2021. DOI 10.1590/1413-81232021265.04162021. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-81232021265.04162021. Acesso em: 26 set. 2024.

# CORRELAÇÃO ENTRE AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E INCÊNCIOS NO PANTANAL SUL: ANÁLISE EPISÓDICA DE INVERNO E PRIMAVERA DO ANO DE 2023

Investigação dos riscos associados a
eventos climáticos extremos (inundações, secas e incêndios florestais).

Julia Vitoria Riscalli Mota Gimenez
Graduanda do Curso (graduação em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, CPTL
julia.riscalli@ufms.br

Mauro Henrique Soares da Silva
Prof. Dr. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul Campus de Três Lagoas PPGGEO/UFMS
mauro.soares@ufms.br.

## Resumo

O Pantanal Mato-grossense, planície de inundação do Rio Paraguai, é afetado pelas alterações climáticas que influenciam sua dinâmica hídrica. Este estudo teve como objetivo analisar as características meteorológicas relacionadas aos incêndios florestais no Pantanal Sul durante o inverno e a primavera do ano de 2023. Utilizando dados do Portal do Monitoramento de Queimadas do INPE e do Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de Mato Grosso do Sul (CEMTEC-MS), foram obtidos registros de números de focos de incêndios, chuvas, temperatura e umidade entre 22 de junho e 21 de dezembro de 2023. Os resultados mostraram que para o período foram registrados 1.572 focos de incêndios. Junho apresentou o menor número (12), em um cenário sem chuvas e temperaturas entre 29ºC e 30,6ºC. Julho, com apenas um dia de chuva e umidade abaixo de 60%, teve 94 focos de incêndio, principalmente em dias quentes. A situação se agravou entre agosto e outubro, com temperaturas acima de 35ºC e umidade abaixo de 40%, culminando em um pico de 969 queimadas em novembro (62% do total). Em dezembro, o aumento das chuvas e da umidade resultou na diminuição para 122 focos de incêndio. Os dados sugerem a necessidade urgente de estratégias eficazes de manejo e monitoramento durante períodos críticos de seca e altas temperaturas para prevenir e mitigar incêndios.

**Palavras-chave:** Focos de Incêndios, Clima, Correlação.

## INTRODUÇÃO

O Pantanal Mato-grossense, a maior planície alagável do mundo, desempenha um papel fundamental na biodiversidade e nos ciclos hidrológicos da América do Sul (MAMEDE & ALHO,

2006). Localizado ao longo da planície de inundação do Rio Paraguai, esse sistema é caracterizado por uma complexa dinâmica hídrica, que depende em grande parte das precipitações sazonais (FLEISHMANN, 2017). Durante as cheias, a planície abriga uma rica diversidade de flora e fauna, mas, com a crescente intensidade das alterações climáticas, esse equilíbrio tem se tornado cada vez mais vulnerável (PAZ, 2010). Estudos recentes indicam que fenômenos extremos, como secas severas e chuvas torrenciais, estão se tornando mais frequentes e intensos, afetando a saúde ecológica e a resiliência do Pantanal (MAMEDE & ALHO, 2006).

Um dos efeitos mais alarmantes das mudanças climáticas no Pantanal é o aumento na frequência e severidade de incêndios florestais (PADOVANI, 2006). Em particular, os incêndios registrados no Pantanal Sul durante o inverno e primavera de 2023 evidenciam a interconexão entre as condições meteorológicas e a ocorrência de queimadas. A combinação de altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e ventos fortes cria um cenário propício para a ignição e propagação de incêndios, exacerbando a degradação do habitat e colocando em risco diversas espécies nativas (NUNES et al., 2006).

Adicionalmente, a interferência humana, como a expansão agrícola e o manejo inadequado do solo, tem contribuído para a fragilização do ecossistema, tornando-o mais suscetível a incêndios (FEARNSIDE, 2002). As consequências desses incêndios são profundas, não apenas pela perda de biodiversidade, mas também pela liberação de carbono armazenado nos solos e vegetação, o que amplifica as emissões de gases de efeito estufa e agrava ainda mais as mudanças climáticas (FEARNSIDE, 2002).

O presente estudo busca analisar as características meteorológicas associadas aos incêndios florestais ocorridos no Pantanal Sul em episódios de inverno e primavera do ano climático de 2023, com foco em identificar padrões climáticos que possam estar relacionados à severidade e frequência desses eventos.

A compreensão dessas interações é essencial para a formulação de estratégias de mitigação e adaptação, visando à conservação desse ecossistema vital. Além disso, o estudo pretende contribuir para a gestão sustentável dos recursos naturais do Pantanal, reconhecendo sua importância não apenas para a biodiversidade local, mas também para a regulação climática global e o fornecimento de serviços ecossistêmicos. Diante do cenário atual, um aprofundamento na relação entre as condições meteorológicas e os incêndios florestais no Pantanal se torna uma ferramenta essencial para promover a preservação e recuperação deste patrimônio natural.

## METODOLOGIA

Neste estudo, buscamos analisar a variabilidade dos focos de incêndio em Corumbá, Mato Grosso do Sul, dentro do bioma Pantanal, durante o período de 22 de junho a 21 de dezembro de 2023. Para isso, adotamos uma abordagem metodológica que combina a coleta de dados de incêndios e informações meteorológicas, permitindo uma compreensão mais abrangente das interações entre essas variáveis.

A coleta de dados de focos de incêndio foi realizada através do Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE, conhecido como

BDQueimadas. Para garantir que os dados fossem relevantes e específicos para nossa análise, assim, na referida plataforma aplicamos filtros rigorosos: selecionamos o Brasil como país, Mato Grosso do Sul como estado e Corumbá como município. Além disso, utilizamos o satélite AQUA MT como referência e focamos no bioma Pantanal. Essa filtragem permitiu a obtenção de informações precisas sobre a quantidade e a localização dos focos de incêndio no período determinado.

Complementando a análise dos incêndios, recorremos à base de dados do Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de Mato Grosso do Sul (CEMTEC-MS) para aquisição de dados meteorológicos essenciais, como precipitação, temperatura e umidade. A escolha dessas variáveis se deu pela sua relevância na dinâmica dos incêndios florestais, influenciando diretamente a suscetibilidade do bioma a queimadas.

Após a coleta, os dados foram organizados em uma planilha do Excel. Cada mês foi separado em abas distintas, onde consolidamos o número de focos de incêndio, a totalização de chuvas, a temperatura média e a umidade relativa. Essa organização facilitou a análise posterior e a visualização dos dados.

Em seguida, realizamos uma análise estatística descritiva para entender melhor as características dos dados coletados. Cálculos de média, mediana, mínimo e máximo foram feitos para as variáveis de incêndios e meteorológicas. Para ilustrar as tendências e a evolução ao longo do tempo, criamos gráficos de linha para os focos de incêndio e gráficos de barras para comparar as variáveis meteorológicas. Essa visualização é crucial para identificar padrões e anomalias no comportamento dos incêndios em relação às condições climáticas.

Por meio da fórmula automática do software Excel, foi realizado a correlação de Pearson entre as variáveis climáticas, sendo a média mensal das temperaturas máximas, a média mensal da umidade relativa do ar, e o acumulado mensal da precipitação, com a soma do número total de focos de incêndio para cada mês. As estatísticas foram aplicadas tanto para obtenção da correlação direta (Mês a Mês), quanto para correlação indireta (*delay* de um mês), ou seja, comparando a ocorrência dos episódios de focos de incêndios com as condições climáticas do mês anterior ao fenômeno. Para análise dessa correlação estatística foi aplicada a classificação de Figueiredo Filho e Silva Junior (2009), em que os valores entre 0,1 a 0,3 apresentam fraca correlação, 0,31 a 0,49 apresentam moderada correlação, e acima de 0,5 forte correlação.

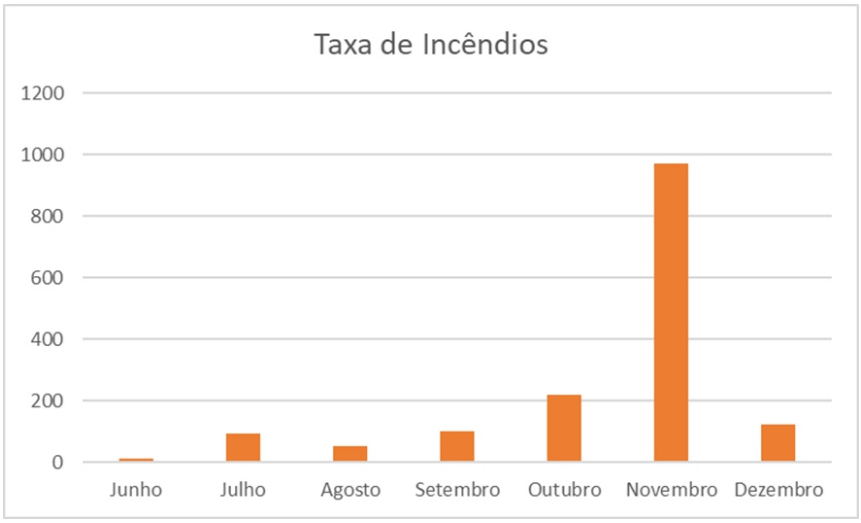
Por fim, a interpretação dos resultados foi realizada com base nos dados e gráficos obtidos. Discutimos as tendências observadas, possíveis relações entre as variáveis e suas implicações para a gestão de incêndios e a conservação do Pantanal. Com isso, esperamos contribuir para um entendimento mais profundo das dinâmicas de incêndio nessa região tão vulnerável e valiosa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o inverno e a primavera de 2023, foram registrados um total de 1.572 queimadas na região de Corumbá, Mato Grosso do Sul. A variabilidade mostrou um aumento substancial dos focos de queimadas no período de junho a dezembro de

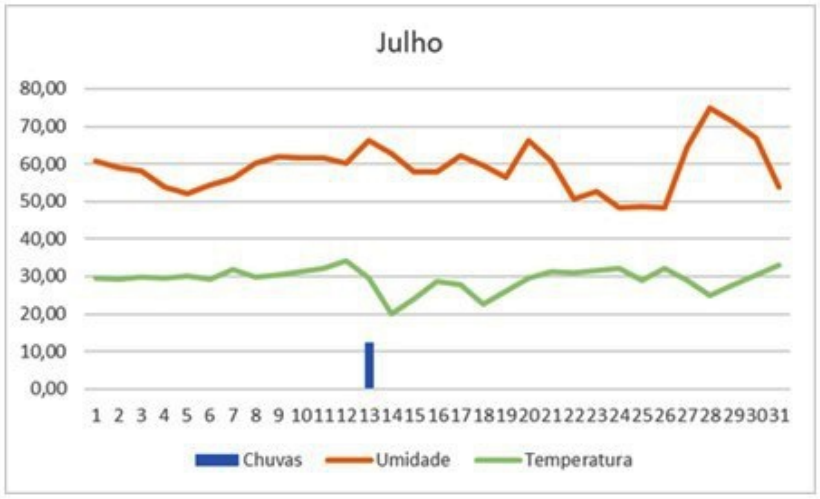
2023 (Figura 1), tendo o mês de novembro com um pico significativo de cenário de queimadas no Pantanal Sul, totalizando 969 focos de incêndios, o que representa 60,9% do total de ocorrências em todo o período analisado.

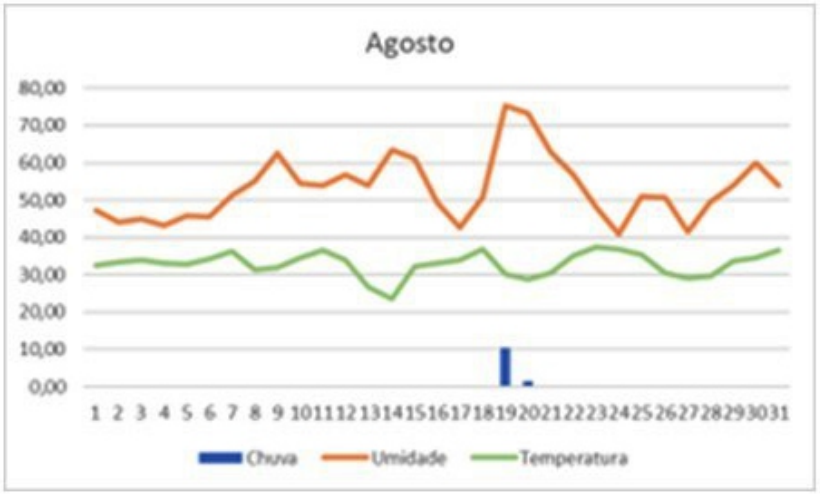
Figura 01: Evolução dos episódios de incêndios florestais no Pantanal Sul no inverno e primavera do ano de 2023

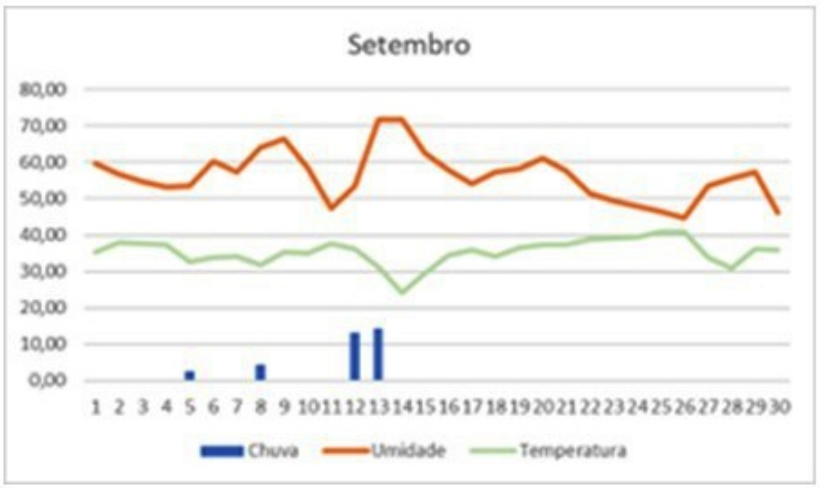



A análise dos dados mensais, para o período de inverno (Figura 2), revela padrões significativos que se correlacionam com as condições meteorológicas predominantes. O mês de junho teve o menor número de queimadas, com apenas 12 registros, em um cenário caracterizado por temperaturas entre 29ºC e 30,6ºC e ausência de precipitação. A umidade relativa moderada nesse período sugere que, apesar das temperaturas elevadas, a falta de seca intensa pode ter mitigado o risco de incêndios (FONSECA-MORELLO et al., 2017)

Figura 02: Variabilidade diária da Temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e focos de incêndio, em episódios de inverno de 2023







No mês seguinte, julho, as condições se tornaram mais favoráveis à ignição de queimadas. Com apenas um dia de chuva e umidade relativa do ar frequentemente abaixo dos 60% — atingindo a mínima de 48% — foram registrados 94 focos de incêndio, especialmente em dias em que as temperaturas superaram os 30ºC. Essa tendência é consistente com a literatura, que indica que a combinação de temperaturas elevadas e baixa umidade é um fator crítico na ocorrência de incêndios florestais (UHL; BUSBACHER, 1985; IBAMA, 2010)

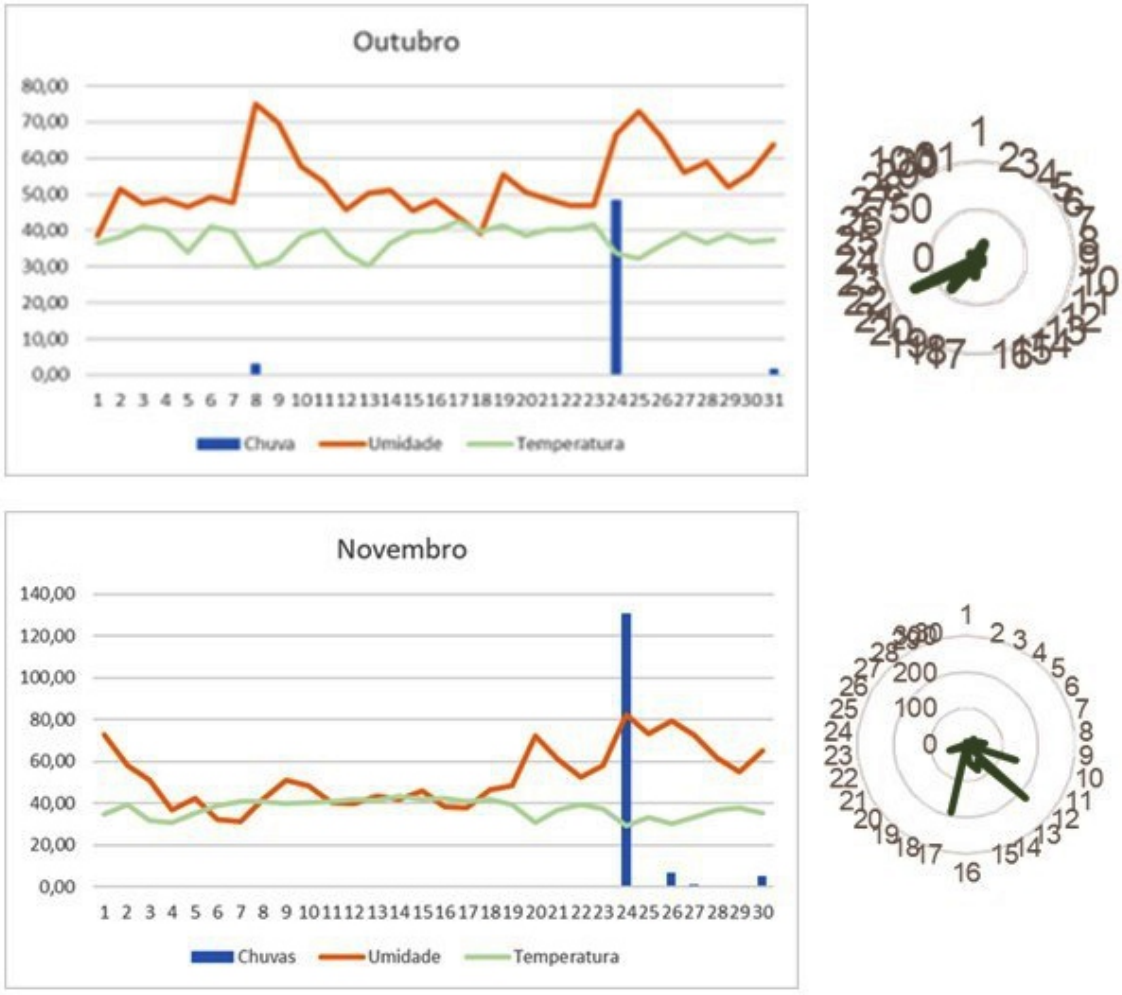
Os meses subsequentes, de agosto e setembro de 2023, apresentaram condições climáticas caracterizadas por aumento de temperaturas, as quais tiveram registros superiores a 35ºC, porém as condições de umidade relativa do ar continuaram baixas, apresentando níveis abaixo de 40%. Nesse período é verificado aumento suave de precipitação porém, o número de dias sem precipitação continuam acima de 26 dias, como nos meses anteriores. Contudo a ambos os meses, a análise dos dias de maiores ocorrência de focos de incêndios coincidem com períodos de maiores sequências de dias sem chuvas. (Figura 2)

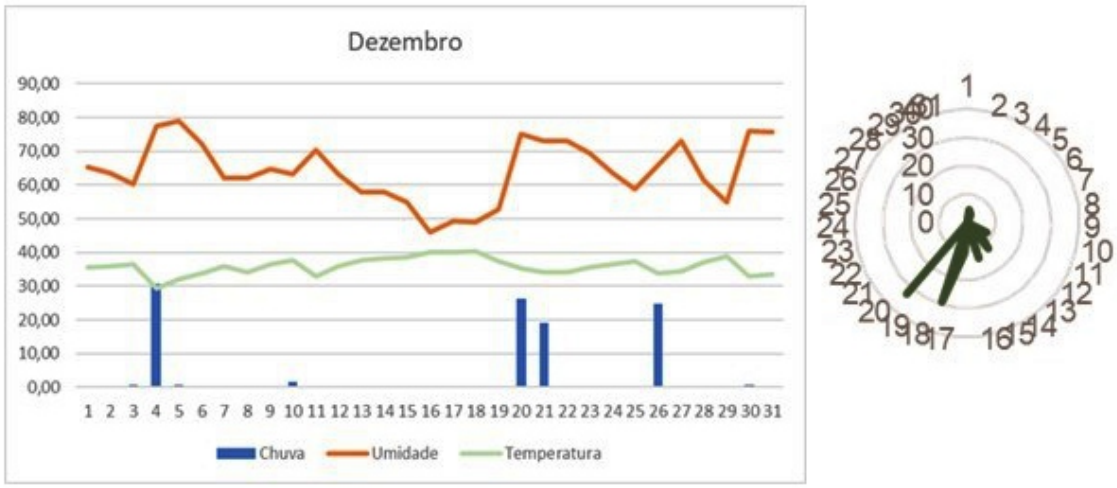
A falta de chuvas prolongadas nos períodos de inverno culminou em um aumento contínuo dos focos de incêndio, em período de primavera (Figura 3). Em outubro e novembro as condições climáticas mantém características semelhantes ao final do período do inverno revelando temperaturas acima de 30ºC e umidade relativa do ar,

predominantemente abaixo de 60% em quase todo o período citado, salvo algumas exceções, sendo ainda marcado por precipitações concentradas em apenas 3 disa. Destaca-se o mês de novembro como o de maior número de ocorrências de incêndios, uma vez que foram registrados 969 episódios, no período. Esses resultados corroboram estudos anteriores que afirmam que a seca prolongada e as altas temperaturas criam um ambiente propício para a propagação de incêndios (OMENA et al., 2016)

A dinâmica meteorológica começou a mudar em dezembro, quando as chuvas se tornaram mais frequentes, resultando em um total de 122 queimadas. Embora novembro tenha registrado 144,40 mm de precipitação, a umidade relativa de 31,70% e as altas temperaturas (37,70°C) contribuíram para a persistência das queimadas. Em contraste, dezembro trouxe chuvas contínuas (105,00 mm) e uma umidade média de 64,22%, levando a uma redução significativa nas queimadas. Esses dados reforçam a ideia de que um aumento na umidade e na precipitação pode ter um efeito mitigador sobre a ocorrência de incêndios, como indicado por estudos que associam condições climáticas úmidas a uma menor incidência de queimadas (VASCONCELOS et al., 2013).

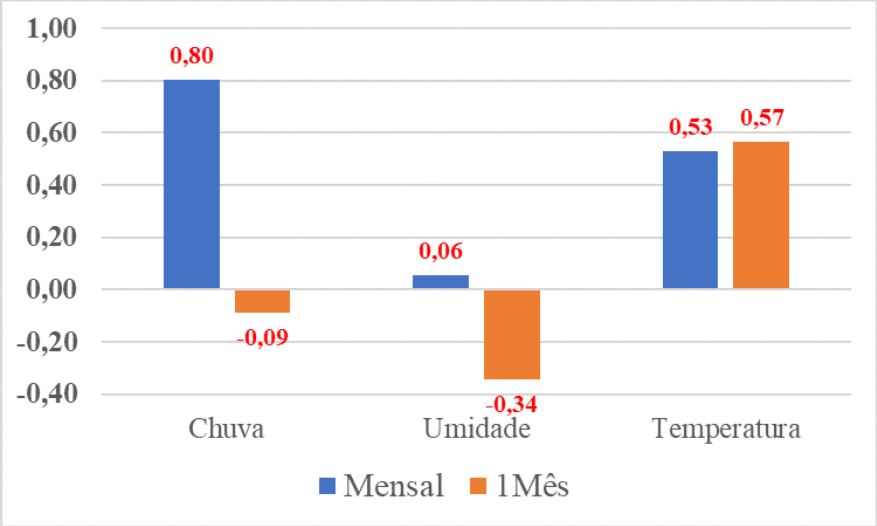
Figura 03: Variabilidade diária da Temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e focos de incêndio, em episódios de primavera de 2023.






A análise dos dados sugere que a interação entre temperatura, umidade e precipitação desempenha um papel crucial na dinâmica dos focos de incêndio em Corumbá (Figura 4). No caso da correlação entre o número de focos de incêndio e precipitação o resultado classifica com alta correlação, no entanto é necessário interpretar com cautela, sendo cabível julgar que aumento da precipitação ao apresentar correlação com o aumento de incêndio demonstra que as chuvas locais, intensificadas em apenas poucos dias de ocorrência não são capazes de mitigar os episódios de incêndios.

Figura 04: Correlação estatística entre a ocorrência de incêndios e as variáveis meteorológicas.




Isso se confirma ao observarmos que a correlação entre incêndios e precipitação foi também classificada como Alta, tanto na correlação direta (mês a mês), quanto na correlação indireta (com delay de um mês). Cabendo ainda ressaltar a Correlação Moderada entre os focos de incêndio e a umidade relativa do ar no mês anterior ao fenômeno. Sendo assim, fica evidente que a sequência de dias sem chuvas, de

umidade relativa do ar baixa, sobretudo inferior a 60%, e de temperaturas altas na região são capazes de influenciar diretamente da favorabilidade climática à ocorrência de incêndios florestais.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a necessidade de um monitoramento contínuo das condições climáticas para a implementação de estratégias de gestão mais eficazes e proativas. A relação observada entre as condições meteorológicas e a frequência dos incêndios destaca a importância de políticas de prevenção e manejo de queimadas, especialmente em períodos críticos de seca e altas temperaturas.

Esses achados não apenas contribuem para a compreensão da dinâmica dos incêndios florestais na região, mas também reforçam a necessidade de medidas integradas de gestão ambiental e de conservação do bioma Pantanal. Portanto, futuras pesquisas devem focar na avaliação de práticas de manejo e em estratégias de adaptação às mudanças climáticas que possam ajudar a mitigar os impactos negativos dos incêndios florestais.

## CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais deste estudo reforçam a importância de uma abordagem integrada e proativa no manejo de incêndios florestais no Pantanal de Corumbá. A análise dos dados coletados ao longo do inverno e da primavera de 2023 demonstrou que a combinação de altas temperaturas, sequência contínua de dias sem chuvas e baixa umidade é um fator crítico na ocorrência de queimadas, sendo que nessas condições, a ocorrência de chuvas em dias isolados não é capaz de mitigar o aumento do fenômeno de incêndios no Pantanal . Esses padrões ressaltam a vulnerabilidade da região a condições climáticas extremas, que se tornam mais frequentes devido às mudanças climáticas.

É fundamental que os órgãos responsáveis pelo monitoramento ambiental e a gestão de recursos naturais desenvolvam estratégias que considerem não apenas as variáveis meteorológicas, mas também as características ecológicas específicas do Pantanal. A implementação de sistemas de alerta precoce e o fortalecimento das ações de prevenção podem ajudar a reduzir a incidência de incêndios, protegendo a biodiversidade local e os modos de vida das comunidades que habitam a região.

Além disso, a conscientização da população sobre a importância da preservação do bioma e as consequências dos incêndios florestais deve ser uma prioridade. Iniciativas educativas que envolvam a comunidade podem resultar em um engajamento maior na proteção ambiental, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos naturais.

Por fim, futuras pesquisas são necessárias para aprofundar a compreensão dos impactos das mudanças climáticas sobre a dinâmica dos incêndios florestais e para avaliar a eficácia das estratégias de manejo implementadas. Somente por meio de um esforço conjunto entre ciência, gestão pública e participação comunitária será possível garantir a conservação do Pantanal e a mitigação dos riscos associados aos incêndios florestais.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal pelo Apoio a Pesquisa; À Fundect pelo auxílio financeiro em Bolsa de Iniciação Científica e no projeto Nº FUNDECT: 269/2022 ( SIAFIC: 32187).

# REFERÊNCIAS

FEARNSIDE, Philip M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. Estudos avançados, v. 16, p. 99-123, 2002.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Brito & SILVA JUNIOR, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje, Vol. 18, n. 1, 2009.

FLEISCHMANN, A. S.; Processo Hidrológicos e Hidráulicos em grandes áreas inundáveis: assimetria de hidrogramas e simulação matemática. 121f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 2017.

FONSECA-MORELLO, T. et al. Queimadas e incêndios florestais na Amazônia brasileira: por que as políticas públicas têm efeito limitado? Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 19-40, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA. Investigação de incêndios florestais. Brasília - DF: IBAMA. Prevfogo, 2010.

MAMEDE, S. B.; ALHO, C. J. R. Response of wild mammals to seasonal shrinking-andexpansion of habitats due to flooding regime of the Pantanal, Brazil. Braz. J. Biol, São Carlos, vol. 66 n°.4, nov. 2006.

NUNES, J.R.S. et al. FMA+ Um Novo Índice de Perigo de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná – Brasil. Floresta, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 75-91, 2006.

PADOVANI, C.R. Dados focos de calor 2000-2006. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. Disponível em: . Acesso em: 25 set. 2009.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação Hidrológica de Rios com Grandes Planícies de Inundação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. v. 15, n. 4, p. 31 - 43, out/dez 2010.

OMENA, M. T. R. de. et al. Zoneamento do risco de incêndio florestal para o Parque Nacional de São Joaquim–SC. Biodiversidade Brasileira, v. 6, n. 2, p. 173-186, 2016.

UHL, C.; BUSBACHER, R. Adisturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the Eastern Amazon. Biotropica, v. 14, p. 265-268, 1985.

VASCONCELOS, S. S. de et al. Variability of vegetation fires with rain and deforestation in Brazil's state of Amazonas. Remote Sensing of Environment, 136, p.199-209, 2013.

# ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DOS ÍNDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS PARA O MUNICÍPIO DE BOM JARDIM DA SERRA - SC

Mudanças Climáticas

Elaine Gonçalves Costa
Aluna do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola
elaine.g.costa@ufv.br

Letícia Prechesniuki Alves
Aluna do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola

Thaís Vasconcelos Silva
Aluna do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola

Flávio Barbosa Justino
Prof. da Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola
fjustino@ufv.br

## Resumo

Os eventos climáticos extremos estão se tornando cada vez mais comuns no mundo, impactando a sociedade de diversas maneiras. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar as tendências dos índices de extremos climáticos no município de Bom Jardim da Serra, em Santa Catarina, durante o período de 1980 a 2019. Foram utilizados dados de temperatura e precipitação da base Xavier. O estudo considerou 8 índices de precipitação e 8 de temperatura. Para a análise das tendências, foram aplicados o teste estatístico de *Mann-Kendall* e o estimador de tendência linear de Sen. Os resultados indicaram um aumento nas mínimas temperaturas e, quanto à precipitação, a maioria dos índices apresentou uma tendência de aumento significativo. Assim com aumento da temperatura mínima, aliado à maior precipitação, pode afetar negativamente a população urbana e as atividades econômicas.

**Palavras-chave:** *Mann-Kendall*; climatologia; Mudanças climáticas.

## INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos têm se tornado cada vez mais frequentes em todo o mundo, resultando em diversos desastres naturais, como secas prolongadas, enchentes e inundações. Esses fenômenos afetam os recursos hídricos e provocam impactos ambientais, sociais e econômicos. A temperatura e a precipitação são os principais fatores associados às mudanças climáticas e aos eventos extremos que influenciam nosso cotidiano (Siqueira, 2024).

O estado de Santa Catarina (SC) é o maior produtor de maçã no Brasil e o município de Bom Jardim da Serra ocupa a terceira posição entre os maiores produtores do estado (EPAGRI, 2022). O cultivo de macieiras no Brasil é condicionado pelo clima. Os principais fatores climáticos que afetam a produção incluem temperatura, pluviosidade, umidade relativa, vento e insolação, que podem ser influenciados por outros elementos, como latitude, altitude e topografia da região (Ricce et al., 2019). A temperatura é o fator climático mais crucial para o desenvolvimento da macieira, que requer valores entre 18 e 23ºC durante sua fase vegetativa e necessita de unidades de frio para seu desenvolvimento (Ricce et al., 2019).

Além disso, o município é um destino turístico, pois está situado na região serrana de Santa Catarina, onde se encontra a Serra do Rio do Rastro, um local que atrai muitos visitantes. Adicionalmente, essa área é uma das mais frias do Brasil. Em 2023/2024, Santa Catarina registrou uma redução nas colheitas, com o menor volume já registrado na série histórica acompanhada pelo Observatório Agro Catarinense, representando uma queda de 24% em comparação à safra anterior, devido ao excesso de chuvas (Serra Catarinense, 2024).

O estudo dos índices de extremos climáticos é essencial para a compreensão e a gestão dos impactos que esses eventos têm tanto na agricultura quanto no turismo. Com o aumento das mudanças climáticas, fenômenos como secas prolongadas, chuvas intensas, ondas de calor e frio extremo tornaram-se mais frequentes e intensos, afetando diretamente o crescimento das culturas, a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas.

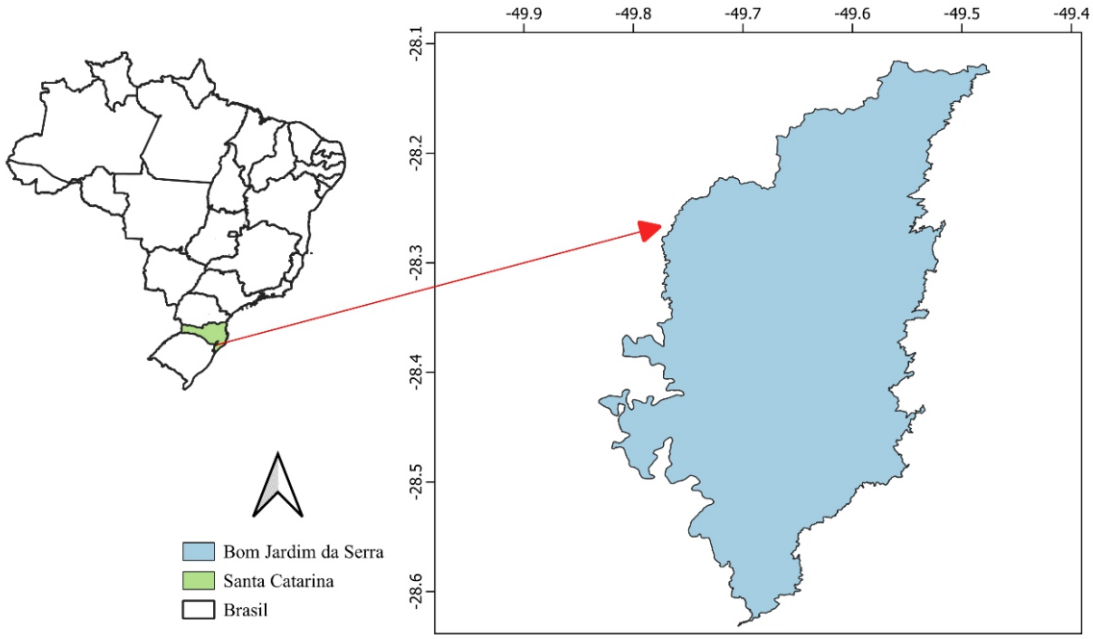
Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar as tendências dos índices de extremos climáticos para o município de Bom Jardim da Serra em SC no período de 1980 a 2019.

## METODOLOGIA

A área de estudo compreende o município de Bom Jardim da Serra – SC (Figura 1), localizado na região serrana no estado de Santa Catarina. O município tem uma população estimada em aproximadamente de 4.000 habitantes, com uma área de 938, 516 km². O bioma predominante é a Mata Atlântica (IBGE, 2024). As temperaturas variam em média entre 18 e 20 °C, enquanto a precipitação fica entre 1.800 e 2.000 mm (INMET, 2024).

Os dados utilizados nesse estudo foram extraídos do conjunto elaborado por Xavier et al., (2022) para o período de 1980 a 2019. As variáveis usadas foram temperaturas máximas e mínimas (°C) e precipitação (mm). Este conjunto de dados conta com uma resolução de 0,1º x 0,1º e está disponível para download no seguinte link: https://sites.google.com/site/alexandrecandidoxavierufes/brazilian-daily-weather-gridded-data.

Figura 1. Localização da área de estudo.




temperatura sugeridos pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI). Esses índices ajudam a descrever características específicas, como frequência, intensidade e duração (Zhang et al., 2011). Os 16 índices de extremos climáticos de temperatura e precipitação escolhidos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices extremos de temperatura e precipitação.

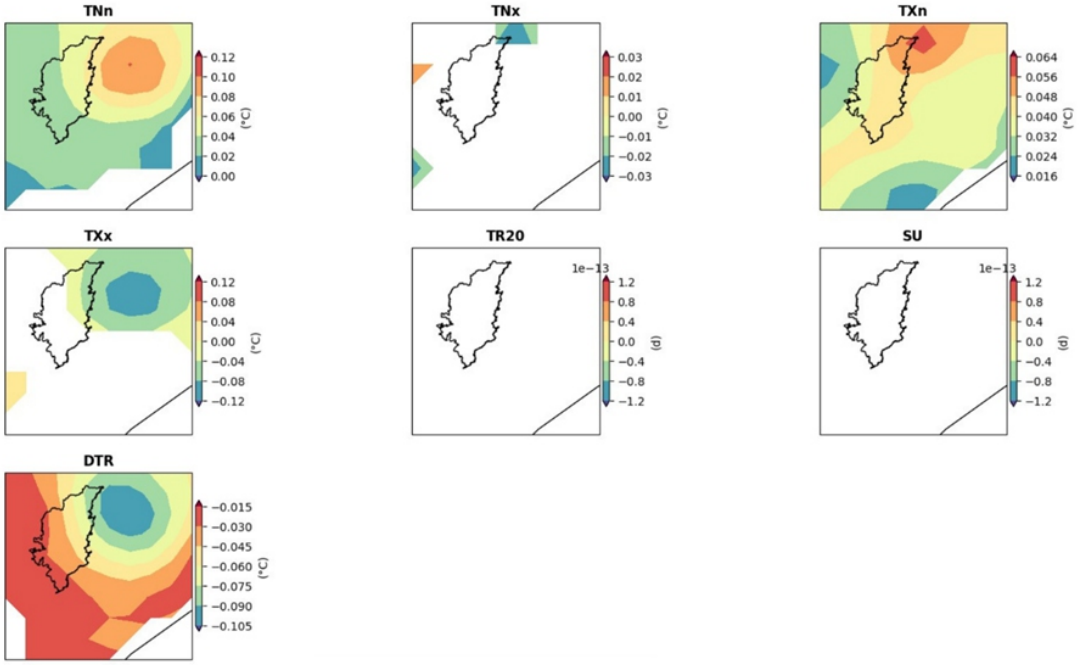
| | Índice | Definição | Unidade |
|---|---|---|---|
| **Precipitação** | Rx1day | Precipitação máxima em um dia | mm |
| | Rx5day | Precipitação máxima em 5 dias consecutivos | mm |
| | SDII | Índice de intensidade de precipitação simples | mm/dia |
| | PRCPTOT | Precipitação total anual em dias úmidos | mm |
| | R10mm | Número de dias com precipitação anual maior que 10 mm | dia |
| | R20mm | Número de dias com precipitação anual maior que 20 mm | dia |
| | CDD | Número máximo de dias consecutivos com precipitação menor que 1 mm (dias secos) | dia |
| | CWD | Número máximo de dias consecutivos com precipitação maior que 1 mm (dias úmidos) | dia |
| **Temperatura** | TXx | Valor máximo mensal da temperatura máxima diária | °C |
| | TNx | Valor máximo mensal da temperatura mínima diária | °C |
| | TXn | Valor mínimo mensal da temperatura máxima diária | °C |
| | TNn | Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária | °C |
| | SU | Número de dias de verão | dia |
| | DTR | Amplitude de temperatura diária | °C |
| | TR20 | Número de noites tropicais > 20°C | dia |

A análise de tendência das séries climatológicas foi feita com os testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) e o estimador de tendência linear Sen (Sen, 1968). A significância estatística na série temporal foi avaliada ao nível de 5% ($p<0,05$) e 10% ($p<0,10$).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a tendência dos índices de temperatura mínima e máxima para Bom Jardim da Serra. Nota-se que os índices TNn e TXn indicam uma tendência de elevação das temperaturas mínimas. Em relação ao TXx, observa-se uma tendência de queda na temperatura máxima diária na parte norte do município. Além disso, o índice DTR demonstra uma tendência de redução na amplitude da variação diária de temperatura. Esses resultados estão coerentes com as tendências de aquecimento observadas por vários pesquisadores que estudaram a América do Sul e o Brasil (Vincent et al., 2005; Obregón e Marengo, 2007; Marengo et al., 2010).

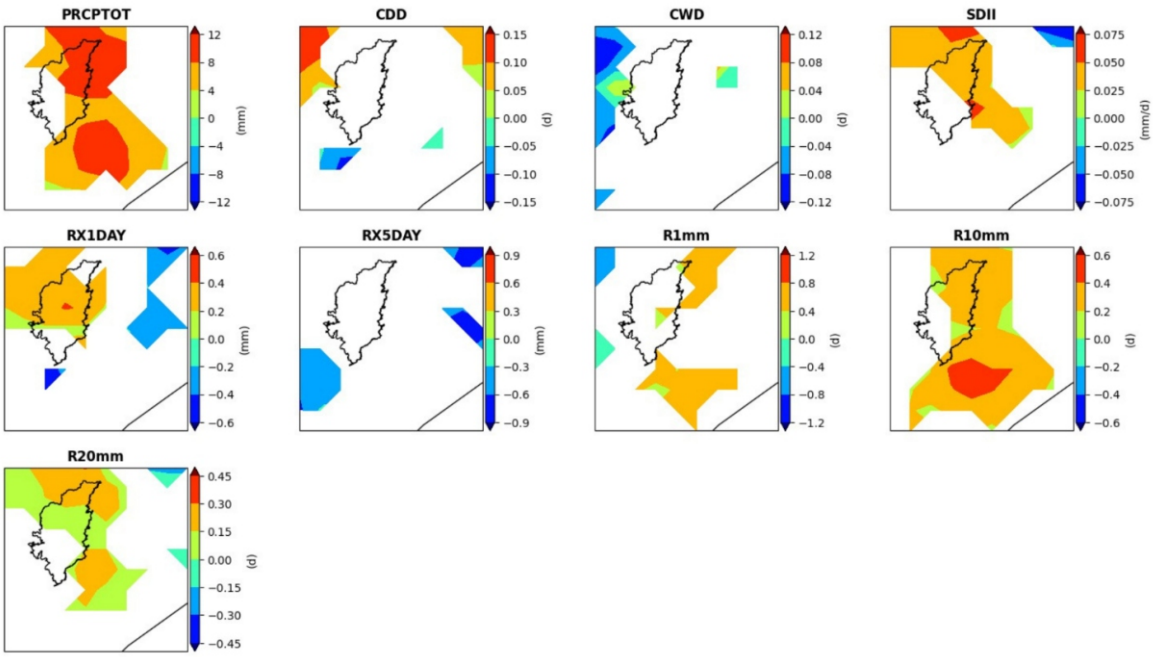
Figura 2.Tendências dos índices extremos de temperatura máxima e mínima para Bom Jardim da Serra para o período de 1980 a 2019.




A Figura 3 apresenta a tendência dos índices de precipitação, destacando-se que PRCPTOT, SDII, RX1DAY, R10mm e R20mm mostraram uma tendência de aumento, especialmente nas áreas norte, central e leste da região. Os demais índices não evidenciaram tendência significativa. Esses resultados corroboram com outros estudos próximos ao município que identificaram que a bacia hidrográfica do rio

Capivari está com tendência positiva de aumento para as séries de PRCPTOT, R10, R20 e R95p (Back et al., 2017). Em outro estudo foram evidenciadas tendências crescentes de precipitação nas estações de primavera e verão na região de são Joaquim, região vizinha de Bom Jardim da Serra (Sá et al., 2018).

Figura 3. Tendências dos índices de precipitação para Bom Jardim da Serra para o período de 1980 a 2019.




Essas mudanças podem estar mais associadas à dinâmica de uso e cobertura do solo do que a fatores climáticos globais, como teleconexões (Santos et al., 2022). Além o aumento de temperatura associado ao aquecimento global e ondas de calor possam promover o aumento da ocorrência de eventos extremos de precipitação de curto prazo, (Natividade et al., 2017).

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o município está apresentando uma elevação nas temperaturas mínimas (TNn e TXn) e redução da amplitude térmica diária (DTR). Quanto à precipitação, os índices PRCPTOT, SDII, RX1DAY, R10mm e R20mm mostram aumento na intensidade e frequência de precipitação. A elevação das temperaturas mínima e máxima, junto com o aumento da precipitação, pode impactar negativamente a população urbana e as atividades econômicas, impactando a gestão hídrica, a agricultura e a adaptação às mudanças climáticas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de nível Superior (CAPES), ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia Aplicada da UFV e ao grupo de pesquisa Interação Climática (InteraC) pelo incentivo na elaboração do trabalho.

## REFERÊNCIAS

BACK, A. J; CORSEUIL, C. W; GONÇALVES, F. N. Back, Á. J., Corseuil, C. W., & Gonçalves, F. N. Análise de tendências nas séries de precipitação da bacia do rio Capivarí, Santa Catarina. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

EPAGRI, 2022. <HTTPS://ESTADO.SC.GOV.BR/NOTICIAS/AREA-PLANTADA-COM-MACA-NA-SERRA-CATARINENSE-CRESCEU-16-NOS-ULTIMOS-TRES-ANOS-APONTA-PESQUISA-DA-EPAGRI/#:~:TEXT=MAIOR%20PRODUTORA%20DE%20MA%C3%A7%C3%A3%20DO,COM%20MA%C3%A7%C3%A3%20EM%20SANTA%20CATARINA>.

IBGE, 2024. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/bom-jardim-da-serra/panorama. Acesso em: 05 out 2024.

KENDALL, M.G. Rank correlations methods. 4th. ed. London: Ed. Charles Griffin, 1975.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. Econometrica, v. 13, n. 3, p. 245-259, jul. 1945. Disponível em: http://www.jstor.org. Acesso: 05 jun. 2024.

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An Intercomparison of Observed and Simulated Extreme Rainfall and Temperature Events during the Last Half of the Twentieth Century: part 2: Historical Trends. Climatic Change, v. 98, p. 509-529. doi: 10.1007/s10584-009-9743-7, 2010

OBREGÓN, G.; MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima no Século XX no Brasil: Tendências de Chuvas e Temperaturas Médias e Extremas. Relatório nº 2, Ministério do Meio Ambiente, 2007.

RICCE, W. S; DORTZBACH, D; TRABAQUINI, K; VIEIRA, F, V; LEITE, G. B; MASSIGNAM, A. M. DELIMITAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE PRODUÇÃO DA MAÇÃ FUJI DA REGIÃO DE SÃO JOAQUIM. ANAIS. VII Workshop Catarinense de Indicação Geográfica, 2019.

SÁ, E. A. S., MOURA, C. N. D., PADILHA, V. L., CAMPOS, C. G. C. Trends in daily precipitation in highlands region of Santa Catarina, southern Brazil. Revista Ambiente & Água, v. 13, n. 1, p. e2149, 2018.

SANTOS, E.M.; GAIO, D.C.; PAULO, S.R.; BIUDES, M.S.; MACHADO, N.G.; SANTOS, L.O.F. Detecção dos extremos climáticos e suas relações com os índices oceânicos para quatro estações meteorológicas do estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 03, p. 1180-1195, 2022.

SERRA CATARINENSE, 2024. http://serracatarinense.com/bom_jardim/municipio.html. Acesso em 06 out 2024.

SIQUEIRA, M; SILVA, M. T; DE BRITO, J. I. B; BRAGA, C. C; DE SOUZA, A. C. Índices climáticos extremos de precipitação pluvial e temperatura do ar na região do MATOPIBABrasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 1, p. 446-464, 2024.

TREWIN, B.; ZWIERS, F.W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. WIREs Climate Change, v. 2, n. 6, p. 783-934, nov. 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1002/wcc.147. Acesso em: 06 ago. 2023.

XAVIER, A. C., SCANLON, B. R., KING, C. W., ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). International Journal of Climatology, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/joc.7731. Acesso em: 19 abr. 2023.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G.C.; JONES, P.; TANK, A.K.; PETERSON, T.C.; TREWIN, B.; ZWIERS, F.W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. WIREs Climate Change, v. 2, n. 6, p. 783-934, nov. 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1002/wcc.147. Acesso em: 18 fev. 2023.

# AVALIAÇÃO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA E QUALIDADE DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA POR SAIS

Conservação de solos e recuperação de áreas degradadas

Ednaldo Barbosa Pereira Junior
Prof. Dr. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Da Paraíba - IFPB – Campus Sousa. Departamento de agroecologia
Ednaldo.pereira@ifpb.edu.br

José Henrique Santos Lacerda
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Da Paraíba - IFPB – Campus Sousa
jose.lacerda@academico.ifpb.edu.br

Gilcean Silva Alves
Prof. Dr. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Da Paraíba - IFPB – Campus Sousa. Departamento de agroecologia
gilcean.alves@ifpb.edu.br.

Francisco Iramirton Delfino
Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia, Instituto Federal da Paraíba
francisco.iramirton@academico.ifpb.edu.br

## Resumo

Objetiva nesse trabalho, avaliar o efeito espécies arbórea da caatinga, como forma de controlar, minimizar e recuperar de aérea degradada por sais. O experimento será instalado 'escola-fazenda' do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus-Sousa, que fica localizado no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, no período de abril a dezembro de 2020. O delineamento experimental utilizado será blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos resultarão em T1= Aroeira (*Myracrodruon Urundeuva*), T=2 catingueira (*Poincianella pyramidalis*, T3= Jucá (*Libidibia ferrea*), T4= Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*). A parcela experimental foi composta por 16 plantas, com espaçamento de 3 x 3 metros entre ambas, constituindo quatros plantas centrais como parcela útil para coleta dos dados. Como o experimento foi instalado no período chuvoso (janeiro a junho) no Sertão paraibano, as irrigações aconteceram quando houver estiagem, com intuito de fornecer volume de água suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas. Enquanto que no período de seca (julho a dezembro) foi instalado sistema de irrigação composto por motor bomba de 1 cv, mangueiras de 18 mm e gotejadores. Na parcela útil foram coletados o comprimento das plantas, com auxílio da régua, e o diâmetro do caule, com paquímetro digital, a 10 cm do solo, no mês de novembro de 2020. As espécies nativas utilizadas na pesquisa, inicialmente, apresentaram boa adaptabilidade, podendo serem indicadas na recuperação de áreas degradadas. As características químicas do solo, apresentaram elevado nível de degradação expressado, principalmente, pelas altas concentrações sódio, PST e baixos teores de matéria orgânica.

**Palavras-chave:** Aroeira, recuperação, fertilidade, solo, Sabiá.

# INTRODUÇÃO

A região semiárida do Nordeste brasileiro é caracterizada principalmente pelo bioma da Caatinga. Apresenta grande diversidade botânica e variabilidade fisionômica, de um local para outro, refletindo, dessa forma, a grande diversidade de solos e condições de precipitação na região. A exploração de lenha realizada de forma predatória no decorrer das últimas décadas, sem o devido manejo florestal, vem agravando ainda mais essa situação, levando a uma redução das reservas de madeira da região. Além das implicações econômicas devem também ser considerados os danos ambientais provocados por essas atividades, que por sua vez têm repercussões socioeconômicas.

A ação antrópica vem reduzindo a cobertura vegetal da Caatinga, tornando-a um verdadeiro mosaico natural, fragmentando o bioma e prejudicando assim a sua biodiversidade. Oliveira et al. (2009) afirmam que o uso não planejado dos recursos oferecidos pelo bioma Caatinga tem proporcionado a fragmentação da sua cobertura vegetal, restringindo sua distribuição a remanescentes, que podem ser considerados refúgios para a biodiversidade local. Sendo assim, os estudos fitossociológicos em áreas perturbadas ou em recuperação são fundamentais para o entendimento dos mecanismos de transformação da estrutura e da composição florística (SILVA et al., 2007).

Geralmente, o processo de degradação inicia-se de maneira localizada, podendo formar áreas desertificadas (MMA, 2004). Em regiões tropicais, uma das causas mais frequentes de degradação é a remoção da vegetação seguida de queimada, para o cultivo de culturas agrícolas. Após a exaustão do solo, a área é transformada em pastagem e abandonada posteriormente. O desmatamento de outra área começa mais um ciclo de degradação, que pode levar à desertificação pela ausência de práticas conservacionistas, falta de recursos para obtenção de insumos, ausência de planejamento, a médio e longo prazos, e pressão pelo uso do solo.

No tocante ao Perímetro irrigado de São Gonçalo, local da pesquisa, nas décadas de 70, 80 e 90 o monocultivo do arroz, foi intenso, cultivo esse que necessitava de grandes aéreas, provocando o desmatamento, grande demanda de água e o uso intensivo e redução da fertilidade do solo, ao ponto dos solos passarem a serem caracterizados como salinos e ou sódicos.

Existem inúmeros trabalhos na literatura que relatam a avaliação de espécies, ou de genótipos de uma mesma espécie, quanto a sua tolerância à salinidade em condições de campo e em condições controladas (Fernandes et al., 2011; Brito et al., 2015; Sousa et al., 2016). No entanto, percebe-se ausências na literatura trabalhos em condições de campo, que visa testar espécie arbórea da caatinga como uma possibilidade de recuperação de áreas degradadas pelo esgotamento do solo e problemas de salinidade nas condições edafoclimáticas no sertão Paraibano.

Nos últimos anos tem-se verificado também, que a pecuária bovina e recentemente ovinocaprinocultura vem crescente no Sertão paraibano, vem provocando ao longo dos anos a redução da biodiversidade e da capacidade de regeneração da Caatinga, com consequente degradação do solo principalmente no processo crescente da

compactação, como também, a falta de manejo florestal e o mau uso do solo através dos sistemas de monocultivo convencional com culturas anuais e fruticultura têm contribuído para esses processos de degradação provocando uma fragilidade nos atributos físicos e biota do solo.

Qualidade ou saúde do solo são expressões que resultam dessas preocupações e seus estudos implicam no processo de compreensão e de avaliação holística dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, para que se possa identificar se um sistema de manejo está ou não contribuindo para uma agricultura sustentável.

A recuperação de áreas degradadas da Caatinga e de outros biomas depende da escolha de espécies vegetais rústicas, tolerantes aos períodos secos e à baixa fertilidade do solo, sendo produtoras de grande quantidade de matéria orgânica e sementes viáveis (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Normalmente, há espécies pioneiras adaptadas às condições adversas de extrema seca e altas temperaturas, que devem ser utilizadas nos estádios iniciais de regeneração de áreas degradadas.

Diante destes fatores, torna-se necessário um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, através de técnicas com plantas da caatinga e atividades referentes à recuperação, considerando o papel fundamental que a cobertura vegetal ocupa no contexto de reabilitação ambiental e ecológica das áreas interferidas, destacando-se: atividades a serem desenvolvidas anteriormente e conjuntamente à supressão vegetal, criando condições para maximizar as práticas de revegetação; os planos de recuperação e sua execução, descrevendo as práticas de recuperação e estabilização da área; o monitoramento das áreas recuperadas, fechamento e de comissionamento de estruturas com a indicação de seu uso futuro.

Alternativamente, podem-se transplantar mudas de espécies lenhosas pioneiras para revegetação de áreas degradadas. Este procedimento, apesar dos custos de produção de mudas, preparo das covas, adubação e tratos culturais, pode acelerar o processo de recuperação da vegetação quando se propiciam as condições para o estabelecimento de outras espécies no estrato herbáceo e arbóreo-arbustivo.

Moreira (2004), a reinserção de uma área degradada ao sistema de produção é um processo demorado caso não ocorra a intervenção humana. Assim, o conceito de área degradada contrasta com o de área perturbada, quando, no primeiro caso, a resiliência está comprometida, e a intervenção humana é necessária para a recuperação da cobertura vegetal aos padrões originais, enquanto, no segundo caso, observa-se a manutenção da resiliência (GALVÃO).

Dessa forma, avaliar as condições em que se encontram a qualidade do solo visando sua recuperação, reabilitação e restauração são de fundamental importância para o melhor planejamento, pois permite um diagnóstico mais aprofundado, que pode direcionar futuros projetos nessa linha. Soma-se a isso a possibilidade de restabelecimento de áreas com características químicas, físicas e biológicas dentro dos parâmetros aceitáveis para o restabelecimento das culturas anuais, frutíferas e sistemas agroflorestais.

A salinidade causa alterações químicas e físicas no solo, as quais, em última instância, afetam o comportamento das espécies vegetais neles cultivadas (Hasegawa et al., 2000; Munns, 2002).

Portanto, o objetivo do trabalho foi de avaliar e entender o comportamento de mudas de plantas nativas e a qualidade do solo em área degradada por sais no sertão paraibano.

# METODOLOGIA

### Localização e caracterização do experimento

O experimento foi instalado 'escola-fazenda' Campus - Sousa do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, que fica localizado no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, pertencente ao município de Sousa-PB.

O clima é caracterizado com semiárido quente do tipo BSH da classificação de Koppen, ou seja, a evaporação é maior do que a precipitação. A pluviosidade média anual é de 654 mm ano, com chuvas concentradas no período de janeiro a junho. A temperatura média é de 28ºC, enquanto que a umidade média é de 64%.

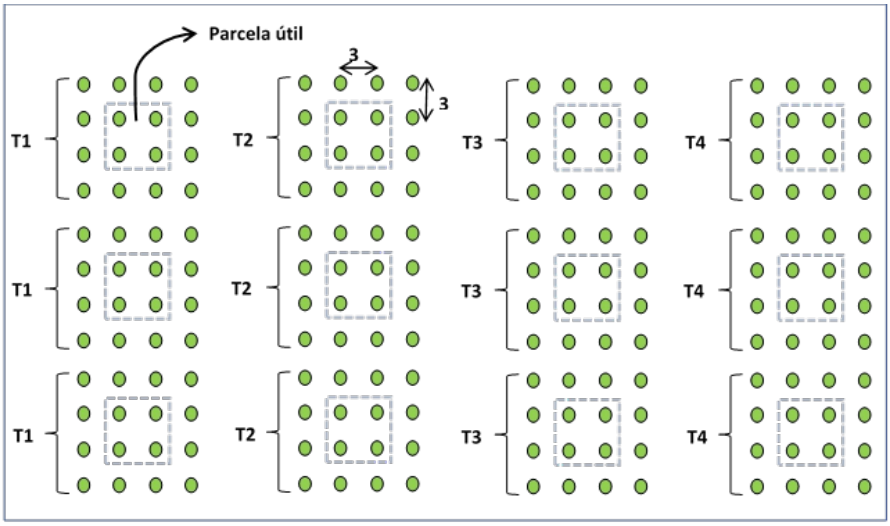
### Mudas das plantas nativas

As mudas das espécies nativas foram produzidas em agosto de 2019 no setor de produção de mudas do Campus Sousa, Instituto Federal da Paraíba, antes da semeadura, foi acondicionado em sacos de mudas, substrato composto por solos e esterco bovino na proporção 2:1.

### Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro tratamentos com três repetições e uma área de testemunha. Os tratamentos (T) resultarão em T1= Aroeira (*Myracrodruon Urundeuva*), T=2 Catingueira (*Poincianella pyramidalis*), T3= Jucá (*Libidibia ferrea*), T4= Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e T5= testemunha (sem plantas nativas). A parcela experimental foi composta por 16 plantas, com espaçamento de 3 x 3 metros entre plantas, constituindo quatros plantas centrais como parcela útil para coleta dos dados, conforme a figura 1.

Figura 1. Posicionamento das plantas no delineamento experimental.



**Preparo da área e plantio das mudas**

Antes do plantio das mudas, foi realizado o preparo do solo com a grade aradora em dois sentidos, posteriormente as covas com 30 cm quanto de largura como de profundidade. Por ocasião do plantio não foi realizado nenhuma adubação.

Como o experimento foi instalado no período chuvoso (janeiro a junho) no Sertão paraibano, as irrigações aconteceram quando houve estiagem, com intuito de fornecer volume de água suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas. Enquanto no período de seca (julho a dezembro) foi instalado sistema de irrigação composto por motor bomba de 1 cv, mangueiras de 18 mm e gotejadores ao lado de cada planta.

**Variáveis analisadas**

*Comprimento e diâmetro das mudas*

Na parcela útil foi coletado o comprimento das mudas, com auxílio da régua, e o diâmetro do caule, com paquímetro digital, a 10 cm do solo, no mês de novembro de 2020.

Para avaliação dos atributos do químico solo na profundidade de 0 – 20 e, foram coletadas três amostras simples para compor amostra composta, dentro de cada parcela na útil dos tratamentos.

As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira (malha de 2 mm) e analisadas no Laboratório de Solo, Água e Planta do Campus Sousa do IFPB, quanto aos atributos químicos pH, P, Matéria orgânica (MO), Carbono orgânico $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, K, Na+, saturação por sódio (PST%) e somas de bases (EMBRAPA, 1997).

*Análise estatística*

Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade, através do programa computacional - SISVAR (FERREIRA, 2014).

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, apresentam os valores de comprimento e diâmetro de quatros espécies arbórea. Os comprimentos variaram 0.79 a 1,18 metros, com destaque para a espécie jucá, seguido por sabiá. Para o diâmetro do caule a espécie sabiá expressou a maior média, enquanto que jucá por ter maior comprimento refletiu um menor valor para essa variável. Esses comportamentos adversos podem ser entendidos pelo pequeno período das espécies em campo e a qualidade do solo.

No tocante ao T2, a catingueira, apesar de pioneira, pode apresentar crescimento inicial lento, como forma de resistência à seca para aumentar as chances de sobrevivência (SAMPAIO et al. 1998).

Tabela 1. Valores médios do comprimento e diâmetro das espécies nativas em área degradada, IFPB, Campus Sousa, 2020.

| | VARIÁVEIS | |
|---|---|---|
| Tratamentos | Comprimento (m) | Diâmetro (mm) |
| T1 | 0,79 | 6,7 |
| T2 | 0,75 | 6,2 |
| T3 | 1,18 | 5,8 |
| T4 | 1,09 | 7,3 |
| T5 | 0,0 | 0 |

T1= Aroeira (Myracrodruon Urundeuva), T=2 Catingueira (Poincianella pyramidalis , T3= Jucá (Libidibia ferrea), T4= Sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia), T5= sem plantas nativas. Valores médios de quatros plantas de cada parcela experimental.

Em relação aos atributos químicos do solo, ocorreram diferenças significativas para o pH, P, K+ e Na+ entre os tratamentos (tabela 2). O pH demonstrou alcalinidade alta, influenciados pelas altas concentrações de Na+ disponível no solo, enquanto que P e K+ expressaram concentrações medianas. Percebe-se, de modo geral, que os tratamentos com espécie sabiá (T4) e sem plantas (T5) foram os que tiveram maiores teores, exceto para o K+ que se destacou no tratamento com plantio de espécie de aroeira (T1).

No tocante ao sódio, que em excesso pode causar dispersão das partículas de argila e toxidez para a maioria das plantas, devemos destacar que os tratamentos com a espécie de aroeira (T1) e pau-ferro (T3), seriam o menos prejudicial, podendo refletir de forma positiva para essas espécies (tabela 3).

Tabela 2- Valores médios de pH, fósforo (P), potássio (K+) e sódio (Na+) do solo, em áreas degradadas, com diferentes espécies da caatinga, na profundidade de 0 – 20 cm, no município de Sousa - PB, 2020.

| | pH | P | $K^+$ | $Na^+$ |
|---|---|---|---|---|
| Tratamentos | $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | ----------$cmol_c$ $dm^{-3}$---------- | |
| T1 | 8,2 c | 16 bc | 0,17 a | 1,77 bc |
| T2 | 9,2 bc | 15 bc | 0,15 bc | 2,48 b |
| T3 | 9,0 bc | 11 c | 0,15 bc | 1,69 c |
| T4 | 10,0 b | 19 ab | 0,15 bc | 4,1 a |
| T5 | 10,0 b | 22 a | 0,13 c | 6,9 a |
| **CV(%)** | 4,9 | 14,3 | 6,0 | 8,2 |
| **F** | * | * | * | * |

T1=Aroeira; T2= Catingueira; T3= Pau-ferro; T4= sabiá; T5= Sem plantas. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey. * = (p<.05) de probabilidade, ns= não significativo

Os valores de $Ca^{+2}$ e $Mg^{+2}$ apresentaram diferenças significativas (p<0,05), com teores baixos e medianos para os tratamentos, respectivamente (tabela 3), podemos ressaltar que a redução do $Ca^{+2}$ e $Mg^{+2}$ podem causar retardamento no desenvolvimento, fase de

florescimento e no crescimento dos frutos, sendo necessário um manejo adequado de reposição desse nutriente ao solo. Efeito significativo foi observado para soma de bases (SB), o tratamento sem plantas (T5) diferiu dos demais, sendo seu valor considerado alto, influenciado pelo teor de sódio no solo.

Segundo Medeiros et. al. 2013, alta saturação por bases é possível concluir que a lixiviação não está removendo as bases mais rápido do que a reposição por intemperismo e reciclo ligado ao bioclimático e a rocha de origem do solo.

Tabela 3- Valores médios de cálcio (Ca+2), magnésio (Mg+2) e soma de bases (SB) do solo, em áreas degradadas, cultivado com diferentes espécies da caatinga, na profundidade de 0 – 20 cm, no município de Sousa - PB, 2020.

| Tratamentos | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | SB |
|---|---|---|---|
| | ---------- | $cmol_c\ dm^{-3}$ | ---------- |
| T1 | 1,43 a | 0,73 a | 3,94 c |
| T2 | 1,26 a | 0,70 ab | 4,61 c |
| T3 | 1,5 a | 0,73 a | 4,08 c |
| T4 | 0,76 b | 0,73 a | 5,73 b |
| T5 | 0,80 b | 0,46 b | 8,32 a |
| **CV (%)** | 9,8 | 12,5 | 6,6 |
| **F** | * | * | * |

T1=Aroeira; T2= Catingueira; T3= Pau-ferro; T4= sabiá; T5= Sem plantas. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey. * = (p<.05) de probabilidade, ns= não significativo

Em relação a saturação por sódio (PST), diferiu estatisticamente entre os tratamentos (tabela 4). Apesar dessa diferença, os valores médios de todos os tratamentos estão muito acima do limite da faixa ideal (< 7), (Richards, 1954) considerado como solos sem problemas para cultivo.

Sendo assim, os valores médios dessa variável são classificados como muito prejudicial, principalmente para os tratamentos T4 (71,0%) e T5 (82,6%). Já era notório esses valores, devido à presença de sódio nas amostras (tabela 2).

Esses valores expressam sodicidade, onde se torna muito preocupante, uma vez que o excesso de sódio trocável nos solos altera os parâmetros físico-hídricos e dispersão de argila para as camadas mais profundas.

Embora a salinidade elevada provoque estresse hídrico nas plantas, diminuindo a disponibilidade de água pelo efeito osmótico (Munns, 2002), as espécies aroeira (T1), catingueira (T2), pau-ferro (T3) e sabiá (T4) implantadas nessa área, demonstraram, nesse primeiro ano no campo, tolerante as condições do solo.

Ainda na tabela 4, o Carbono orgânico (C. Org.), houve diferença significativa entre as parcelas com plantas (T1, T2, T3 e T4) comparadas com tratamento sem plantas (T5). Esse menor aporte de Carbono orgânico no solo, deveu-se, provavelmente a pequena diversidade e crescimento das herbáceas, por se tratar de um solo degradado. Os teores de matéria orgânica foram considerados baixos, apesar de expressar significância entre si, esse comportamento pode ser característico de ambientes em processo de degradação (tabela 4).

TABELA 4- Valores médios de Saturação por sódio (PST), Carbono orgânico (C.Org.) e matéria orgânica (M.O) do solo em áreas degradadas, cultivado com diferentes espécies da caatinga, na profundidade de 0–20 cm, no município de Sousa - PB, 2020.

| Tratamentos | PST | C.org | M.O |
|---|---|---|---|
| | % | ---------- g.kg ---------- | |
| T1 | 44,6 c | 3,84 a | 6,61 a |
| T2 | 53,3 b | 2,56 b | 4,42 bc |
| T3 | 41,1 c | 3,28 a | 5, 65bc |
| T4 | 71,0 a | 3,32 a | 5,72 bc |
| T5 | 82,6 a | 1,64 c | 2,82 c |
| CV(%) | 2,7 | 28,4 | 27,2 |
| F | * | ns | * |

T1=Aroeira; T2= catingueira; T3= Pau-ferro; T4= sabiá; T5= Sem plantas. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey. * = (p<.05) de probabilidade, ns= não significativo

Avaliando a reintrodução de plantas nativas da caatinga (PEREIRA, 2011) verificou que os teores de matéria orgânica foram muito baixos (média de 4,5 a 10,4 g $kg^{1}$), sendo maiores na camada de 0-20 cm, o que reflete o grau de degradação em que se encontra a área experimental como resultado do desmatamento e superpastejo caprino e ovino há mais de 30 anos.

## CONCLUSÕES

As plantas nativas utilizadas na pesquisa, inicialmente, apresentaram adaptabilidade, podendo ser indicadas na recuperação de áreas degradadas que tenha o clima semiárido como predominante, estacando-se no comprimento o Jucá com 1,18 metros e 7,3mm no diâmetro do caule da espécie Sabiá.

As características químicas do solo apresentaram elevado nível de degradação expressado, principalmente, pelas altas concentrações sódio, PST e baixos teores de matéria orgânica.

# REFERÊNCIAS

BRITO, M. E. B.; SILVA, E. C. B. DA; FERNANDES, P. D.; SOARES FILHO, W. DOS S.; COELHO FILHO, M. A.; SA, F. V. S.; MELO, A. S. DE; BARBOSA, R. C. A. Salt balance in the substrate and growth of 'Tahiti' acid lime grafted onto 'Sunki' mandarin hybrids under salt stress. Australian Journal of Crop Science, v.9, p.954-961, 2015.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, 1997.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; SOARES FILHO, W. DOS S.; MELO, A. S. DE, CARNEIRO, P. T. Growth of citrus hybrids and rootstock varieties under salt stress. Acta Scientiarum Agronomy, v.33, p.259-267, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for Its Bootstrap Procedures in Multiple Comparisons. Ciência e Agrotecnologia, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

GALVÃO, A. P. M. PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso. Colombo: Embrapa Florestas, 2005.

HASEGAWA PM, BRESSAN RA, ZHU JK & BOHNERT HJ. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51:463-499. 2000.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil. 2004.

MOREIRA, P. R. Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG. Rio Claro: UNESP, 139p. 2004.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25:239-250. 2002.

OLIVEIRA, P. T. B; TROVÃO, D.M.B.M; CARVALHO, E.C.D; SOUZA, B.C; FERREIRA, L.M.R. Florística e fitossociológica de quatro remanescentes vegetacionais em áreas de serras no Cariri Paraibano. Revista Caatinga, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 169-178, 2009.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. Biologia da Conservação. Londrina: Planta, 328p. 2001.

PEREIRA, O. DA N. Reintrodução de espécies nativas em área de caatinga e sua relação com atributos do solo. (Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais), Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande – Campus de Patos – Paraíba Brasil, 2011. 85p.

SAMPAIO, I. B. M. Estatística aplicada à experimentação animal. Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zrialootecnia/UFMG. 1998, 221p.

SILVA, W. C.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FELICIANO, A. L. P.; COSTA JUNIOR, R. F. Estudo da Regeneração Natural de Espécies Arbóreas em Fragmento Floresta Ombrófila Densa, Mata das Galinhas, no Município de Catende, Zona da Mata Sul de Pernambuco. Revista Ciência Florestal, v. 17, n. 4, p. 321-331, 2007.

SOUSA, J. R. M. DE; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; LACERDA, C. F. DE; SILVA, F. V. DA; SOARES, F. A. L. Quantum efficiency of photosystem II and production of orange under salt stress and nitrogen fertilization. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, v.20, p.434-440, 2016.

# CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DE VAGENS E SEMENTES DE *Moringa oleífera* Lam. (MORINGA)

Biodiversidade e Conservação

Wanderson Dias Sarmento
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Pombal - Mestrando em Sistemas Agroindustriais
wandersonsarmento02@gmail.com

Gilcean Silva Alves
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa - Departamento de Agroecologia
gilcean.alves@ifpb.edu.br.

Eliane Queiroga de Oliveira
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa
Departamento de Agroecologia
eliane.oliveira@ifpb.edu.br

Jéssica Pedrosa de Lima
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa
graduanda em Tecnologia em Agroecologia
jesicapedrosadelima77@gmail.com

Flávia de Sousa Almeida
Flávia de Sousa Almeida - Universidade Federal de Campina Grande - Campus Pombal
Mestrando em Sistemas Agroindustriais
flaviaalmeida632@gmail.com.

Weliton Carlos de Andrade
Dr. Ciências Agrárias, Bolsista de Desenvolvimento Científico Regional – CNPq/Fapesq/IFPB
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa
welitonca@gmail.com

## Resumo

A *Moringa oleífera* Lam. é uma arbórea nativa da Índia, que se destaca principalmente pelo seu valor nutricional, propriedades medicinais e eficácia na purificação da água. Trata-se de uma planta rústica, de rápido crescimento e que requer pouca tecnologia para seu cultivo, sendo uma excelente alternativa para os produtores, especialmente da região Nordeste. Considerando as utilidades desta planta, a utilização de sementes de boa qualidade torna-se imprescindível para o estabelecimento adequado de produção, com isso, a biometria tem sido uma ferramenta essencial na classificação de sementes, permitindo a seleção das mais vigorosas. Diante disso, objetivou-se com este estudo realizar a caracterização biométrica de vagens e sementes de moringa no município de Sousa no estado da Paraíba, foram colhidas 20 vagens Moringa em 10 matrizes distintas, em bairros diferentes da cidade, que foram encaminhados ao Laboratório de Botânica IFPB – Campus Sousa, onde procedeu-se a biometria das vagens e sementes, com auxílio de fita métrica, paquímetro e balança digital, no qual foi possível determinar a largura e comprimento e peso dos mesmos. Observou-se que as vagens de Moringa apresentaram comprimento máximo de 37,03 cm, assim como também 22,09 mm de diâmetro em sua região mediana, enquanto o peso médio de 8,05 e uma variação 24,59% no número de sementes por vagens, sendo registrado uma quantidade mínima de 6,0 e uma máxima de 18,00 por fruto.

**Palavras-chave:** *Moringa oleífera* Lam; Morfologia; Parâmetros físicos; Frutos.

# INTRODUÇÃO

A Moringa (*Moringa oleífera* Lam.) é uma arbórea nativa da Índia, que se destaca principalmente pelo seu valor nutricional, propriedades medicinais e eficácia na purificação da água (Sousa et al., 2015). No Brasil, o cultivo desta espécie tem se intensificado nos últimos anos. Trata-se de uma planta rústica, de rápido crescimento e que requer pouca tecnologia para seu cultivo, o que a torna uma excelente alternativa para pequenos e médios produtores. Além disso, apresenta alto valor agregado e capacidade de adaptação a diversas regiões do país, especialmente no Nordeste (Silva; Souto; Santos, 2019).

A propagação da moringa pode ser realizada por meio de sementes, mudas ou estacas (Silva e Souto, 2017). Seu cultivo é viável em zonas áridas, semiáridas e quentes, com temperaturas ideais variando entre 25 e 35 ºC, sendo capaz de tolerar momentâneas até 48 ºC. Possui tolerância à seca e desenvolve-se em regiões com precipitações anuais entre 250 e 3.000 mm, em altitudes inferiores a 600 m (Pereira et al., 2016).

As folhas e frutos são utilizados na alimentação humana, seja em saladas, chás ou como tempero (Oliveira; Nascimento; Maria, 2018). O fruto caracteriza-se por ser uma cápsula com três ápices, variando de 10 a 60 cm de comprimento, frequentemente chamada de "vagem". Quando jovem, apresenta coloração verde, tornando-se marrom na maturidade. Na fase madura, a cápsula se abre ao longo de cada ângulo, revelando as sementes. Cada cápsula pode conter de 15 a 20 sementes arredondadas e oleosas, com diâmetro entre 1,0 e 1,5 cm, geralmente (Oliveira et al., 2022). Das sementes contidas nas vagens, extrai-se um óleo de excelente qualidade, com composição de ácidos graxos semelhante à do óleo de oliva, amplamente utilizado nas indústrias de cosméticos, alimentos, medicamentos e na produção de biodiesel, assim também, como podem ser usadas na purificação de água e produção de condimentos (Lisita; Juliano; Moreira, 2018).

Considerando as utilidades desta planta, a utilização de sementes de boa qualidade torna-se imprescindível para o estabelecimento adequado de uma lavoura (Araújo et al., 2011). Nesse sentido, a biometria tem sido uma ferramenta essencial na classificação de sementes, permitindo a seleção das mais vigorosas.

Sementes com maiores dimensões biométricas geralmente possuem maiores reservas nutricionais, o que aumenta significativamente suas chances de sucesso no campo. Em outras palavras, a caracterização de parâmetros biométricos, em uma análise preliminar, busca aplicar os dados coletados, fornecendo informações valiosas para a seleção de sementes (Paixão et. al., 2023).

Conforme Rodrigues et al. (2019), as sementes apresentam características físicas diversas, que variam não apenas entre diferentes culturas, mas também dentro da mesma espécie. Informações como forma, tamanho, volume e massa específica, por exemplo, são ferramentas indispensáveis em estudos envolvendo beneficiamento ou comercialização de sementes.

De acordo com Dutra et al. (2017), a biometria e a análise dos atributos físicos dos frutos podem determinar técnicas de cultivo e manejo, assim como de manuseio pós-colheita, com o objetivo de assegurar a aceitação do produto pelo consumidor através

da comercialização. Diante disso, objetivou-se com este estudo realizar a caracterização biométrica de vagens e sementes de moringa na cidade de Sousa, no alto Sertão da Paraíba.

## METODOLOGIA

A área de amostragem da pesquisa compreende o município de Sousa, localizado na região Nordeste do Brasil, situado no extremo Oeste do Estado da Paraíba, o qual pertence à Mesorregião do Sertão Paraibano e à Microrregião de Sousa, posicionando-se a Oeste da Capital do Estado - João Pessoa (Figura 1). A cidade ocupa uma área de 842.49 km2, apresentando uma altitude média de 225 m e coordenadas geográficas de 06° 45' 39'' latitude Sul e de 38° 13' 51'' longitude Oeste, com uma população estimada de 65.803 habitantes (IBGE, 2016).

Figura 1 - Localização do Município de Sousa, interior do Estado da Paraíba

Fonte: Nogueira, 2017

O clima sousense é classificado como tropical semiárido (do tipo Bsh na classificação climática de Köppen-Geiger, 1928), com temperatura média anual em torno de 28,5 ºC e precipitação média anual de até 872 mm (AESA, 2016).

De acordo com Menino (2023), a vegetação de Sousa é caracterizada pela presença de caatinga hiperxerófila, que é encontrada em pequenas áreas, composta por arbustos com caules sinuosos, às vezes quase retos, geralmente cobertos por espinhos, com algumas árvores se destacando. Durante a estação seca, as folhas das plantas de tamanho pequeno e não tão resistentes caem quase por completo, demonstrando assim sua adaptação ao clima seco em nível avançado.

Para a realização do estudo, as vagens e sementes de Moringa oleífera Lam foram colhidos manualmente no período de junho e julhos de 2024, onde foram coletadas 20 vagens de 10 matrizes distintas, localizadas em bairros diferentes da cidade. Para seleção das vagens foi utilizado o índice de maturação para determinar o

momento certo da coleta, por observação da mudança de coloração das vagens, sendo a tonalidade marrom, considerada ideal, o que indica que ela atingiu sua fase de maturação.

O material coletado foi armazenado em sacos plásticos, identificados e logo encaminhados ao Laboratório de Biologia/Botânica do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – Campus Sousa, onde procedeu-se a biometria das vagens e sementes, utilizando-se de uma fita métrica e paquímetro digital, no qual foi possível determinar a largura e comprimento dos frutos. Obteve-se o peso médio das vagens em balança analítica.

Para a caracterização biométrica dos frutos, foram avaliados de cada planta matriz, as seguintes características: a) Comprimento das vagens (CV): mensurado do ápice à base, considerando o estipe (mensurado com uma régua milimétrica); b) Diâmetro das vagens (DV): mensurado na região mediana (mensurado com um paquímetro digital (0,01 mm)); c) peso das vagens (PV): determinado em balança digital de precisão (0,0001 g).

Posteriormente, as vagens foram abertas manualmente para extrair as sementes, e foram analisadas de acordo com os seguintes dados: a) O número de sementes por vagens (NSV): foi contabilizado manualmente; b) Comprimento da semente (CS): medido com um paquímetro digital de 0,01 mm do ápice à base; c) Diâmetro da semente (DS): mensurado na área média (com um paquímetro digital de escala 0,01 mm).

Os dados biométricos coletados permitiram calcular as médias aritméticas, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de variação dos valores obtidos, com o auxílio do programa computacional Excel XP®.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da biometria realizada observou-se que as vagens de Moringa oleifera Lam, apresentaram dimensões que variam de 16,07 a 37,03 cm de comprimento, assim como também de 10,28 a 22,09 mm de diâmetro em sua região mediana, enquanto o peso médio de 8,05 e uma variação 24,59% no número de sementes por vagens, sendo registrado uma quantidade mínima de 0,6 e uma máxima de 18 por fruto (Tabela 1), e um peso médio de 251,34g de mil sementes.

Para as análises das sementes foi averiguado o comprimento e diâmetro que tiveram uma média de 11,20 e 10,14mm, um valor de coeficiente de variação corresponde a 9,09% e 7,71%. No intervalo de variação foi observado resultados mínimo e máximo de 8,54 – 13,50mm, já no diâmetro, os dados catalogados foram entre 7,00 e 11,82mm.

Almeida et al. (2022), em uma pesquisa realizada no estado da Bahia, encontrou resultados próximos a esses, onde a maioria dos frutos, cerca de 51% apresentaram comprimento de 25,1 a 30 cm e sendo registrado valor mínimo e máximo de 10 e 40 cm, respectivamente. Ramos et al. (2010) registraram comprimento de 28,50 cm, um

peso de 9,91g e uma quantidade de 12 sementes por frutos de *M. oleifera*, no Estado de São Paulo. Já Kshirsagar et al. (2016), encontraram frutos com médias de 47,6 cm de comprimento, com 52 mm de diâmetro e 15 sementes por vagens desta espécie, na Índia.

Tabela 1: Avaliação biométrica das vagens e sementes de Moringa

| Variáveis | Média | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação (%) | Intervalo de variação |
|---|---|---|---|---|
| **CV** | 26,30 | 5,19 | 19,74 | 16,07 - 37,03 |
| **DV** | 18,87 | 1,99 | 10,55 | 10,38 - 22,09 |
| **PV** | 8,05 | 2,36 | 29,25 | 2,23 - 13,38 |
| **NSV** | 11,85 | 2,91 | 24,59 | 6,00 - 18,00 |
| **CS** | 11,20 | 1,02 | 9,09 | 8,54 – 13,50 |
| **DS** | 10,14 | 0,78 | 7,71 | 7,00 – 11,82 |

*Comprimento das vagens (CV), Diâmetro das vagens (DV), Peso das vagens (PV), Número de sementes por vagens (NSV), Comprimento de semente (CS), Diâmetro de semente (DS).

Aguiar (2017) encontrou resultados semelhantes a este com relação ao diâmetro, onde as maiores frequências, para espessura, variaram entre 1,5 e 1,6 cm. Já Melo (2017), observou que os frutos coletados na estação seca (8,521-10,390 g; 35,25-38,06 cm; 18,02-19,70 mm e 16,9-19,3 sementes) apresentaram menores amplitudes quando comparadas à estação chuvosa (13,448 g, 36,6 cm e 17,69 sementes), mostrado uma diferença significativa entre peso, comprimento e número de sementes por frutos, exceto o diâmetro quando comparadas as duas estações, com superioridade para os frutos produzidos no período das chuvas.

Ao comparar os dados mencionados anteriormente, verifica-se que a quantidade média de sementes por fruto e o comprimento médio estão dentro da faixa descrita por Oliveira et al. (2022), que afirma que o fruto possui aproximadamente entre 15 e 20 sementes, com um comprimento variando entre 10 e 60 cm, mostrando que para esta espécie, quanto mais longa as vagens, maior foi o número de sementes.

Para Santos (2009), essas informações acerca dos dados estudados mostram que embora sejam características determinadas, tais parâmetros biométricos são influenciados pelo ambiente, constatando que a moringa tem essa condição de ajustar o número de sementes de acordo com sua capacidade de suprir os assimilados para as mesmas, com isso permitindo à planta completar seu ciclo reprodutivo mesmo em condições adversas de tempo e ambiente.

## CONCLUSÕES

A caracterização biométrica das vagens e sementes de *Moringa oleífera* no município de Sousa, Paraíba, evidenciou uma variabilidade considerável entre as plantas matrizes analisadas. As vagens demonstraram uma variação significativa em comprimento, diâmetro e peso, características que estão diretamente relacionadas ao número de sementes por fruto. A análise biométrica das sementes também apresentou variações no comprimento e diâmetro, reforçando a importância do uso de parâmetros físicos como ferramenta na seleção de sementes mais vigorosas.

Os dados obtidos corroboram com estudos anteriores, indicando que as condições ambientais e climáticas desempenham um papel determinante no desenvolvimento das vagens e sementes, influenciando diretamente sua morfometria. Assim, o uso de parâmetros biométricos na seleção de sementes de *Moringa oleífera* não apenas contribui para o sucesso do cultivo, mas também pode melhorar a eficiência da produção de mudas e da exploração comercial dessa espécie, especialmente em regiões como o semiárido nordestino, onde a planta pode atuar como uma alternativa viável para pequenos e médios produtores. Além disso, variabilidade observada entre os frutos reforça a relevância de estudos biométricos mais amplos, de modo a permitir o desenvolvimento de programas de melhoramento genético e a otimização das técnicas de manejo, resultando em maior produtividade e qualidade do produto final.

## REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Precipitações Pluviométricas de 2016. Posto Pluviométrico Sousa - São Gonçalo. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/. Acesso em 12 julho de 2024.

ALMEIDA, M. F..; COELHO, B. S.; ALMEIDA, M. F.; BONFIM, A. A. do; RODRIGUES, G. B. Análise biométrica de frutos e semente de moringa oleifera lam. Open Science Research III - ISBN 978-65-5360-102-4 - Editora Científica Digital, V. 3, c. 1, p. 33-38, 2022. Disponível em: https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/analise-biometrica-de-frutos-e-semente-de-moringa-oleifera-lam. Acesso em 20 de julho de 2014.

ARAUJO, R. F.; ZONTA, J. B.; ARAUJO, E. F.; HERBELE, E.; ZONTA, F. M. G. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. Revista Brasileira de Sementes, v. 33, n. 1, p. 123-130, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbs/a/gXBBHLBLZNmZMwZ4LhyKdzC/. Acesso em 20 de julho de 2014.

DUTRA, F. V.; CARDOSO, A. D.; MORAIS, O. M.; VIANA, A. E. S.; MELO, T. L.; CARODOSO JÚNIOR, N. S. Características físicas e químicas de acessos de umbuzeiros (Spondias tuberosa Arr. Cam). Revista de Ciências Agrárias, v. 40, n. 4, p. 814-822, 2017. Disponiel em: https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16526. Acesso em: 13 setembro de 2024

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/ Acesso em 10 julho de 2024.

KSHISAGAR, R. B. et al. Studies on morphological and nutritional characteristics of different parts (Leaf, flower and pods) of Moringa oleifera (Variety: koimtoor -1). International Journal of Processing and Post Harvest Technology, v. 7, n. 2, p. 237-242. 2016.

LISITA, F. O.; JULIANO, R. S.; MOREIRA, J. S. Cultivo e processamento da moringa na alimentação de bovinos e aves. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2018. 6 p. (Circular Técnica, 119).

MACEDO, M. C de. et al. Biometria de frutos e sementes e germinação de Magonia pubescens ST. Hil (Sapindaceae). Revista Brasileira de Sementes, v. 31, n. 2, p. 202-211. 2009. DOI: S0101-31222009000200024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbs/a/Qgzg4shVKZSqjDkWsxvmrMD/?lang=pt. Acesso em 20 de julho de 2014.

MELO, A. DE S.; Biometria de frutos e germinação de sementes de moringa oleifera lam. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciada em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Campina Grande. Cajazeiras – PB 2017. Disponivel em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/16830/3/IVONETE%20BERTO%20MENINO%20-%20TESE%20PPGRN%202013. Acesso em: 13 setembro de 2024.

MENINO, I. B.; Indicadores Físicos, Químicos e Biológicos de Vertissolos no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e suas Implicações Econômicas, Sociais e Ambientais na Região. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/16830. Acesso em 20 de julho de 2014.

OLIVEIRA, A. N. S.; NASCIMENTO, F. A.; MARIA, A. R. Aquele 1% é moringa: purificando águas para ingestão e alimentação a partir do tratamento com a moringa oleífera. International Journal Semiarid, v. 1, n. 1, p. 75–78, 2018.

OLIVEIRA, S. M. L.; MARCUCCI, M. C.; GONÇALVES, C. P.; MELO, A.; OLIVEIRA, C. R. Composição química, atividade biológica e segurança de uso da moringa oleifera lam. Moringaceae. Brazilian Journal of Natural Sciences, v. 4, n. 3, p. 11-15, 2022. Disponível em: https://bjns.com.br/index.php/BJNS/article/view/161. Acesso em: 13 setembro de 2024.

PAIXÃO, M.V.S; MARQUAT, G.; ALVES, D. G; ESPÉRANDIO, B. N; DEORCE, G. G de O.; MARTINS, V. da S.; CORREIA, PH Biometria em sementes de gravilola. Revista delos , [S. l.] , v. 43, pág. 774–783, 2023. DOI: 10.55905/rdelosv16.n43-018. Disponível em: https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/854. Acesso em: 13 setembro de 2024.

PEREIRA, F. S. G.; SCHULER, A. R. P.; LIMA, V. F.; SOBRAL, A. D.; BARROS, M. A. S.; DRUMMOND, A. R. F.; GALVÃO, C. C. Viabilidade da Moringa oleifera para produção de biodiesel em regiões áridas. In: Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 6, e Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 9, 2016, Natal. Anais... Natal: 2016.

RAMOS, L. M.; COSTA, R.S.; MÔRO, F. V.; SILVA, R. C. Morfologia de frutos e sementes e morfofunção de plântulas de Moringa (Moringa oleifera Lam.). Comunicata Scientiae, v. 1, n. 2, p. 156-160, 2010. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNSP_e08749403d866c58c12b4ce918a2905e. Acesso em 20 de julho de 2014.

RODRIGUES, G. B.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A. Propriedades físicas das sementes de sorgo granífero em função do teor de água. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 490-497, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/969. Acesso em 20 de julho de 2014.

SILVA, G. V.; SOUTO, J. S.; SANTOS, J. B. Cultivo de moringa: importância nutricional, uso e aplicações. Open journal systems. Meio Ambiente (Brasil), v. 1, n. 3, p. 23-32, 2019. Disponível em: https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/38. Acesso em 20 de julho de 2014.

SILVA, S. A.; SOUTO, L. S. Implantação e manejo. In: SOUTO, J. S. (org.). Moringa 333 perguntas e respostas. Campina Grande, PB: EDUFCG, 2017. 148 p. Disponile em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/30205. Acesso em: 2 setembro de 2024.

OLIVEIRA D. S. O.; BARBOSA, P. J. E.; NONATO, M. J.; DA CUNHA, S. E.; DE SALES, O. F. F.; FERNANDES, P. G. Impactos ambientais ao longo do canal do estreito, Sousa – PB. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 4, n. 6, p. e463303, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i6.3303. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3303. Acesso em: 2 setembro de 2024.

SOUZA, T. M. A.; SOUSA, T. A.; OLIVEIRA NETO, H. T.; SOUTO, L. S.; DUTRA FILHO, J. A.; MEDEIROS, A. C. Crescimento e desenvolvimento inicial da cultura da moringa (Moringa oleifera Lam.) submetida à fertilização orgânica. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, PB, v. 10, n. 5, p. 103-107, 2015. Disponivel em: https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4268. Acesso em: 2 setembro de 2024.

# ZONEAMENTO DE RISCO DE QUEIMADAS NO MATO GROSSO DO SUL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O PREOCUPANTE CENÁRIO DO PANTANAL

Mudanças Climáticas

João Antonio Lorençone
Aluno do curso de graduação em Agronomia
IFMS - Naviraí
joao.lorencone@estudante.ifms.edu.br

Pedro Antonio Lorençone
Aluno do curso de graduação em Agronomia
IFMS - Naviral
pedro.lorencone@estudante.ifms.edu.br

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido
Prof. Dr. IFSULDEMINAS
Campus Muzambinho
lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br

Guilherme Botega Torsoni
Prof. Dr IFMS – Campus Naviraí
guilherme.torsoni@ifms.edu.br

Rafael Fausto de Lima
Aluno de Mestrado em Produção Vegetal
UNESP - Jaboticabal
rf.lima@unesp.br

## Resumo

A interação entre as atividades humanas e os eventos climáticos extremos tem sido uma constante fonte de perturbação para esses ecossistemas. O estado do Mato Grosso do Sul é concentra grande parte da biodiversidade brasileira, devido apresentar três biomas diferentes, destaque para o Pantanal, bioma único no mundo. O objetivo deste trabalho é realizar um zoneamento de risco de queimadas para todo o estado, considerando o cenário atual e futuras projeções climáticas, para contribuir com a conservação das florestas e a resiliência das comunidades locais. Utilizando técnicas avançadas de geoprocessamento e modelagem, o estudo integra variáveis climáticas e de uso do solo para mapear e quantificar os riscos de queimadas. Conforme as projeções do cenário SSP5-8.5, o estudo indica um aumento preocupante nas áreas sob extremo risco de queimadas, que poderá crescer 393,5% até o final do século, passando de 22% para aproximadamente 86,5% do território estadual. Se medidas de mitigação adequadas não forem implementadas, os ecossistemas e as comunidades locais poderão enfrentar riscos significativos. A análise reforça a necessidade de desenvolver estratégias adaptativas para a gestão de riscos, incluindo a implementação de políticas públicas eficazes e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis. Além disso, enfatiza a importância da cooperação entre entidades governamentais, comunidades locais e o setor privado para garantir a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas locais. Essa abordagem integrada visa fortalecer a resiliência dos ecossistemas e das comunidades frente às mudanças globais, promovendo um desenvolvimento sustentável na região.

**Palavras-chave:** Aquecimento global; Resiliência climática; Modelagem climática; Ambiente.

# INTRODUÇÃO

A interação entre as atividades humanas e os eventos climáticos extremos tem sido uma constante fonte de perturbação para esses ecossistemas. A expansão do agronegócio frequentemente resulta em desmatamento, levando a um aumento na frequência e intensidade dos incêndios (BARBOSA; FEARSIDE, 2005; FEARSIDE, 2005). Paralelamente, as mudanças climáticas intensificam extremos climáticos, como secas severas e ondas de calor, exacerbando a frequência de incêndios (MARENGO et al., 2008; CECCHERINI et al., 2020).

A alteração no uso do solo também afeta criticamente os recursos hídricos da região, com estudos indicando que a deflorestação pode alterar significativamente o regime hidrológico do rio Amazonas, com repercussões diretas para o Mato Grosso do Sul (COE; COSTA; SOARES-FILHO, 2009). Da mesma forma, a fragmentação dos habitats, induzida pela deflorestação, tem aumentado a incidência de incêndios nas florestas da Amazônia central (DURIGAN; RATTER, 2016; SILVEIRA et al., 2020).

Portanto, é fundamental o desenvolvimento de estudos que mapeiem os riscos de incêndios, considerando não apenas os padrões climáticos e de uso do solo atuais, mas também projeções futuras. A utilização de técnicas de geoprocessamento para o zoneamento de risco de incêndios já provou ser eficaz em outras regiões do Brasil (RODRIGUES et al., 2014; JÚNIOR et al., 2016). Esses modelos, aliados às projeções de cenários de mudanças climáticas fornecidos pelo IPCC e pelos Pathways Socioeconômicos Compartilhados (SSPs), podem fornecer informações valiosas para o planejamento de políticas públicas e estratégias de conservação adaptativas (IPCC, 2022; PINTO JR et al., 2021).

Assim, objetivou-se com esse estudo realizar um zoneamento de risco de queimada para todo o Mato Grosso do Sul, para o cenário atual e futuro. Visando contribuir para a conservação das florestas e da biodiversidade do Mato Grosso do Sul, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas locais e das comunidades frente às mudanças globais iminentes. Por meio da integração de estudos passados e novas tecnologias de modelagem, espera-se desenvolver estratégias eficazes que mitiguem os impactos dos incêndios florestais e promovam um desenvolvimento sustentável na região.

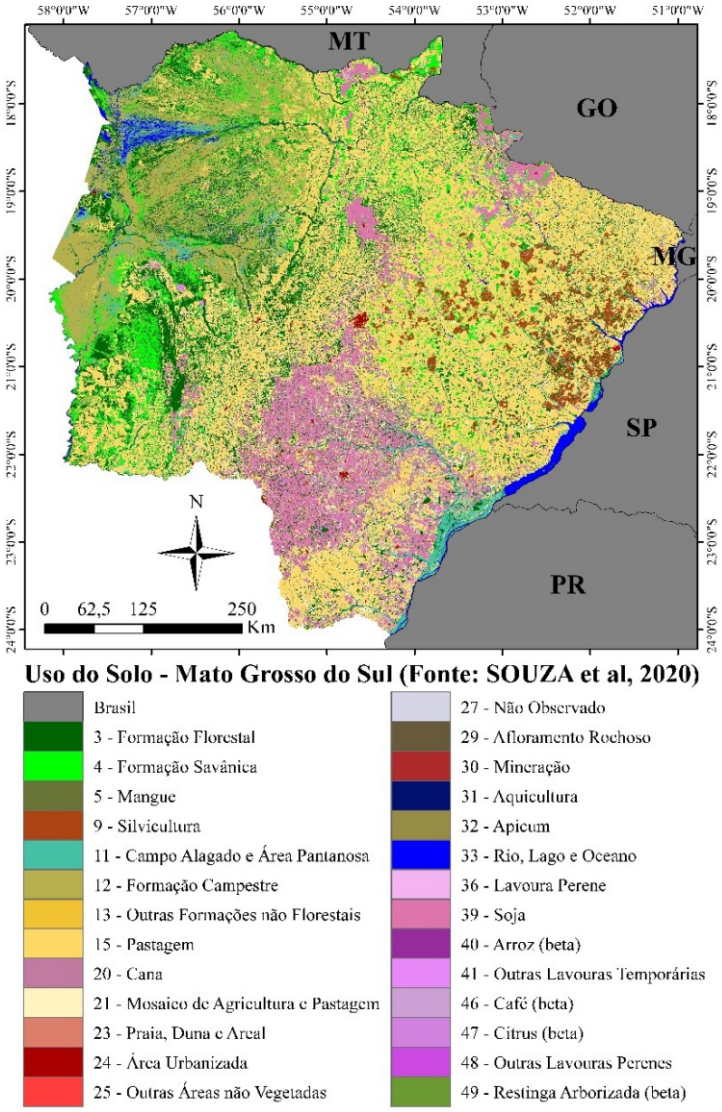
# METODOLOGIA

A área de estudo retratada no mapa foca no uso do solo no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Segundo Souza et al. (2020), a região apresenta uma diversidade de utilizações do solo, incluindo formações florestais e savânicas, áreas de mangue, pastagem, e um mosaico de agricultura e pastagem. Áreas urbanizadas e não vegetadas também são destacadas, refletindo a ocupação humana e a transformação do ambiente natural. Além disso, a região inclui áreas de mineração e aquicultura, que são atividades econômicas significativas.

Para o cálculo do risco de ocorrência de queimadas foi adaptada a metodologia aplicada no estudo de Mota et al. (2019). Os procedimentos para estimar o risco de

foram retirados dos estudos Chuvieco e Congalton (1989), Eugenio et al (2016) Salas e Chuvieco (1994) utilizaram a mesma metodologia, acrescentando as variáveis climáticas, elevando a precisão da estimativa.

Figura 01: Localização geográfica da área de estudo: Brasil, e seus cinco biomas: AM = Amazônia, CA = Caatinga, CE = Cerrado, MA = Mata Atlântica, PA = Pantanal e PP = Pampa. Distribuição das classes de Koppen pelo território do país.




A metodologia utilizada por Mota et al. (2019) associa as variáveis físicas, de uso do solo e climáticas. Para o cálculo são necessários: vegetation and land use (VEG), terrain slope (TS), terrain orientation (ORI), proximity of roads and trails (PRT), altitude (ALT), annual precipitation (P), water deficit (DEF), evapotranspiration (EVAP) and temperature (T). Para cada variável é associado um coeficiente, baseando-se na facilidade para ocorrência de queimadas. A informações de VEG foram coletadas pela plataforma MAPBIOMA (https://mapbiomas.org/) coleção 7.1 (Souza et al., 2020), para o ano mais recente disponibilizado (2021). Foram reclassificados por meio da ferramenta reclass do QGIS baseado na tabela 1.

Os dados climáticos foram coletados pela plataforma World Clim 2.1 (FICK; HIJMANS, 2017), disponibilizados em formato .tiff com uma resolução espacial de 30 segundos (≅ 1 Km²) para todo o Brasil. A variáveis coletadas foram: Temperatura média do ar (°C) - T, Precipitação pluvial acumulada anual (mm) – P, sendo a normal climatológica para 1970-2000. Assim a Evapotranspiração potencial acumulada (mm) – EVAP, foi estimada pelo método de Camargo (1971). Logo, foi calculado o Balanço Hídrico Climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), obtendo-se a variável de Déficit hídrico acumulado anual (mm) - DEF. Os dados foram reclassificados para o coeficiente respectivo (Tabela 2).

A plataforma WordlClim (https://www.worldclim.org/) também foi utilizado para a coleta das informações hipsometrias. Essas informações são derivadas do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A partir desses dados foram gerados o declive do terreno (TS) e Orientação do Terreno (ORI) por meio do Software de Informações Geográficas QGIS 3.24.2. (QGIS, 2015). Os vetores das estradas, rodovias e ferrovias de todo o país foram obtidos por meio do Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) database. Todas as informações disponibilizadas em vetores foram convertidas para formato de matriz. Assim, reclassificadas segundo a tabela 3.

Tabela 01: Forest Fire risk classification according to vegetation and land use.

| Vegetação e uso do solo | Risco | Coeficiente |
|---|---|---|
| Continental Waters | Zero | 0 |
| Areas Urbanas | Baixo | 1 |
| Florestas Naturais | Moderado | 2 |
| Culturas anuais | Moderado | 2 |
| Area campestre | Significante alto | 4 |
| Culturas perenes | Significante alto | 4 |
| Pastagens | Extremo | 5 |
| Florestas Plantadas | Extremo | 5 |

Fonte: Adaptado de Mota et al (2019) e Eugenio et al (2016).

Tabela 02: Forest Fire risk classification according to annual evapotranspiration, annual water deficit, average air temperature and annual precipitation.

| Evapotranspiração acumulada (mm) | Déficit hídrico anual (mm) | Risco | Coeficiente |
|---|---|---|---|
| < 900 | < 75 | Baixo | 1 |
| 900.01 - 1200 | 75.01 - 200 | Moderado | 2 |
| 1200.01 - 1500 | 200.01 - 350 | Alto | 3 |
| 1500.01 - 1800 | 350.01 - 550 | Significante alto | 4 |
| > 1800.01 | >550.1 | Extremo | 5 |

Continua

Continuação

| Temperatura média do ar (ºC) | Precipitação anual acumulada (mm) | Risco | Coeficiente |
|---|---|---|---|
| < 18 | >1800.01 | Baixo | 1 |
| 18.01 - 20 | 1600.01 - 1800 | Moderado | 2 |
| 20.01 - 22 | 1400.01 - 1600 | Alto | 3 |
| 22.01 - 24 | 1200.01 - 1400 | Significante alto | 4 |
| > 24.01 | < 1200 | Extremo | 5 |

Fonte: Adaptado de Mota et al (2019) e Eugenio et al (2016).

Tabela 03: Forest Fire risk classification according to altitude, terrain slope, terrain orientation and distance from roads.

| Altitude (m) | Desclividade do terreno (%) | Orientação do terreno | Distânica de rodovias e trilhos (m) | Risco | Coeficiente |
|---|---|---|---|---|---|
| > 800.01 | 0 - 5 | Reto; Sul; Sudeste e Sudoeste | > 100 | Low | 1 |
| 600.01 - 800 | 5.01 - 10 | Leste | - | Moderate | 2 |
| 400.01 - 600 | 10.01 - 15 | Noroeste | - | High | 3 |
| 200.01 - 400 | 15.01 - 20 | Nordeste | - | Significantly High | 4 |
| < 200 | > 20.01 | Norte | < 100 | Extreme | 5 |

Fonte: Adaptado de Mota et al (2019) e Eugenio et al (2016)

Todos os dados reclassificados geraram informações suficientes para aplicar o modelo de risco de queimada (FR) proposto por Chuvieco and Congalton (1980) e adaptado por Prudente (2010), que expressa o risco de queimada por meio da seguinte equação:

$$FR = 30\,VEG + 15\,DEF + 10\,TS + 10\,PRT + 10\,P + 10\,T + 5\,EVAP + 5\,ALT + 5\,ORI$$

Equação (1)

Onde FR representa o risco de incêndio; VEG é a vegetação e o uso do solo; DEF é o déficit hídrico anual (mm), TS é a inclinação do terreno (%), PRT é a proximidade de estradas e trilhas (m), P é a precipitação anual (mm), T é a temperatura média do ar (ºC), EVAP é a evapotranspiração potencial (mm), ALT é a altitude (m) e ORI é a orientação do terreno.

A equação 1 resultou em uma matriz de dados, no formato .tiff, reclassificada segundo a chave para o risco que queimada: Low, Moderate, High, Signifivantly High e Extreme (Tabela 4).

Tabela 04: Chave para classificação do risco de queimada.

| Classes | Risco de Queimada |
|---|---|
| Low | < 200 |
| Moderate | 200.01 - 225 |
| High | 225.01 - 250 |
| Significantly High | 250.01 - 300 |
| Extreme | > 300.01 |

Fonte: Adaptado de Mota et al (2019) e Eugenio et al (2016)

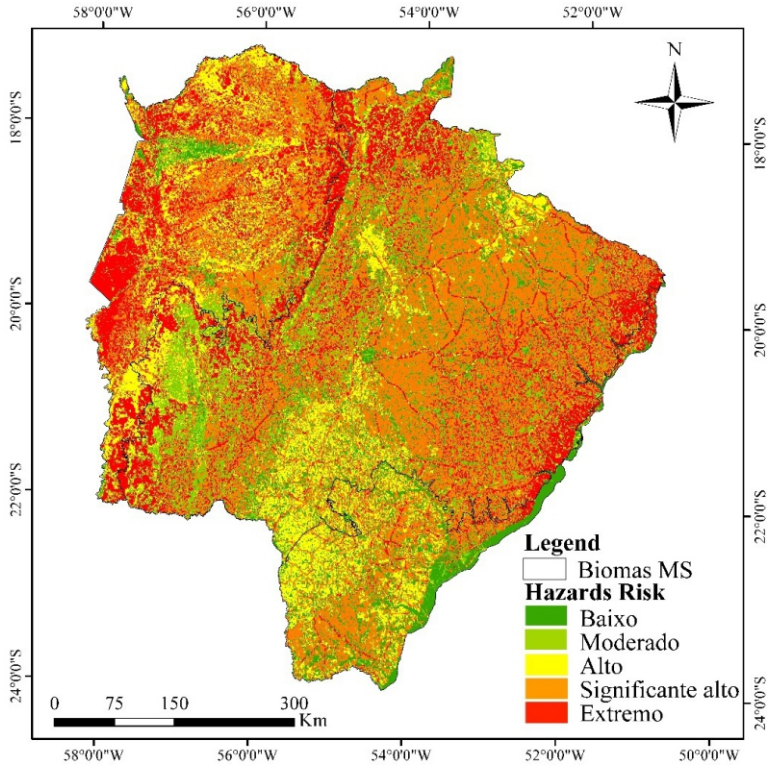
Para facilitar o processo de automatização e acelerar o tempo de processamento, todas as variáveis que não possuem variação no futuro, devido a inexistência de projeções, como VEG, TS, PRT, ALT e ORI foram todas somadas em uma única imagem chamada de invariant (INV) A equação foi aplicada aos dados especializados por meio de técnicas algébricas, disponíveis no software QGIS. Em seguida, foram extraídas as áreas de cada classe para os biomas brasileiros. O modelo de projeção utilizado nas imagens foi South America Albers Equal Area Conic.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cenário atual, o Mato Grosso do Sul enfrenta uma distribuição variada de riscos de queimadas. O noroeste do estado, onde se localiza o Pantanal, apresenta um risco extremo, com 22,0% do território vulnerável devido à vegetação densa e períodos de seca, exigindo estratégias robustas de prevenção e gestão de incêndios. Adjacentes a essas áreas, as regiões de alto risco compõem 17,1% do estado, ampliando as zonas de preocupação. Menos afetadas, as áreas de risco moderado e baixo, que cobrem 13,4% e 11,3% do território (Figura 02), respectivamente, ainda necessitam de monitoramento e medidas preventivas para evitar a escalada dos riscos, especialmente nas regiões distantes do Pantanal onde a gestão eficaz pode reduzir a incidência de incêndios.

O zoneamento de risco climático para os cenários futuros revela uma tendência preocupante. Nos cenários atuais, áreas sob alto risco de incêndio, correspondentes à categoria Extremo, compreenderam 22,0% do território estadual. Porém, projeções para o horizonte temporal de 2081-2100, no cenário SSP5-8.5, indicam um alarmante crescimento dessa proporção para 54,3%. Está escalada reflete um cenário ainda mais desafiador para a gestão ambiental e para a prevenção de incêndios no futuro (Figura 03 e Tabela 05).

Figura 02: Representação espacial do zoneamento de risco de queimada para o Mato Grosso do Sul no cenário atual.

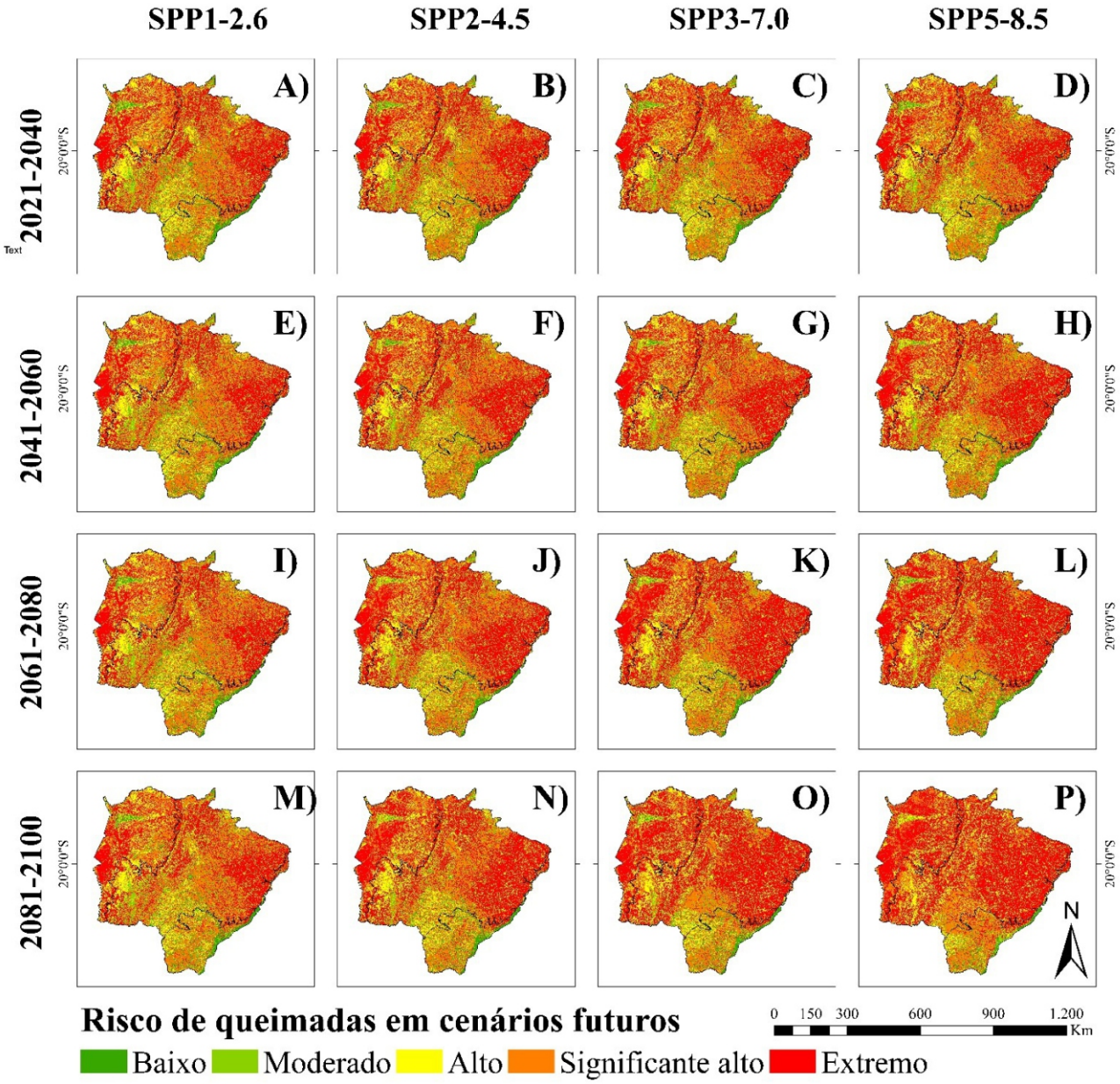



Fonte: Próprio do autor

A análise detalhada por períodos demonstra variações significativas entre as categorias de risco. No período de 2021-2040, por exemplo, o cenário SSP1-2.6 prevê uma diminuição das áreas de risco "Baixo" de 11,3% para 7,8%, enquanto o cenário SSP5-8.5 antecipa uma redução ainda maior para 6,8%. De maneira oposta, as áreas com risco "Extremo" tendem a se expandir de 22,0% para 35,0% e 36,9% nos cenários SSP1-2.6 e SSP5-8.5, respectivamente (Figura 3 e Tabela 5).

Avançando para o período de 2041-2060, sob o cenário SSP5-8.5, uma proporção preocupante de 42,1% do território passa a se enquadrar na categoria de risco "Extremo", evidenciando um agravamento progressivo. Já nos anos de 2061-2080, esta categoria atinge o pico de 45,6% e 50,0% nos cenários SSP3-7.0 e SSP5-8.5, respectivamente, configurando um cenário onde praticamente a metade do estado encontra-se sob uma ameaça extremamente elevada de incêndios.

Figura 03: Representação espacial do zoneamento de risco de queimada para todo o Mato Grosso do Sul, em cenários de mudanças climáticas e períodos futuros.




Fonte: Próprio do autor

Finalmente, as projeções para 2081-2100 sob o cenário SSP5-8.5 são as mais alarmantes, com mais da metade do estado (54,3%) classificado sob risco "Extremo". Essas previsões apontam para um desafio iminente e crescente, no qual ações estratégicas de planejamento, prevenção e controle se fazem urgentemente necessárias para mitigar os impactos futuros no ecossistema e na segurança das populações do Mato Grosso do Sul.

Tabela 5: Percentuais de cada classe de risco de queimada para o Mato Grosso do Sul, no cenário atual e futuros.

| Cenário | Baixo | Moderado | Alto | Significante alto | Extremo |
|---|---|---|---|---|---|
| **Atual** | | | | | |
| atual | 11.3% | 13.4% | 17.1% | 36.3% | 22.0% |
| **2021-2040** | | | | | |
| ssp126 | 7.8% | 12.9% | 18.0% | 26.3% | 35.0% |
| ssp245 | 7.2% | 12.8% | 18.3% | 25.3% | 36.5% |
| ssp370 | 7.6% | 12.8% | 18.2% | 26.0% | 35.4% |
| ssp585 | 6.8% | 12.9% | 18.2% | 25.2% | 36.9% |
| **2041-2060** | | | | | |
| ssp126 | 7.1% | 13.2% | 17.6% | 26.7% | 35.4% |
| ssp245 | 5.6% | 12.7% | 18.0% | 24.4% | 39.3% |
| ssp370 | 5.7% | 12.5% | 17.9% | 24.5% | 39.4% |
| ssp585 | 5.0% | 11.6% | 18.3% | 23.0% | 42.1% |
| **2061-2080** | | | | | |
| ssp126 | 7.1% | 13.3% | 17.3% | 27.0% | 35.3% |
| ssp245 | 5.2% | 11.7% | 18.2% | 23.3% | 41.5% |
| ssp370 | 5.2% | 10.2% | 18.6% | 20.5% | 45.6% |
| ssp585 | 4.6% | 8.8% | 19.1% | 17.5% | 50.0% |
| **2081-2100** | | | | | |
| ssp126 | 6.7% | 13.3% | 17.6% | 26.3% | 36.0% |
| ssp245 | 5.4% | 11.1% | 18.4% | 22.2% | 43.0% |
| ssp370 | 4.5% | 8.1% | 19.8% | 17.4% | 50.2% |
| ssp585 | 2.5% | 4.5% | 19.7% | 18.9% | 54.3% |

Fonte: Próprio do autor.

## CONCLUSÕES

O estudo aprofundado sobre o aumento do risco de queimadas no Mato Grosso do Sul, com base nas projeções do cenário SSP5-8.5, indica uma elevação preocupante nas áreas sob extremo risco de incêndio. Até o fim deste século, espera-se um crescimento de 393,5% nessas áreas, que atualmente representam cerca de 22% do território, podendo alcançar até 86,5%. Tal expansão representa um desafio considerável para a biodiversidade local, a economia e as comunidades que lá residem.

Em resposta a esse cenário alarmante, é indispensável a implementação de uma gestão e prevenção de incêndios robusta. O Pantanal, uma área significativa do estado, está particularmente vulnerável, com expectativas de aumento na frequência e intensidade dos incêndios. Estratégias adaptativas são fundamentais e devem incluir o uso de tecnologias avançadas de monitoramento e práticas agrícolas que ajudem a mitigar esses riscos. É crucial também reforçar as políticas públicas para promover um uso do solo que seja sustentável, visto que práticas inadequadas podem agravar as condições propícias a incêndios.

A colaboração entre diferentes esferas governamentais e as comunidades locais é vital para a eficácia dessas medidas. Componentes como educação ambiental, sistemas de alerta precoce e estratégias de resposta rápida devem ser ampliados para lidar com o crescente risco de queimadas na região. Esta análise conclui que o futuro do Mato Grosso do Sul frente ao risco de queimadas é uma preocupação ambiental séria, necessitando de ações imediatas e coordenadas para prevenir e minimizar os impactos previstos.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. Nature Communications, v. 9, n. 1, p. 537, 2018.

BARBOSA, H. A.; FEARNSIDE, P. M. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management, v. 204, n. 2-3, p. 371-384, 2005.

COE, M. T.; COSTA, M. H.; SOARES-FILHO, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River—Land surface processes and atmospheric feedbacks. Journal of Hydrology, v. 369, n. 1-2, p. 165-174, 2009.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. Journal of Applied Ecology, v. 53, n. 1, p. 11-15, 2016.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. Conservation Biology, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

GANEM, R. S.; RUDRORFF, F. T. Tendências de queimadas no centro-sul do Brasil em três períodos: 1975 a 1990, 1991 a 2000 e 2001 a 2008. Revista Brasileira de Cartografia, n. 64, edição especial 4, p. 567-577, 2012.

MARENGO, J. A. et al. The drought of Amazonia in 2005. Journal of Climate, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008.

NOBRE, C. A. et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. Biological Conservation, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

SAMPAIO, G. et al. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. Geophysical Research Letters, v. 34, n. 17, 2007.

SENEVIRATNE, S. I. et al. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge University Press, p. 109-230, 2012.

SILVA, L. C. R. et al. Past century changes in Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze water use efficiency and growth in forest and grassland ecosystems of southern Brazil: implications for forest expansion. Global Change Biology, v. 15, n. 10, p. 2387-2396, 2009.

TRENBERTH, K. E. et al. Global warming and changes in drought. Nature Climate Change, v. 4, n. 1, p. 17-22, 2014.

CECCHERINI, G. et al. Heat waves in Brazil: Current trends and climate projections. Weather and Climate Extremes, v. 30, p. 100269, 2020.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. Brazil's conservation reform and the reduction of protected areas in the Amazon. Land Use Policy, v. 100, p. 104846, 2021.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. Brazil's new president and ‘ruralists’ threaten Amazonia’s environment, traditional peoples and the global climate. Environmental Conservation, v. 46, n. 4, p. 261-263, 2019.

MARTINS, H. et al. Future projections of fire emissions in the Amazon Basin. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 125, n. 8, 2020.

PINTO JR, O. B. et al. Extreme rainfall events in the southern Amazon Basin: Interannual variability and its relationship to sea surface temperature. International Journal of Climatology, v. 38, n. 5, p. 2273-2286, 2018.

# ZONEAMENTO DE FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO CAFEEIRO NO CENÁRIO MAIS CATASTRÓFICO DO IPCC

Mudanças Climáticas

João Antonio Lorençone
Aluno do curso de graduação em Agronomia
IFMS - Naviraí
joao.lorencone@estudante.ifms.edu.br

Pedro Antonio Lorençone
Aluno do curso de graduação em Agronomia
IFMS - Naviral
pedro.lorencone@estudante.ifms.edu.br

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido
Prof. Dr. IFSULDEMINAS
Campus Muzambinho
lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br

Guilherme Botega Torsoni
Prof. Dr IFMS – Campus Naviraí
guilherme.torsoni@ifms.edu.br

Rafael Fausto de Lima
Aluno de Mestrado em Produção Vegetal
UNESP - Jaboticabal
rf.lima@unesp.br

Claudiomir da Silva dos Santos
Prof. Dr. IFSULDEMINAS
Campus Muzambinho
claudiomir.santos@muz.ifsuldeminas.edu.br

## Resumo

A ferrugem do café (*Hemileia vastatrix)* é uma doença que afeta os cafeeiros no Brasil. O objetivo deste trabalho é realizar o zoneamento da ferrugem do cafe no cenário mais catrastrófico do IPCC. Neste estudo, foram analisadas 13 regiões produtoras de café em diferentes estados. O zoneamento climático mostrou que a temperatura média entre 21°C e 25°C, juntamente com precipitação acima de 30 mm por mês, favorece o desenvolvimento da ferrugem. Atualmente, 49,1% da área analisada é considerada favorável, 39,2% relativamente favorável e 11,7% desfavorável. As regiões de Patrocínio e Três Pontas se destacam na produção de café, com classificação como favorável. O verão beneficia a doença, enquanto o inverno (42,1% da área) é menos propício. Em média anual, 55,3% do território de Minas Gerais é afetado, com maior incidência entre setembro e março. As mudanças climáticas terão impacto negativo no longo prazo, especialmente no cenário mais catastrófico (SSP-5 8.5), com diminuição das áreas favoráveis e desfavoráveis e aumento das áreas relativamente favoráveis para 9,8%, 18,6% e 71,5%, respectivamente, até 2100.

**Palavras-chave:** Café arábica; Favorabilidade climática; Cenários do CMIP6.

## INTRODUÇÃO

O café (Coffea Arabica) é uma commodity altamente valorizada e vital para a economia de mais de 60 países. O Brasil é o maior produtor, responsável por 30% da produção mundial. Contudo, doenças, em particular a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*), podem resultar em perdas significativas, até 50% se o manejo fitossanitário não for adequado.

A infecção da ferrugem do cafeeiro inicia-se quando o fungo *Hemileia vastatrix* se adere à superfície da planta hospedeira e gera urediniosporos. Condições climáticas favoráveis, como temperatura média de 21 a 25°C, precipitação mensal superior a 30 mm e umidade relativa maior que 85%, são cruciais para seu desenvolvimento.

O clima tem grande influência no desenvolvimento de doenças fúngicas como a ferrugem do cafeeiro. Por isso, monitorar a variabilidade climática é importante para avaliar a presença de agentes fitopatogênicos. Ferramentas de zoneamento climático são úteis para identificar regiões e períodos ideais para o desenvolvimento de certas doenças, auxiliando no planejamento agrícola.

Estudos anteriores já realizaram zoneamentos de favorabilidade climática para outras doenças, mas não para todas as áreas produtoras de café do Brasil nem utilizando os cenários mais recentes de mudanças climáticas do IPCC.

Dados do IPCC mostram que a temperatura do ar aumentou 1°C no último século, com previsão de aumentar de 1,5 a 6°C até 2100. A agricultura será uma das áreas mais impactadas pelas mudanças climáticas. Portanto, é importante quantificar esses impactos para planejar futuras atividades agrícolas.

Projetos Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP) do IPCC são fundamentais para compreender as mudanças climáticas. Um desses modelos é o IPSL-CM6A-LR, desenvolvido pelo Institut Pierre-Simon Laplace Climate Modeling Center, que tem grande robustez nas previsões.

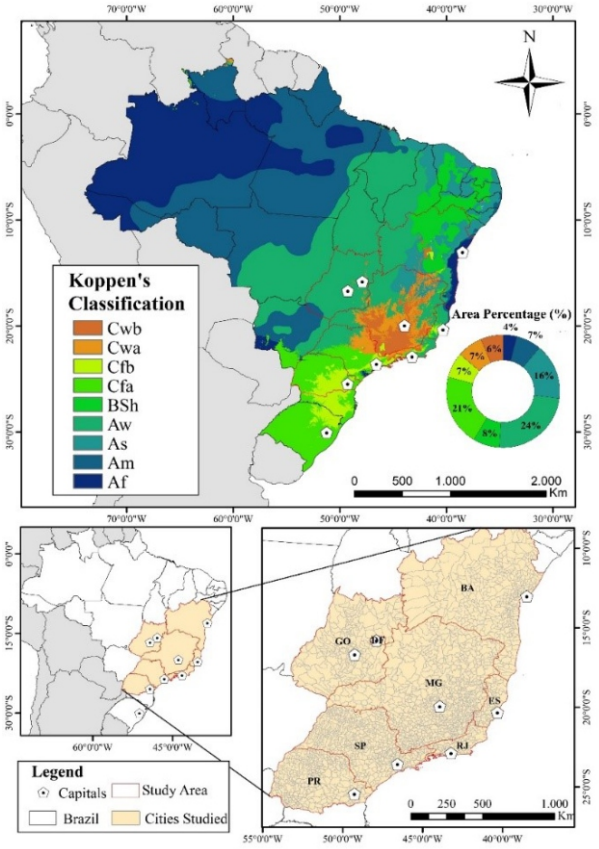
Em futuros cenários de mudanças climáticas, as condições fitossanitárias no Brasil certamente serão afetadas. Portanto, é vital avaliar esses impactos em áreas agrícolas para uma agricultura mais sustentável. O objetivo deste estudo foi realizar o zoneamento de favorabilidade climática para a ferrugem do cafeeiro no Brasil no cenário mais catastrófico do IPCC.

## METODOLOGIA

O estudo foi conduzido nos estados do Paraná (PR), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Espírito Santo (ES), Minas Gerais (MG), Goiás (GO) e Bahia (BA). Regiões essas tradicionais de exploração da cafeicultura Brasileira (Figura 1). O clima predominante nas regiões de estudo compreende as classes climáticas tropicais e subtropicais segundo a classificação climática de Koppen (1936): Aw, Cfa, Cwa e Cwb (ALVARES et al., 2013).

Os dados de temperatura do ar e precipitação diária para o cenário atual foram coletados por meio da plataforma WorldClim version 2.1(FICK; HIJMANS, 2017), para a última normal climatológica (1991-2020 ? importante). Os dados são disponibilizados em formato GeoTiff (.tif), com resolução de 30 segundos (1 km²).

Figura 01. Mapa de localização das cidades estudadas e sua classificação de Koppen. BA - Bahia, DF - Distrito Federal, ES - Espírito Santo, GO - Goiás, MG - Minas Gerais, PR - Paraná e RJ - Rio de Janeiro. Legenda: 0 - Barra do Choça (BA), 1- Barreiras (BA), 2 - Brejetuba (ES), 3 - Cabeceiras (GO), 4 - Carlópolis (PR), 5 - Cristalina (GO), 6 - Garça ( SP), 7 - Iúna (ES), 8 - Patrocínio (MG), 9 - Pedregulho (SP), 10 - Pinhalão (PR), 11 - Porciúncula (RJ), 12 - Três Pontas (MG) e 13 - Varre- Sai (RJ).




As variáveis climáticas futuras foram obtidas pela mesma plataforma, WorldClim 2.1, para o modelo IPSL-CM6A-LR (BOUCHER et al., 2020), com resolução de 30 segundos (1 km²). Foram utilizados todos os cenários Shared Socioeconomic Pathways (SSP) disponíveis para quatro períodos (2021-2040, 2041-2060, 2061-2081 e 2081-2100) na plataforma WorldClim: SSP-1 2.6, SSP-2 4.5, SSP-3 6.0 e SSP-5 8.5 (RIAHI et al., 2017). Os SSP's são calculados com base o número de reflexão da radiação, a diferença do que entra e o que sai no planeta representa o efeito estufa, sendo 2.6 o cenário otimista, 4.5 e 6.0 intermediários e 8.5 o pessimista, associado com cenários das medidas que serão aplicadas pela sociedade para redução da emissão de gases do efeito estufa (KRIEGLER et al., 2017; VAN VUUREN et al., 2017).

As condições climáticas que influenciam no desenvolvimento da Hemileia vastatrix, foram definidas a partir das variáveis climáticas, temperatura do ar média e precipitação. Sendo a temperatura do ar ideal 21 a 25 °C e precipitação ideal >30 mm mês (GODOY et al.. 1995,PEREIRA et al. 2008). Essas varáveis foram combinadas e assim formadas as classes de aptidão climática (Tabela 01), utilizadas nas avaliações.

Tabela 01. Classes de aptidão climática para ocorrência de Ferrugem-do-cafeeiro.

| | **Air Temperature (°C)** | **Precipitation (mm mês$^{1}$)** |
|---|---|---|
| Favorable | 21-25 | And >30 |
| Relatively favorable | <21 or >25 | any- |
| | any- | <30 |
| Unfavorable | <21 or >25 | And <30 |

Para a realização do zoneamento de favorabilidade todas essas etapas foram condensadas em uma ferramenta utilizando o software de sistema de informações geográficas QGIS (http://www.qgis.org/). Foi utilizado também a linguagem de programação Python 3.8, para automatizar a elaboração do zoneamento de favorabilidade da Phoma spp. No total foram elaboradas 204 mapas (4 periods x 4 scenarios x 12 mounths + 12 current zoning) com um tempo de processamento de 34 minutos.

No processamento as entradas de temperatura do ar e precipitação diária em formato Raster das regiões foram baixadas da base do Worldclim. Na primeira etapa, a ferramenta reclassify foi aplicada para reclassificar imagens com base em chaves de favorabilidade. Na etapa 2, as imagens reclassificadas foram mescladas e, uma coluna foi adicionada à tabela de atributos para adicionar categorias de aptidão: 1 = Unfavorable, 2 = Relatively favorable and 3 = Favorable.

Para as novas colunas, a combinação de rasters é convertida em polígonos na etapa 3. Na próxima etapa (etapa 4), o polígono é dissolvido em uma função de colunas com as classes de favorabilidade. Ainda na etapa 4, foi aplicada a ferramenta Intersect para adicionar as colunas estado e cidade da Shape Region, que além da área total de cada cidade e estado, também possui a divisão geográfica da região. Esse processo visa determinar o índice de favorabilidade de cada estado e cidade. Na etapa 5 foi feito o cálculo da área, para o qual foram adicionadas 2 colunas, uma para a área do polígono e outra para a área porcentual. Assim, foi calculado a área de cada polígono, preenchendo a coluna "Área" e logo após o valor dessa coluna foi dividido pela "área total", do “Shape Region”, obtendo a área percentual de cada classe dentro do estado ou município. Finalmente, os polígonos finais são exportados para um arquivo de planilha.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As flutuações climáticas no Brasil oferecem uma vasta gama de cenários para a produção de café. As temperaturas do ar mostraram variações significativas, oscilando de 18.8 ºC em PR até 30.4 ºC em GO, de acordo com os cenários SSP-1 2.6 e SSP-5 8.5, respectivamente. Kovalkeski et al. (2015) expressaram preocupação com a elevação

rápida da temperatura, que poderia afetar a produção de café. Os cenários SSP-1 2.6 (2021-2040) e SSP 5-8.5 (2081-2100) apresentaram o menor e o maior aumento de temperatura, respectivamente, quando comparados ao cenário atual.

Bahia e Distrito Federal, no período 2081-2100, apresentaram notáveis aumentos de temperatura. Na Bahia, as temperaturas variaram de 25.0 °C no SSP-1 2.6 a 29.1 °C no SSP-5 8.5, enquanto no Distrito Federal a variação foi de 22.8 °C a 27.7 °C. Já entre 2041-2060, Goiás destacou-se com um aumento expressivo de temperatura. No período 2061-2080, todos os estados registraram aumentos ainda mais expressivos na temperatura. Goiás, em particular, viu um aumento de 25.3 °C no SSP-1 2.6 a 28.0 °C no SSP-5 8.5. Minas Gerais, durante o mesmo período, mostrou um aumento de temperatura de 23.2 °C a 25.7 °C. O Paraná apresentou um aumento de 3.6 °C para o período de 2061-2080 e de 6.3 °C para 2081-2100. Esses resultados sugeriram a urgência de ações para mitigar o aquecimento global e prevenir aumentos ainda maiores de temperatura (LORITE et al., 2023).

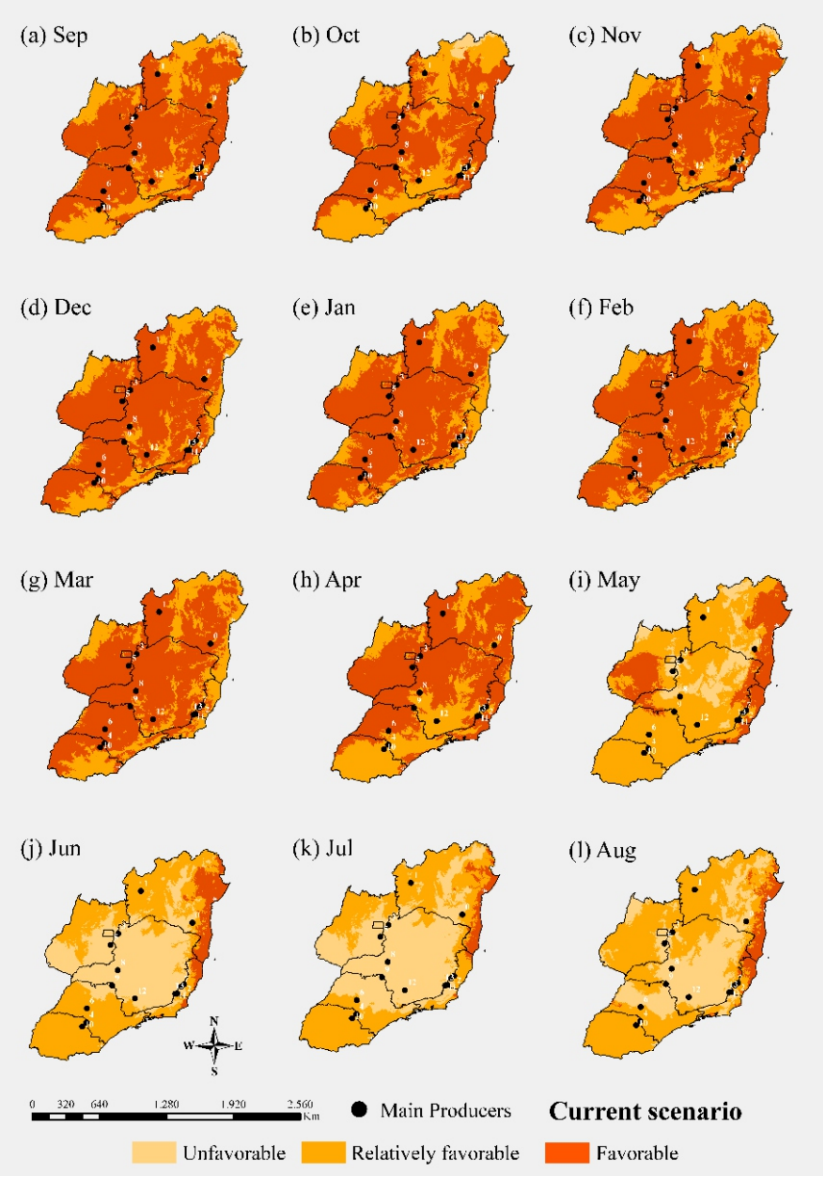
A precipitação acumulada média mensal foi de 110.5 mm, com variações notáveis entre estados. Distrito Federal registrou uma média de 124,6 mm, e a Bahia, uma média de 73,1 mm. Goiás, Paraná e Rio de Janeiro apresentaram as maiores precipitações, com 129,6 mm, 129,3 mm e 109,5 mm, respectivamente. Foi observada uma tendência geral de queda na precipitação para todos os estados nos cenários estudados. Entre 2021-2040, a média de precipitação foi de 106.9 mm, diminuindo para 102.1 mm para 2081-2100.

Os cenários mais pessimistas mostraram reduções mais acentuadas na precipitação. Em Goiás, Paraná e Rio de Janeiro também foram observadas diminuições, embora menos acentuadas. São Paulo apresentou um leve aumento no cenário SSP-3 7.0 entre 2021-2040 e 2081-2100, mas uma queda acentuada no cenário SSP-5 8.5, chegando a 107.6 mm. Essas tendências destacam a necessidade de medidas para mitigar esses impactos, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a proteção das florestas.

A predominância da classe Favorável para a incidência da doença foi observada de setembro a abril, representando mais de 60% do território (Figura 2). Durante este período, medidas preventivas eram necessárias, como a aplicação de defensivos agrícolas pós-colheita. As maiores médias de produção de café estavam em Patrocínio (MG), Três Pontas (MG) e Pedregulho (SP).

A ferrugem do cafeeiro mostrou grande aptidão em grande parte do território estudado, especialmente entre setembro e abril, com maior concentração da classe Favorável. Patrocínio apresentou condições favoráveis para a doença quase o ano todo, com exceção de maio a agosto. Entre os estados analisados, DF, MG e ES apresentaram a maior porcentagem da classe Favorável durante o ano. Em regiões assim, o controle cultural era essencial, incluindo o aumento do espaçamento entre as plantas de café e a implantação de quebra-ventos para reduzir a disseminação de esporos.

Figura 02. Distribuição espacial das três classes de aptidão climática para a ferrugem do cafeeiro e representação da área total da região que cada uma delas representa, para todos os meses do ano, no cenário atual

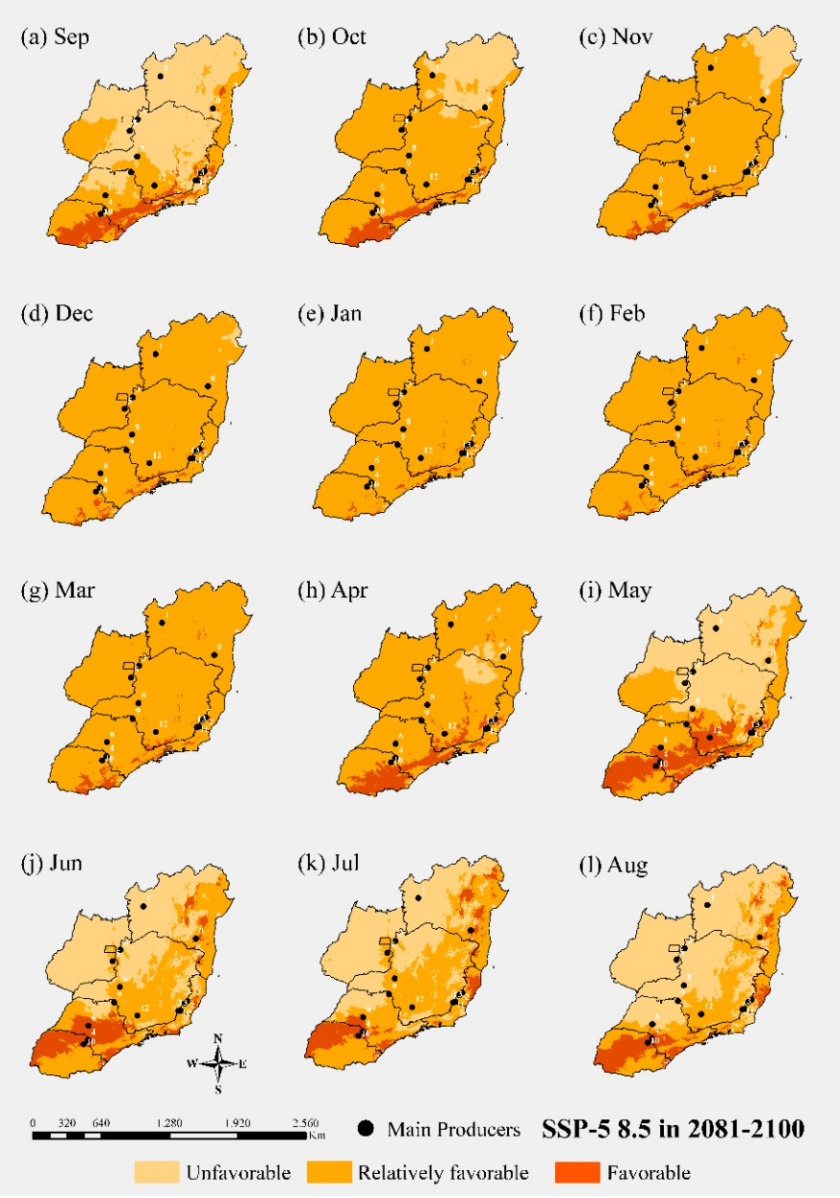



No cenário mais pessimista (SSP-5 8.5) a longo prazo (2081-2100), houve menor variação no zoneamento, sobretudo no verão (Figura 3). A classe Relatively Favorable predominou, com condições relativamente favoráveis à doença nos meses mais quentes. Notou-se que, embora a temperatura média do ar dificultasse o desenvolvimento do fungo, a precipitação o favorecia. Estados como ES, RJ, SP e MG tiveram amplas áreas classificadas como Relatively Favorable.

Contrariamente, muitas áreas não apresentavam condições climáticas favoráveis à doença, principalmente no inverno, para o mesmo cenário SSP-5 8.5. A classe Unfavorable teve destaque, com os estados de BA, GO, DF e MG sendo os mais inaptos para a ocorrência da doença. Especificamente, a localidade de Barreiras - BA foi climaticamente inapta de maio a setembro.

A classe Favorable foi menos representada nesse cenário, ocorrendo em pequenas proporções durante todo o ano. Estados costeiros como PR, SP, ES e RJ apresentaram maiores médias para áreas favoráveis à doença, influenciados pela umidade de importantes rios da região. Entre os municípios, Carlópolis - PR e Pinhalão - PR foram os mais aptos à doença, especialmente de maio a agosto.

Figura 3. Distribuição espacial das três classes de aptidão climática para a ferrugem do cafeeiro e representação da área total da região que cada uma delas representa, para todos os meses do ano, no cenário SSP-5 8.5, no período de 2081 a 2100.



CONCLUSÕES

O cenário com menores alterações de temperatura do ar foi o SSP-1 2.6 no período 2021-2040, com um aumento de 4,0% em relação ao cenário atual. Já o SSP 5-8.5 no período 2081-2100 apresentou temperaturas mais elevadas, registrando um acréscimo de 28,4%. A precipitação variou menos, com média mensal acumulada de 110.5 mm e diminuições notáveis na Bahia, no Distrito Federal e em Minas Gerais.

O zoneamento para a ferrugem do cafeeiro indicou que a região de maior produção de café no Brasil era classificada predominantemente como Favorable, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais favoráveis para a doença. Contudo, o inverno apresentava maior ocorrência de áreas Unfavorable.

Em 2081-2100, houve redução das áreas aptas em todos os estados, exceto Paraná. DF e GO não possuíam nenhuma área Suitable, enquanto Minas Gerais apresentava em média 54.3% do território apto à doença, com o município de Patrocínio e Três Pontas favoráveis à doença na maior parte do ano.

As mudanças climáticas afetaram negativamente o desenvolvimento da ferrugem do café, com redução das condições favoráveis à doença, exceto no Paraná. O cenário SSP-5 8.5 apresentou as maiores alterações, sendo mais agravado em 2081-2100. A longo prazo, houve reduções significativas das áreas Favorable, indicando que as mudanças climáticas poderiam reduzir a ocorrência dessa doença do cafeeiro. No entanto, era necessário avaliar a capacidade de adaptação do fungo *Hemileia vastatrix*.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) – Processo: APQ-00239-23. Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de produtividade do 3º autor (processo: 307920/2023-2) e ao Instituto Federal do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS).

## REFERÊNCIAS

ADAN, M. et al. Use of earth observation satellite data to guide the implementation of integrated pest and pollinator management (IPPM) technologies in an avocado production system. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 23, p. 100566, ago. 2021.

AGRIOS, G. N. Plant pathology. [s.l.] Elsevier, 2005.

BEDIMO, J. M. et al. Effect of shade on Arabica coffee berry disease development: Toward an agroforestry system to reduce disease impact. Phytopathology, v. 98, n. 12, p. 1320–1325, 2008.

BERIHUN, G.; ALEMU, K. Status of coffee leaf rust ( Hemileia vastatrix ) and its management in Ethiopia: a review. Archives of Phytopathology and Plant Protection, v. 55, n. 20, p. 2283

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. Scientia Agricola, v. 65, p. 98–107, 2008.

HOURDIN, F. et al. Convective Boundary Layer Control of the Sea Surface Temperature in the Tropics. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, v. 12, n. 6, jun. 2020.

IBGE, I. B. D. G. E. E. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA: Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2020>. Acesso em: 28 maio. 2021.

ICO. International Coffee Organization - Historical Data on the Global Coffee Trade. Disponível em: <http://www.ico.org/new_historical.asp>. Acesso em: 18 jun. 2022.

IPCC. 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. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, , 2014.

IPCC. Global Warming of 1.5°C, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, , 2018.

JIBAT, M. Review on resistance breeding methods of coffee leaf rust in Ethiopia. International Journal of Research in Agriculture and Forestry, v. 7, n. 6, p. 32–41, 2020.

KNUTTI, R. et al. Challenges in combining projections from multiple climate models. Journal of Climate, v. 23, n. 10, p. 2739–2758, 2010.

# SINERGIA ENTRE CANA E PECUÁRIA: TRANSFORMANDO UMA BIORREFINARIA SUSTENTÁVEL EM FONTE DE BIOGÁS E BIOMETANO

Implementação de energia sustentáveis

Aiko Martins Fukuma
Discente, Universidade Federal de Alfenas
Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia
aiko.fukuma@sou.unifal-mg.edu.br

Bianca Aparecida Ribeiro
Discente, Universidade Federal de Alfenas
Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

Bárbara Pereira Landim
Discente, Universidade Federal de Alfenas
Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

Larissa Ferreira Firmo
Discente, Universidade Federal de Alfenas
Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

Jessica Jacinta Silva
Discente, Universidade Federal de Alfenas
Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

Renata Piacentini Rodriguez
Prof. Dra., Universidade Federal de Alfenas
Departamento Instituto de Ciência e Tecnologia

## Resumo

A utilização do biometano como fonte energética destaca-se pela crescente demanda energética alinhada à busca por tecnologias de energia limpa. O principal instrumento para se alcançar a meta de Carbon Neutrality até 2050 é a transição energética. Este artigo procura ilustrar o biogás como uma das alternativas tecnológicas mais acessíveis nos temas ambientais como o combate à mudança climática e escolha de energias renováveis. Analisando aplicações do biogás, procura entender suas implicações para o meio ambiente. Assim, o Brasil destaca-se como o maior produtor de cana-de-açúcar e como líder mundial na pecuária bovina, dois segmentos que resultam na produção de elevados volumes de subprodutos de baixo valor agregado e de resíduos. O país tem grande potencial a ser explorado para a produção de biogás e, consequentemente, biometano. Este projeto propõe promover a geração descentralizada de energia na forma de biometano em resíduos da pecuária com o desenvolvimento de tecnologias limpas e inovadoras para o pré-tratamento dos resíduos lignocelulósicos. São realizados ensaios em escala de bancada, seguido do escalonamento em planta piloto a partir da determinação de parâmetros operacionais, focados no aumento da produtividade de biometano. Com base nos resultados experimentais, será proposta a análise de viabilidade econômica, energética e ambiental do arranjo tecnológico e análise do ciclo de vida.

**Palavras-chave:** Tecnologias; Transição; Mudança Climática; Viabilidade; Energia.

# INTRODUÇÃO

O biogás é um recurso energético obtido a partir da biodigestão anaeróbia de matéria orgânica contida em resíduos orgânicos do setor sucroenergético, da cadeia da proteína animal, da agricultura e do saneamento, sendo composto principalmente por metano e dióxido de carbono. O biogás pode ser convertido em energia elétrica, energia térmica, ou com sua purificação, em biometano, um biocombustível gasoso composto basicamente por metano, equivalente ao gás natural. Na realidade brasileira, o país possui um enorme potencial de produção de biogás e biometano. De acordo com levantamento da ABiogás (Associação Brasileira do Biogás), os resíduos gerados atualmente poderiam ser convertidos em 90% da média de produção de biogás nacional de gás natural em 2021, o que corresponde a cerca de quatro vezes a capacidade total do Gasoduto Brasil-Bolívia (Gasbol). Em função de suas condições operacionais favoráveis, potencial de substituição de combustíveis fósseis, disponibilidade em todo o território nacional e produção próxima da geração de energia ou do consumo, o biogás tem sido notado como fonte madura, apresentando um aumento crescente nos últimos anos, podendo contribuir em agendas como a de segurança energética e de descarbonização.

Assim o biogás, especificamente, pelo fato de poder ser gerado de forma contínua, difere da energia eólica ou solar. É possível estocá-lo a custos baixos, seja na forma de matéria-prima, seja como gás comprimido. Além disso, devido à sua estabilidade, pode atuar como mecanismo regulador da intermitência dessas outras fontes.

A crescente necessidade global por energia limpa tem aumentado a procura por biocombustíveis. No Brasil, o etanol oriundo da cana-de-açúcar é o principal biocombustível produzido e comercializado. Durante a produção do etanol, gera-se uma grande quantidade de vinhaça, um resíduo líquido da destilação do etanol com elevado conteúdo orgânico que normalmente é aplicado no solo, mas que pode ser convertido a biogás através da digestão anaeróbia.

O Brasil destaca-se também como o maior produtor de cana-de-açúcar e como líder mundial na pecuária bovina, dois segmentos que resultam na produção de elevados volumes de subprodutos de baixo valor agregado e de resíduo, por esse motivo o país tem grande potencial a ser explorado para a produção de biogás e, consequentemente, biometano. Durante o processo de produção do etanol são produzidas grandes quantidades de grãos de destilaria, resíduo com alto teor orgânico que normalmente é aplicado ao solo, mas pode ser convertido em biogás por meio da digestão anaeróbica. Alguns autores acreditam que o uso de grãos de destilação diretamente no solo pode levar a problemas como contaminação de águas subterrâneas, acidificação do solo e aumento de emissões de gases de efeito estufa devido à decomposição da matéria orgânica presente nos grãos. O processo de digestão anaeróbica, por sua vez, envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica, resultando na formação de metano, produtos inorgânicos (dióxido de carbono) e um resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante (matéria orgânica estabilizada).

Ou seja, é possível diminuir o consumo de eletricidade ou lenha, bem como obter créditos ao fornecer o insumo para a rede. Os reatores anaeróbicos ajudam a produzir

o biocombustível que é utilizado em veículos que utilizam o GNV. Já o segundo está relacionada a produção de biogás que possibilita o reaproveitamento dos dejetos gerados na criação de animais. O produtor que utiliza o reator anaeróbio não será mais responsável pela contaminação do solo, açudes, rios, lençois freáticos etc. E ainda evitará o agravamento do efeito estufa e do aquecimento global que está causando danos ao meio ambiente e à humanidade. E o último ponto o uso do reator anaeróbio auxilia na retirada de dejetos e resíduos do ambiente, evita a proliferação de doenças, elimina odores desagradáveis e impede a multiplicação de insetos como as moscas.

Objetiva-se com esse trabalho avaliar a atividade microbiana anaeróbia pelo método da Atividade Metanogênica Específica (AME), uma forma fácil, econômica, eficaz e ideal para a pesquisa que busca analisar e aprimorar a digestão anaeróbia, buscando reciclagem de matérias orgânicas para favorecer a produção de energia limpa

## METODOLOGIA

A biodigestão anaeróbia é uma opção promissora para tratamento de resíduos agroindustriais, transformados, a partir dela, em biogás e biofertilizante. O biogás pode ser purificado a biometano, que, igualmente, apresenta uma gama de aplicações, porém com maior valor agregado (CIBIOGÁS, 2021), tornando-o atrativo para comercialização, utilização como combustível, e geração de energia elétrica para a biorrefinaria na qual é produzido.

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo a que são submetidos diversos tipos de resíduos (urbanos, rurais ou industriais), com finalidades de tratamento de resíduos, produção de biogás e produção de biofertilizantes e com melhores qualidades sanitárias em relação ao material original. De forma simples, o processo ocorre em duas etapas. Na primeira etapa , a matéria orgânica complexa é transformada em compostos simples como ácidos orgânicos voláteis, pela ação de enzimas extracelulares, das bactérias acidogênicas e acetogênicas. Na segunda etapa, estes produtos são transformados principalmente em $CH_4$ e $CO_2$, pela ação das bactérias metanogênicas.

Essas bactérias metanogênicas são bem sensíveis a condições adversas ou a alterações do ambiente , dessa forma, o passo limitante do processo é a geração de metano.

O presente estudo tem como foco avaliar a atividade microbiana anaeróbia pelo método da Atividade Metanogênica Específica (AME), uma forma fácil, econômica, eficaz e ideal para a pesquisa que busca analisar e aprimorar a digestão anaeróbia.

Procurou-se otimizar o teste de atividade metanogênica tomando-se por base a metodologia adotada por Carlos Augusto de Lemos Chernicharo em seu livro “Reatores anaeróbios”, de 1997. No desenvolvimento do trabalho experimentou várias proporções para esse teste de atividade, buscando a máxima atividade metanogênica específica do inóculo, através de ensaios simples, rápido e eficaz. Assim, utilizando-se um tipo de lodo anaeróbio, estudou-se a influência das quantidades de substrato, da natureza de substrato, da forma de agitação do meio e do tempo armazenado do inóculo nos resultados dos testes de atividade.

Assim foram feitos quatro triplicatas, totalizando doze frascos de antibiótico, em que três triplicatas possuíam diferentes quantidades substrato (ácidos orgânicos), em pequena, média e alta qualidade, e uma triplicata possuindo somente o inóculo e água (controle negativo). Deixadas na estufa a 35ºC, realizando as medições do biogás inicialmente de forma diária, posteriormente uma vez por semana, e por fim a cada quinze dias, 15 dias após o início do experimento foram guardados amostras de cada biogás em tubos de ensaios de 9ml. Sempre considerando os volumes acumulados, soma do último dia medido com o próximo, tabelando esses valores, realizando e analisando os resultados por meio de gráficos.

Na segunda parte do experimento, os tubos de ensaios guardados junto a duplicatas selecionadas das triplicatas, foram levadas até a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), para realizar as análises de metano utilizado o cromatógrafo gasoso, obtendo as concentrações e suas porcentagem, dois fatores importantes para as analisar as proporções de inóculo e substrato que melhor auxilia na produção de biogás e, principalmente, na do metano.

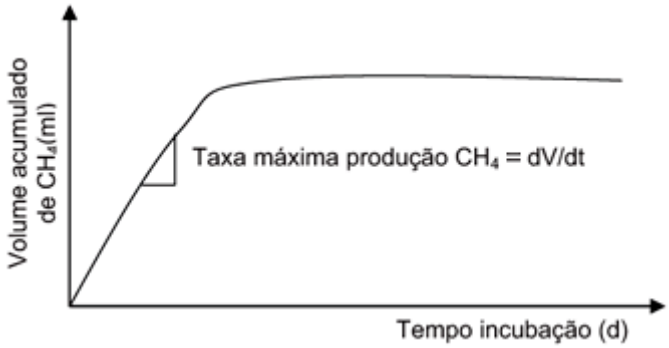
A terceira parte, foram realizadas as análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), em que foi utilizado uma amostra do inóculo de uma triplicata adicionando-se dicromato de potássio e uma solução ácida em tubo de ensaio, para obter a cor do inóculo e fazer a comparação com o branco (água com dicromato de potássio e a solução ácida), assim analisar em quantas vezes diluir, que no caso deu cores distintas, precisando dissolver em vinte e cinco (25) vezes, 0.25 ml de água. Após diluir a água e o inóculo em um balão volumétrico, pipetou-se 1,25 ml da diluição nos tubos de ensaio e adicionar cromato de potássio e a solução ácida, todas com as cores similares ao branco, após isso fazer a leitura ondas das eletromagnéticas de cada tubo de ensaio, para observar a quantidade de oxigênio consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica.

Uma vez escolhido um determinado método para o teste AME, os resultados obtidos através do mesmo serão muito mais úteis em termos comparativos, como entre determinadas condições e fases operacionais de reatores anaeróbios. Assim, a atividade a avaliação da atividade metanogênica específica (AME) permitirá identificar a eficiência do inóculo na conversão dos substratos orgânicos em metano, possibilitando otimizar a produção de biogás a partir dos resíduos e subprodutos da cana-de-açúcar e da pecuária bovina.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção volumétrica de metano é avaliada diariamente, multiplicando-se o volume de biogás pela porcentagem de metano no biogás. A porcentagem de metano pode ser encontrada a partir de uma curva de calibração. A taxa máxima de produção de metano pode ser obtida ao se construir um gráfico temporal da produção acumulada de metano. A Atividade Metanogênica Específica (AME) pode ser então determinada no gráfico de volume acumulado por tempo de incubação, em que a taxa máxima seja determinada no trecho linear, que corresponda ao consumo mínimo de 50% do substrato adicionado.

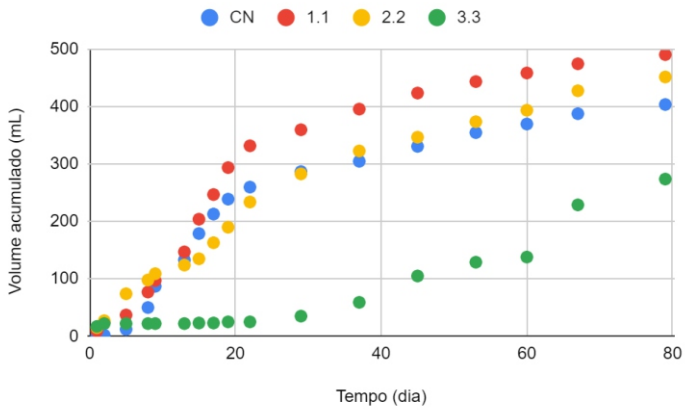
Figura 01: Determinação gráfica da taxa máxima de produção de metano




Autor: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Foi analisado os resultados dos ensaios de atividade metanogênica específica (AME) variando a concentração de substrato, comprovando que o substrato interfere diretamente na taxa máxima de produção de biogás. A média dos valor em que marcam o início da transição de retilínea crescente para constante foi entre 200ml e 300ml, nos ensaios de controle negativo (sem substrato), ensaio 1 com 1,71 m/L (menor quantidade) e ensaio 2 com 4,26 m/L (quantidade intermediária), porém, somente o ensaio 3 de 8,52 m/L não ofereceu os resultados esperados, o motivo ainda está sendo investigado e analisado, mas tudo indica que, uma alta quantidade de substrato pode desregular o início da produção de biogás, o suficiente para atrasar ou evitar a formação da reta retilínea da taxa máxima de produção de metano, apresentando o formato curvilínea crescente.A figura 2 a seguir apresenta visualmente os resultados descritos.

Figura 2: Média dos volumes acumulados de cada triplicata




Fonte: Autores (2024)

Está sendo analisada também a concentração de metano do biogás de cada triplicata, que mostraram que todos os ensaios apresentaram uma alta concentração de

metano, ou seja, mesmo com as diferenças das médias do volume acumulao a presença o metano em cada frasco de antibiótico é significativo, pois a concentração de metano foi entre 26 e 40 em todas as triplicatas. A tabela 1, a seguir mostra os valores da concentração de metano:

.

Tabela 1: Composição de metano

| COMPOSIÇÃO | CH4 (%) | CO2 (%) |
|---|---|---|
| Ensaio 1 | 35,407 | 11,505 |
| Ensaio 2 | 46,299 | 11,326 |
| Ensaio 3 | 35,751 | 12,417 |
| Controle Negativo | 34,916 | 9,321 |

Fonte: Elaboração própria
Autores: Aiko Fukuma, Bianca Ribeiro, Bárbara Landim, Larissa Firmo, Jessica Silva, Renata Rodrigues

## CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstra que a relação de substrato e inóculo, em que a quantidade do substrato está interligada com a produção do biogás mas não prejudica a proporção de metano incluído no biogás. A variação do volume acumulado não afeta consideravelmente a concentração de metano produzido, pois a faixa desta concentração não está interligada com os volumes acumulados ao longo do período de incubação em que apresenta um pico até alcançar a constante. O estudo cumpre seu propósito ao evidenciar a relevância de ajustar os parâmetros do inóculo e do substrato para melhorar a eficiência do processo de digestão anaeróbia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq por meio de financiamento do projeto e a concessão da bolsa de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, Sérgio F. et al. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, p. 192-201, 2007.

DE SOUZA, Marcos Eduardo. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. Revista DAE, v. 44, n. 137, p. 88-94, 1984.

FRANQUETO, Rafaela; DA SILVA, Joel Dias. USO DO BIOGÁS E BIOMETANO: UMA REVISÃO SOBRE O AMBIENTE REGULATÓRIO NO BRASIL. REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA, v. 15, n. 1, 2023.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos avançados, v. 21, p. 7-20, 2007.

PENNA, Jorge Adílio. Estudo da metodologia do teste de atividade metanogênica específica. 1994. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

“Reatores anaeróbios”; autor Chernicharo, página 105.

SCHÜTTE, Artur Friedrich Dufrayer. O segmento do biogás em foco: discussão das políticas públicas do Brasil e do mundo. 2017.

# SOBRE OS ORGANIZADORES

FAPEMIG

SYNAPSE Editora

Compartilhando conhecimento

# CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

***Claudiomir da Silva dos Santos:***

*Técnico em Agropecuária pelo IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes, graduação em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Biologia pelo UNICLAR e Pedagogia pela UNINTER, Doutorado em Promoção da Saúde pela Universidade de Franca - UNIFRAN, Mestrado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, pós-graduado em Sistema de Gestão Ambiental, Educação para o Campo, Educação Ambiental, Auditoria e Pericia Ambiental, Vigilância em Saúde Ambiental. Foi professor de graduação e pós-graduação na UVA e UECE - CE. Atua nas áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais com trabalhos publicados nestas áreas do conhecimento. Foi professor da UNINCOR e FACICA, nos cursos de Agronomia, Gestão ambiental, Biologia e Química. Em 2008 assumiu o cargo de professor do IFSULDEMINAS, Campus Muzambinho em regime DE, atuando nos cursos Técnicos de Agropecuária, Meio Ambiente, Cafeicultura, Curso Superior de Agronomia, Líder do Grupo de Pesquisa Ciências Ambientais do CNPQ. Coordenador do Projeto Rondon IFSULDEMINAS, Campus Muzambinho, atualmente atua como Coordenador do Curso Técnico de Meio Ambiente do IFSULDEMINAS Campus Muzambinho, Membro do Fórum Mineiro de Combate ao Agrotóxico-FMCA, Membro do Comitê de Bacia Hidrográfica Mogi-Pardo CBH GD6, Membro da Comissão Organizadora do Simpósio de Hidrologia Médica, Águas Termais, Minerais e Naturais de Poços de Caldas, Membro do Comitê Cientifico da Rede de Pesquisa em Desenvolvimento Resiliente ao Clima RIPEDRC e do Environmental Resilience Research and Science (IJERRS) e Presidente da Comissão Técnica do Congresso Nacional de Meio Ambiente.*

***claudiomirsilvasantos@gmail.com***

***Fabrício dos Santos Ritá:***

*Possui formação Técnica em Enfermagem e em Segurança do Trabalho. Bacharel e Licenciado em Enfermagem. Licenciado em Ciências Biológicas. Licenciado em Pedagogia. Graduando em Jornalismo. Especialista em Enfermagem do Trabalho (UNIUBE), Educação ambiental (UFLA), Gestão Ambiental (CLARENTIANO), Gestão Escolar e Coordenação Pedagógica (UNIFAVENI). Mestre em Biotecnologia aplicada à Saúde (UNAERP). Doutor em Promoção de Saúde pela UNIFRAN (Universidade de Franca). Presidente da Comissão Organizadora do Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas e do Membro da Comissão Técnico Científica do Congresso de Educação de Poços de Caldas. Atua como docente no IFSULDEMINAS/Campus de Muzambinho desenvolvendo ações profissionais nas temáticas de saúde, segurança e meio ambiente. Entre as metodologias instituídas em sua prática de ensino implementa a ênfase de atividades relacionadas a prevenção de*

# CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

*riscos, minimização de patologias ocupacionais, caracterização entre ambiente de trabalho, ecologia e harmonização entre homem e natureza, bem como o uso racional das tecnologias e da saúde laborativa. Busca identificar e estreitar as inter-relações entre as mudanças climáticas e os efeitos sobre a saúde dos trabalhadores. Leciona nos cursos de Enfermagem, Vigilância em Saúde, Urgência e Emergência, Enfermagem do Trabalho, Segurança do Trabalho e Meio Ambiente. Membro do Comitê Científico da Climate Resilient Research Network (RIPEDRC) e Pesquisa e Ciência em Resiliência Ambiental (IJERRS) e Membro do Fórum Mineiro de Combate aos Agrotóxicos (FMCA).*

***fabriciosantosrita@gmail.com***

### *Valquíria Mikaela Rabelo*

*Bióloga, Pedagoga, Especialista em Design Instrucional, Especialista em Biologia Molecular e Genética e Mestre em Ciências Ambientais. Tem experiência nas áreas de educação e biologia, tendo atuação nos segmentos de gestão, metodologias de ensino, currículo, tecnologias de informação e comunicação na educação, bioquímica, fisiologia, biologia molecular, genética, meio ambiente e agricultura sustentável.*

***valquiriamrabelo@hotmail.com***

### *Leandro Gustavo Silva*

*Possui graduação em Química - Bacharelado e Licenciatura pela Universidade Federal de Uberlândia(2006), concluiu seu Mestrado(2008) e Doutorado(2014) pelo Programa de Pós Graduação em Química na mesma Instituição de ensino. Tem experiência atuando principalmente nos seguintes temas: aproveitamento de resíduos agroindustriais como o bagaço de cana de açúcar com o objetivo de elaborar novos materiais, derivatização química de ligninas extraidas de biomassa lignocelulósica , estudo fotoquímico e fotofísico de compostos curcuminóides e aplicação de antioxidantes curcuminóides na produção de biodiesel visando melhora na estabilidade oxidativa . Atualmente é professor EBTT de Química no IFSULDEMINAS- Câmpus Muzambinho. Faz parte da comissão técnica científica do Congresso Nacional do Meio Ambiente de Poços de Caldas (CNMA- Poços de Caldas) e Coordenador do Núcleo Institucional de Pesquisa e Extensão (NIPE).*

***leandro.silva@muz.ifsuldeminas.edu.br***

# CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

***Hernani Ciro Santana***

*Doutor em Ciências Humanas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (2013). Especialista em Docência do Ensino Superior pela Universidade Vale do Rio Doce (2018). Gestão Ambiental pela Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde (2010). Professor da Universidade Vale do Rio Doce e Coordenador do Curso de Engenharia Civil e Ambiental. Ministra as disciplinas Saneamento e Meio Ambiente, Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Sistema de Gestão Ambiental para os cursos de graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental e Arquitetura e Urbanismo. Coordena o LEAS (Laboratório Cidadão de Ecologia do Adoecimento e Saúde dos Territórios). É professor pesquisador do Núcleo de Ciências e Tecnologia da Universidade do Vale do Rio Doce onde integra o corpo docente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão Integrada do Território (GIT). Integrante do Instituto de Pesquisas em Riscos e Sustentabilidade - IRIS/UFSC. Presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Suaçui - (CBH-Suaçui) e membro do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce) . Tem experiência na área de Ciências Ambientais, com ênfase em gestão ambiental e análise social de riscos.*

***hernanicsantana@gmail.com***

***Gilcean Silva Alves***

*Licenciado em Biologia pela Universidade Federal da Paraíba (1993), Especialização em Pesquisa, mestrado em Desenvolvimento e Meio A mbiente pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (2002) e doutorado em Agronomia (área de Ecologia e Conservação do meio ambiente) pela Universidade Federal da Paraíba (2012). Atualmente sou Professor efetivo do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos e Tecnologia em Agroecologia do IFPB Campus Sousa e Professor credenciado ao Programa de Pós Graduação Strincto Sensu (Mestrado) em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT). Desenvolvo pesquisas na área de Ecologia do Semiárido, arborização urbana e Microbiologia geral.*

***gilcean.alves@ifpb.edu.br***

# CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

***Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido***

*Professor Doutor do Instituto Federal de Educação do Sul de Minas (IFSULDEMINAS) - Campus Muzambinho na área de Engenharia Agrícola/Agrometeorologica/ Climatologia agrícola. Bolsista produtividade em Pesquisa do CNPq. Responsável pelo Laboratório de Agrometeorologia do IFSULDEMINAS Campus Muzambinho. Doutor e Mestre em Agrometeorologia/Climatologia Agrícola - UNESP Jaboticabal. Engenheiro Agrônomo e Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - Campus Muzambinho, MG. Licenciatura em Biologia pela Claretiano - BATATAIS/SP (2019). Editor Associado da Revista Brasileira de Meteorologia (RBMET). Tem experiência em publicação de artigos em revistas internacionais e em Desenvolvimento Tecnológico, principalmente no desenvolvimento e registro de softwares e aplicativos no INPI. Desenvolvedor do Software SYSWAB-System for Water Balance (INPI: BR512014001349-9), de gerenciamento de estações agrometeorologicas, atualmente implantado na Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé-COOXUPÉ e Desenvolvedor do aplicativo mobile IF-CLIMA de monitoramento climático atualmente implantado na COPASUL - Cooperativa Sul Matogrossense. Colabora como revisor em periódicos indexados em nível nacional e internacional. É consultor ad-hoc em projetos de pesquisa e em bancas de concursos públicos. Tem participado em bancas de mestrado e doutorado, trabalhos de conclusão de curso e salão de iniciação científica. Atua como pesquisador/professor na orientação e coorientação de alunos de iniciação científica tanto para bolsistas PIBIC/CNPq quanto para alunos que cumprem os créditos de estagiário obrigatório (IFMS/PIBIC-Jr) e pós-graduação em nível de Mestrado e Doutorado. Tem projetos aprovados na FAPESP, FUNDECT, FAPEMIG, SETEC-MEC, IFES e CNPq. Foi professor/colaborador do mestrado da UNIFENAS. Na graduação ministra aulas nas disciplinas: Agrometeorologia; Topografia; Experimentação Agronômica. No Lato sensu ministra a disciplina de "Metodologia Pesquisa Científica III" na PÓS-GRADUAÇÃO Lato sensu EM BIOÉTICA. No Stricto sensu é professor permanente do Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos do IFSULDEMINAS, ministrando a disciplina Modelagem estatística. Produtor de café na região sul de Minas Gerais*

***lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br***

# CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

***Rosângela Francisca de Paula Vítor Marques***

*Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras (2007) e mestrado (2011) e doutorado em RECURSOS HÍDRICOS EM SISTEMAS AGRÍCOLAS pela Universidade Federal de Lavras (2014) e licenciatura em Geografia (2022) pela Faculdade Única. Minha atuação profissional tem se baseado no ensino e pesquisa na área de recursos hídricos e meio ambiente, saneamento ambiental, qualidade de água, tratamento de efluentes e resíduos sólidos. Projetos em andamento: i) Aspectos Estratégicos da Sustentabilidade; ii) Avaliação da eficiência de banhados naturais e de sistemas construídos no pós - tratamento do chorume; iii) Avaliação e proteção dos recursos hídricos; iv) Fitorremediação; v) Diagnóstico e soluções alternativas de Saneamento e Saúde Ambiental; vi) Tratamento descentralizado de águas residuárias pela associação entre tanque séptico e wetlands; vii) Saúde pública e saneamento ambiental: soluções para o planejamento; viii) Insetos e Bioindicadores de solo e água: levantamento, identificação, flutuação populacional e ambiente SIG; ix) Simulação Hidrológica em pequenas bacias hidrográficas na região do Rio Verde; x) Simulação hidrológica e climática na região sul de Minas Gerais como função do uso do solo e mudanças climáticas, xi) Tratamento de água e águas residuárias. No contexto de ensino: i) Disciplinas Poluição Ambiental; Tratamento de resíduos sólidos, líquidos, gasosos e industriais, saneamento ambiental, para os cursos de engenharia ambiental e sanitária, Gestão de Resíduos Sólidos, Sistemas de Abastecimento de água e esgoto para o curso de Engenharia Civil, Silvicultura para o curso de agronomia da UninCor; ii) Docente integral no Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Saúde (Saneamento e saúde, Tratamento de efluentes líquidos, Princípios da Modelagem e controle da qualidade da água superficial, Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos). iii) Docente voluntária no IF Sul de Minas - Campus Muzambinho, no curso técnico de meio ambiente EAD na disciplina Tratamento de resíduos sólidos e líquidos. iv) Professora pesquisadora na UFMG, com a co-coordenação de grupo de estudo e projetos de extensão.*

***rosangela.marques@unincor.edu.br***

21º CONGRESSO NACIONAL DE
MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

# EXTREMOS CLIMÁTICOS IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

Realização

GSC Eventos Especiais
a grife de sucesso em eventos

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais
Campus Muzambinho

Apoio

FAPEMIG

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento