



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ELAINE CRISTINA DA SILVA CUNHA SANTOS**

**INFLUÊNCIAS DOS AEROSSÓIS NAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM DOIS BIOMAS DE MATO  
GROSSO**

**CUIABÁ - MT**  
**2025**

ELAINE CRISTINA DA SILVA CUNHA SANTOS

**INFLUÊNCIAS DOS AEROSSÓIS NAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM DOIS  
BIOMAS DE MATO GROSSO**

*Dissertação apresentada ao curso de  
Pós-Graduação em Física Ambiental da  
Universidade Federal de Mato Grosso  
como requisito parcial para a obtenção do  
título de mestre em Física Ambiental.*

*Orientador: Profº Dr Leone Francisco  
Amorim Curado*

**CUIABÁ-MT  
2025**

### Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S237i Santos, Elaine Cristina da Silva Cunha.

Influências dos aerossóis nas doenças respiratórias em dois biomas de Mato Grosso [recurso eletrônico] / Elaine Cristina da Silva Cunha Santos. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 55 f., il. color., pdf). -- 2025.

Orientador: Leone Francisco Amorim Curado.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2025.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Aerossóis. 2. Queimadas. 3. Doenças respiratórias.. I. Curado, Leone Francisco Amorim, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: INFLÊNCIA DOS AEROSSÓIS NAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM DOIS BIOMAS DE MATO GROSSO**

**AUTORA: MESTRANDA ELAINE CRISTINA DA SILVA CUNHA SANTOS**

Dissertação defendida e aprovada em **15 de dezembro de 2025**.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

**1. PROF. DR. LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO** [Presidente Banca / **Orientador**]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

**2. PROF. DR. JOÃO BASSO MARQUES** [Examinador Interno]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

**3. PROF. DR. MARCELO PAES DE BARROS** [Examinador Externo]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

**CUIABÁ, 15/12/2025.**



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES**, **Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 15/12/2025, às 17:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 15/12/2025, às 19:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOÃO BASSO MARQUES**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 17/12/2025, às 13:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO PAES DE BARROS**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/03/2026, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **8724923** e o código CRC **BAB12164**.

---

## **DEDICATÓRIA**

*A Deus, primeiramente, por estar ao meu lado em todos os momentos. À minha família, pelo amor e apoio incondicional especialmente ao meu companheiro de longas datas, Geraldo Duarte, aos meus filhos Isabelle e Rafael, minha mãe pelo incentivo de nunca desistir. À minha avó in memoriam, que sempre me dizia “O estudo é algo que ninguém pode tirar de você”.*

## AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente a Deus, pela força, proteção e sabedoria concedidas em todos os momentos desta caminhada.
- Ao Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado, pela orientação, paciência, dedicação e por todo o conhecimento compartilhado ao longo desta jornada.
- Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), pela atenção, incentivo e comprometimento com o programa e com os discentes.
- À Soilce, pela cordialidade, paciência e pela eficiência no trabalho desenvolvido na secretaria do Programa De Pós-Graduação.
- Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da UFMT, pelo valioso ensinamento, pela troca de experiência e por contribuírem para minha formação acadêmica e pessoal.
- Às equipes gestoras do meu local de trabalho, pela compreensão, apoio e incentivo nos momentos em que precisei me ausentar em razão das demandas do mestrado.
- Um agradecimento especial ao Wenderson, colega que apresentou o curso de mestrado e me incentivou desde o início a ingressar nesta jornada, por acreditar em meu potencial.
- Aos colegas da pós-graduação, pela parceria e amizade durante todo o percurso. Em especial, ao Sr. Roberto Torma, por toda ajuda, paciência e dedicação, pelas contribuições nesta pesquisa. Sua colaboração foi essencial para que essa dissertação se tornasse possível, e minha gratidão vai muito além do que palavras podem expressar.
- Agradeço também o André Matheus, Thamiris Amorim, Gustavo por compartilharem com generosidade os seus conhecimentos e experiências em áreas que eu inicialmente desconhecia ou dominava pouco. Cada contribuição, troca e conversa foi essencial para o meu aprendizado e crescimento durante o curso.

## EPÍGRAFE

*“A atmosfera é a fina película que sustenta a vida; qualquer alteração em seu equilíbrio afeta todos os seres que dela dependem.”*  
**(Artaxo, 2019)**

## RESUMO

Os biomas de Mato Grosso, Cerrado, Pantanal e Amazônia, abrigam rica biodiversidade com relevância ambiental, mas enfrentam as queimadas, sobretudo durante o período seco. As queimadas liberam grandes quantidades de aerossóis atmosféricos, que comprometem a qualidade do ar e afetam a saúde humana. Esta pesquisa teve como objetivo analisar os efeitos da exposição a aerossóis atmosféricos provenientes de queimadas na incidência de doenças respiratórias em duas cidades mato-grossenses: Alta Floresta, localizada ao sul da Amazônia Legal e Cuiabá, situada em área de transição entre a Amazônia e o Cerrado, predominância do bioma Cerrado. A análise foi realizada referentes ao período 2011 a 2024, definido a partir da disponibilidade pública das informações de saúde.. Foram utilizados dados ambientais de aerossóis (AOD), focos de queimadas, variáveis meteorológicas e internações hospitalares. Os resultados revelam que os picos de internações coincidem com os meses de maior ocorrência de queimadas e menor umidade relativa do ar (agosto a outubro). Alta Floresta apresentou maior variabilidade de AOD e número de focos de queimadas, enquanto Cuiabá registrou maior volume de internações. A análise de Componentes Principais (PCA) indicou forte associação entre alta temperatura, baixa umidade e aumento de internações, demonstrando que o impacto dos aerossóis sobre a saúde ocorre de forma integrada às condições meteorológicas regionais. Portanto, o controle das queimadas e o monitoramento contínuo da qualidade do ar são essenciais para reduzir os efeitos das doenças respiratórias. Este estudo contribui diretamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, sobretudo o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao abordar as emissões de aerossóis provenientes de queimadas e seus impactos atmosféricos, e o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao evidenciar a relação entre a qualidade do ar e a incidência de doenças respiratórias na população.

**Palavras Chave:** aerossóis, queimadas, doenças respiratórias.

## **ABSTRACT**

The biomes of Mato Grosso, Cerrado, Pantanal, and Amazon harbor rich biodiversity with environmental relevance, but face wildfires, especially during the dry season. Wildfires release large quantities of atmospheric aerosols, which compromise air quality and affect human health. This research aimed to analyze the effects of exposure to atmospheric aerosols from wildfires on the incidence of respiratory diseases in two cities in Mato Grosso: Alta Floresta, located in the southern Legal Amazon, and Cuiabá, situated in a transition area between the Amazon and the Cerrado, with a predominance of the Cerrado biome. The analysis was performed using data from 2011 to 2024. Environmental data on aerosols (AOD), wildfire hotspots, meteorological variables, and hospitalizations were used. The results reveal that the peaks in hospitalizations coincide with the months of highest wildfire occurrence and lowest relative air humidity (August to October). Alta Floresta showed greater variability in AOD (Aerosol Deficiency) and number of fire outbreaks, while Cuiabá recorded a higher volume of hospitalizations. Principal Component Analysis (PCA) indicated a strong association between high temperature, low humidity, and increased hospitalizations, demonstrating that the impact of aerosols on health occurs in an integrated manner with regional meteorological conditions. Therefore, controlling wildfires and continuously monitoring air quality are essential to reduce the effects of respiratory diseases. This study directly contributes to the fulfillment of the Sustainable Development Goals, especially SDG 13 (Climate Action), by addressing aerosol emissions from wildfires and their atmospheric impacts, and SDG 3 (Good Health and Well-being), by highlighting the relationship between air quality and the incidence of respiratory diseases in the population.

**Keywords:** aerosols, wildfires, respiratory diseases.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Biomassas de Mato Grosso                                                | 19 |
| Figura 2 Comparação do tamanho do Material Particulado                           | 21 |
| Figura 3 Material particulado da queima de biomassa agrava doenças respiratórias | 22 |
| Figura 4 Área de Estudo                                                          | 25 |

## LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO

|                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Localização dos municípios de Cuiabá e Alta Floresta, no estado de Mato Grosso, Brasil -----                                                                                                                                       | 34 |
| Figura 2- Representação esquematizada dos processos de emissão, transporte e deposição de material particulado fino (PM <sub>2.5</sub> ) proveniente da queima de biomassa e sua inalação pelo sistema respiratório -----                     | 36 |
| Figura 3 –Variação anual de Temperatura Média (°C) e Umidade Relativa do Ar em Cuiabá-Período Seco -----                                                                                                                                      | 40 |
| Figura 4 –Variação anual de Temperatura Média (°C) e Umidade Relativa do Ar em Cuiabá-Período Chuvoso -----                                                                                                                                   | 40 |
| Figura 5 –Variação anual de Temperatura Média (°C) e Umidade Relativa do Ar em Alta Floresta-Período Seco -----                                                                                                                               | 41 |
| Figura 6 –Variação anual de Temperatura Média (°C) e Umidade Relativa do Ar em Alta Floresta-Período Chuvoso -----                                                                                                                            | 42 |
| Tabela 1 – Média das doenças respiratórias por períodos seco e úmido-----                                                                                                                                                                     | 43 |
| Figura 7- Variação sazonal das internações por doenças respiratórias no período de 2011 a 2024 -----                                                                                                                                          | 43 |
| Figura 8 – Diferenças sazonais nas cargas das variáveis ambientais (AOD, temperatura e umidade relativa) e das doenças respiratórias (asma, bronquite, DPOC, pneumonia e sinusite) entre os períodos seco (ago–out) e chuvoso (nov–mar) ----- | 45 |
| Figura 9-Comparação das principais doenças respiratórias entre Cuiabá e Alta Floresta (2011–2024), indicando maior frequência de internações na capital e maior variabilidade interanual em Alta Floresta-----                                | 45 |
| Figura 10 – Variação temporal da profundidade óptica dos aerossóis (AOD) e das variáveis climáticas em Cuiabá e Alta Floresta (2011–2024) -----                                                                                               | 46 |
| Figura 11 – Variação temporal da profundidade óptica dos aerossóis (AOD) entre 2011 e 2024 -----                                                                                                                                              | 46 |
| Figura 12 – Distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em Cuiabá – Mato Grosso entre 2011 e 2024 -----                                                                                                                           | 47 |

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 13 – Distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em Alta Floresta – Mato Grosso entre 2011 e 2024 -----                                                        | 48 |
| Figura 14 – Correlação linear de Pearson entre variáveis ambientais (AOD, temperatura e umidade relativa) e indicadores de morbidade respiratória em Cuiabá e Alta Floresta ----- | 49 |
| Figura 15 – Resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada às variáveis meteorológicas, atmosféricas e de saúde (PC1 e PC2) -----                                 | 50 |
| Figura 16 – Análise de sensibilidade demonstrando as variáveis meteorológicas mais influentes na variância explicada do modelo -----                                              | 51 |
| Figura 17 – Cargas fatoriais obtidas na Análise de Componentes Principais (PCA) -----                                                                                             | 51 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AERONET- Aerossol Robotic Network

AM- Clima Tropical de Savana

AOD- Profundidade Óptica do Aerossol

AW- Clima de Monção

CO- Gás Carbônico

DPOC- Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET- Instituto Nacional Meteorologia

INPE- Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change

NOx- Óxidos de Nitrogênio

PC1- Primeiro Componente Principal Unidade do ar e Temperatura

PC2- Segundo Componente Principal Temperatura Média e Mínima

PC3- Terceiro Componente Principal AOD e Focos de Queimadas

PC4- Quarto Componente Principal AOD e Umidade do ar Mínima

PCA- Análise de Componentes Principais

PM- Material Particulado

UFMT- Universidade Federal de Mato Grosso

# Sumário

|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1- Introdução.....</b>                                                                                | <b>16</b> |
| <b>2. Objetivos.....</b>                                                                                 | <b>18</b> |
| 2.1 Objetivo Geral.....                                                                                  | 18        |
| 2.2 Objetivos Específicos.....                                                                           | 18        |
| <b>3. Revisão de Literatura .....</b>                                                                    | <b>19</b> |
| 3.1 Amazônia e Cerrado.....                                                                              | 19        |
| 3.2 Aerossóis Atmosféricos.....                                                                          | 20        |
| 3.3 Doenças respiratórias.....                                                                           | 21        |
| 3.4 Análise de Componentes Principais (PCA).....                                                         | 23        |
| <b>4. Material e Métodos .....</b>                                                                       | <b>24</b> |
| 4.1 Área de Estudo.....                                                                                  | 24        |
| 4.1.1 Cuiabá .....                                                                                       | 25        |
| 4.1.2 Alta Floresta.....                                                                                 | 26        |
| 4.1.3 Cuiabá X Alta Floresta.....                                                                        | 26        |
| 4.2 Fontes de dados e períodos de estudo.....                                                            | 27        |
| 4.3 Tratamento e organização dos dados .....                                                             | 28        |
| 4.4 Análises estatísticas e multivariadas .....                                                          | 28        |
| 4.5 Análises descritivas e de correlação.....                                                            | 29        |
| 4.6 Análise de Componentes Principais (PCA).....                                                         | 29        |
| 4.7 Análise de sensibilidade e remoção variáveis .....                                                   | 30        |
| <b>5- ARTIGO: INFLUÊNCIAS DOS AEROSSÓIS NAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM DOIS BIOMAS DE MATO GROSSO.....</b> | <b>31</b> |
| Resumo.....                                                                                              | 31        |
| 5.1 Introdução.....                                                                                      | 31        |
| 5.2 Materiais e Métodos.....                                                                             | 34        |
| 5.2.1 Área de Estudo.....                                                                                | 34        |
| 5.2.2 Cuiabá.....                                                                                        | 35        |
| 5.2.3 Alta Floresta.....                                                                                 | 35        |
| 5.2.4 Cuiabá x Alta Floresta.....                                                                        | 36        |
| 5.3 Metodologia.....                                                                                     | 37        |
| 5.3.1 Fontes de dados e períodos de estudo.....                                                          | 37        |
| 5.3.2 Tratamento e organização dos dados.....                                                            | 37        |
| 5.3.3 Análises estatísticas e multivariadas.....                                                         | 38        |
| 5.3.4 Análises descritivas e de correlação.....                                                          | 38        |
| 5.3.5 Análise de Componentes Principais (PCA).....                                                       | 38        |
| 5.3.6 Análise de sensibilidade e remoção de variáveis.....                                               | 38        |
| 5.4 Resultados e Discussão.....                                                                          | 39        |
| 5.4.1 Comportamento Sazonal das Variáveis Ambientais e Epidemiológicas.....                              | 39        |
| 5.4.1.1 O cenário de Cuiabá.....                                                                         | 39        |
| 5.4.1.2 O cenário de Alta Floresta.....                                                                  | 42        |
| 5.4.1.3 Discussão Epidemiológica.....                                                                    | 43        |
| 5.4.2 Doenças respiratórias.....                                                                         | 43        |
| 5.4.3 Análise Sazonal e PCA das Doenças Respiratórias.....                                               | 44        |

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4.4 Aerossóis (AOD).....                                        | 47        |
| 5.4.5 Focos de Queimadas.....                                     | 48        |
| 5.4.6 Correlação e Análise de Comportamento Principais (PCA)..... | 48        |
| 5.5 Conclusão.....                                                | 52        |
| <b>6. Conclusão Geral.....</b>                                    | <b>52</b> |
| <b>7. Referências Bibliográficas.....</b>                         | <b>54</b> |

## **1- Introdução**

O Estado de Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, destaca-se por sua ampla extensão territorial e pela diversidade ambiental representada pelos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal. Essa heterogeneidade ecológica e climática confere ao estado um papel central nos processos atmosféricos da América do Sul, influenciando diretamente a emissão, o transporte e a deposição de partículas em suspensão. Estudos como o de (Romera et al., 2019) demonstram que as propriedades ópticas dos aerossóis variam significativamente entre os biomas Amazônico e Cerrado, refletindo padrões distintos de cobertura vegetal, sazonalidade e intensidade das queimadas.

Os aerossóis atmosféricos são constituintes essenciais da dinâmica climática e da qualidade do ar, sendo formados por partículas sólidas e líquidas com diâmetros que variam de nanômetros a dezenas de micrômetros. Sua origem pode ser natural resultante de processos como suspensão de poeira ou emissão de aerossóis ou antrópica, associada principalmente à queima de biomassa, emissões industriais e fontes veiculares (Seinfeld; Pandis, 2016). No Mato Grosso, a queima de vegetação nativa e resíduos agrícolas constitui a principal fonte antrópica de aerossóis, especialmente durante o período seco, quando a baixa umidade relativa do ar, as temperaturas elevadas e a expansão agropecuária favorecem a intensificação dos focos de calor e o acúmulo de partículas na atmosfera.

A emissão de aerossóis derivados das queimadas afeta tanto o clima regional quanto a saúde humana. Essas partículas alteram a propagação da radiação solar ao modificar processos de absorção e dispersão, contribuindo para mudanças no balanço radiativo local. Do ponto de vista da saúde, o material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) é especialmente preocupante, pois possui elevada capacidade de penetração no trato respiratório inferior, podendo alcançar os alvéolos pulmonares e desencadear respostas inflamatórias. Evidências científicas indicam que a exposição prolongada a essas partículas está associada ao agravamento de doenças respiratórias, principalmente durante períodos de intensa atividade de queimadas (Carmo et al., 2010), reforçando o impacto dos aerossóis sobre populações vulneráveis.

A sazonalidade climática de Mato Grosso exerce influência direta sobre a concentração de aerossóis. Durante os meses de agosto a outubro (período seco) observa-se aumento expressivo da carga de partículas, favorecido pela escassez de precipitação e pela intensificação das queimadas. Em contraste, nos meses de novembro a março, correspondentes ao período chuvoso, a precipitação mais frequente promove a remoção das partículas atmosféricas por deposição úmida, resultando em melhoria da qualidade do ar. Avaliações como as realizadas por (Silva et al., 2025) destacam a importância de se considerar a variabilidade sazonal na investigação dos impactos ambientais e climáticos dos aerossóis no Cerrado mato-grossense, reforçando a pertinência de comparações entre os períodos seco e chuvoso.

Apesar dos avanços no entendimento dos processos atmosféricos e dos efeitos dos aerossóis na saúde humana, ainda são limitados os estudos que integram, de forma sistemática, variáveis ambientais e dados de internações hospitalares em escala regional. A carência de pesquisas que abordem simultaneamente a variabilidade dos aerossóis, fatores meteorológicos e ocorrências de doenças respiratórias evidencia uma escassez de estudos no contexto de Mato Grosso. Assim, esta dissertação busca suprir essa lacuna ao investigar a influência dos aerossóis nas doenças respiratórias nos biomas Amazônico e Cerrado, representados pelos municípios de Alta Floresta e Cuiabá, respectivamente. Os resultados obtidos têm potencial para subsidiar políticas públicas e estratégias de gestão ambiental voltadas à mitigação dos efeitos da poluição atmosférica na saúde coletiva.

Dessa forma, o objetivo geral desta dissertação é correlacionar a influência dos aerossóis nas doenças respiratórias em dois biomas de Mato Grosso, representados pelos municípios de Cuiabá (bioma Cerrado) e Alta Floresta (bioma Amazônia), no período de 2011 a 2024. Especificamente, pretende-se:

(i) caracterizar a variabilidade temporal e espacial dos aerossóis por meio da profundidade óptica (AOD);

(ii) analisar a relação entre variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade relativa, e a concentração de aerossóis;

(iii) identificar as doenças respiratórias mais incidentes nos períodos seco e chuvoso; e

(iv) analisar, por meio da técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) as inter-relações entre as variáveis ambientais e hospitalares.

Esta dissertação está organizada em quatro capítulos. O primeiro apresenta a introdução geral do tema e os objetivos da pesquisa. O segundo capítulo compreende a revisão sistemática da literatura, que aborda os estudos mais recentes sobre aerossóis, queimadas e doenças respiratórias. O terceiro capítulo contém o artigo científico intitulado “Influência dos aerossóis nas doenças respiratórias em biomas de Mato Grosso”, elaborado conforme as normas do periódico ao qual foi submetido. Por fim, o quarto capítulo apresenta as conclusões gerais, destacando as principais contribuições e perspectivas futuras de pesquisa.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência dos aerossóis provenientes de queimadas sobre a incidência de doenças respiratórias nas regiões da Amazônia (Alta Floresta) e da Baixada Cuiabana.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar a variação temporal das queimadas e das concentrações de aerossóis no período de estudo;
- Analisar a correlação entre a ocorrência de queimadas, a concentração de aerossóis e os casos de doenças respiratórias nas áreas selecionadas;
- Avaliar a influência das variáveis meteorológicas (umidade do ar e temperatura do ar) na variação dos índices de doenças respiratórias;

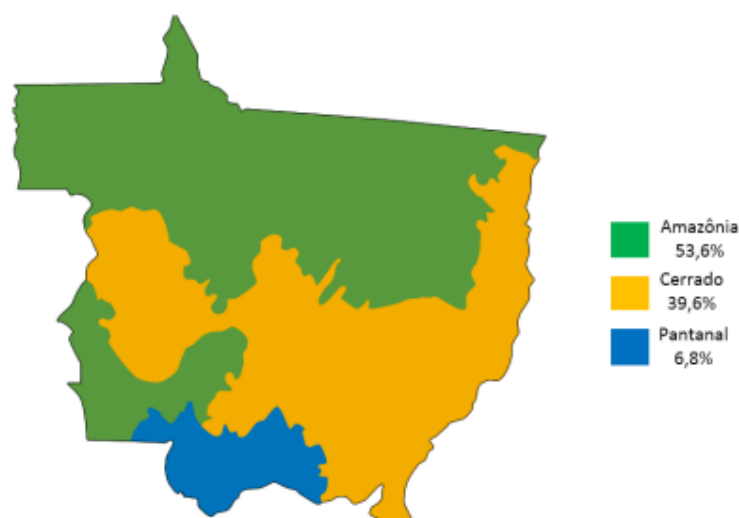
- Identificar períodos críticos de exposição atmosférica associados a maior incidência de doenças respiratórias.

### 3. Revisão de Literatura

#### 3.1 Amazônia e Cerrado

O Estado de Mato Grosso, caracteriza-se pela presença de três biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal (figura 1). Dentre esses, Amazônia e Cerrado foram selecionados como áreas de estudos por apresentarem características ambientais que influenciam diretamente a ocorrência de queimadas e a emissão de aerossóis (Artaxo, 2019; INPE.2024).

Figura 1 Biomas de Mato Grosso



Fonte: Mato Grosso (2013), adaptado por PPCDIF/MT (2017/2020).

O cerrado, predominante na região Centro-Sul do estado, é considerado a savana mais rica em biodiversidade do mundo, com vegetação composta por gramíneas, arbustos e árvores esparsas, adaptadas a solos ácidos e pobres em nutrientes. Apresenta uma estação seca bem definida, geralmente entre maio e setembro, o que aumenta a suscetibilidade às queimadas naturais e antrópicas (Freitas et al., 2005; Pivello et al., 2021). As queimadas nesse bioma são frequentemente utilizadas na limpeza de áreas agrícolas e na manutenção de pastagens, liberando grandes quantidades de material particulado fino e gases traço na atmosfera (Aragão et al., 2018).

Em contraste, a região Norte do estado, inserida no bioma Amazônia, é caracterizada por florestas densas, alta biodiversidade e regime pluviométrico intenso, com chuvas concentradas nos meses de outubro a março. Apesar da menor ocorrência natural de incêndios, áreas de fronteira agrícola sofrem impactos significativos de queimadas sazonais, que liberam carbono negro, carbono orgânico e gases traço (Artaxo; Andrade, 2013; Reid et al., 2016). O regime de alta umidade influencia a dispersão e a transformação química dos aerossóis emitidos, alterando sua composição e tempo de residência na atmosfera (Martins et al., 2018).

Compreender as diferenças entre esses biomas em termos de emissão, transporte e dispersão de partículas atmosféricas é essencial para avaliar os potenciais impactos sobre a saúde respiratória das populações expostas, servindo como referência para a análise das áreas de estudo em Mato Grosso.

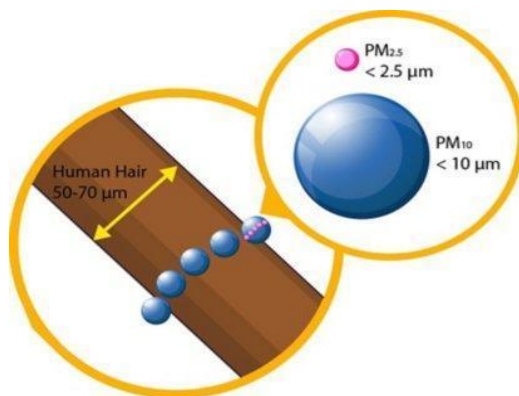
### **3.2 Aerossóis Atmosféricos**

Os aerossóis<sup>1</sup> atmosféricos correspondem a partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, com tamanho que pode variar de nanômetros a dezenas de micrômetros (figura 2). Esses constituintes têm múltiplas origens, podendo ser naturais ou antropogênicas, provenientes da queima de combustíveis fósseis, processos industriais, atividades agrícolas e queimadas (Seinfeld; Pandis, 2016).

---

<sup>1</sup> Aerossóis são partículas sólidas e/ou líquidas suspensas na atmosfera, de origem natural ou antrópica, capazes de influenciar processos climáticos e a qualidade do ar.

Figura 2 Comparação do tamanho do Material Particulado



Fonte: Metrohm ([202-?]).

A literatura destaca que os aerossóis desempenham papel fundamental tanto no sistema climático, influenciando o balanço radiativo<sup>2</sup> da Terra e a formação de nuvens (IPCC, 2021), quanto na saúde humana, uma vez que a inalação de material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>) está associada ao aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares (Artaxo et al., 2019).

No contexto brasileiro, a emissão de aerossóis provenientes de queimadas na Amazônia e no Cerrado é uma das principais preocupações ambientais, devido ao impacto regional na qualidade do ar e as consequências para a saúde pública (Andreae; Rosenfeld; Artaxo. 2004).

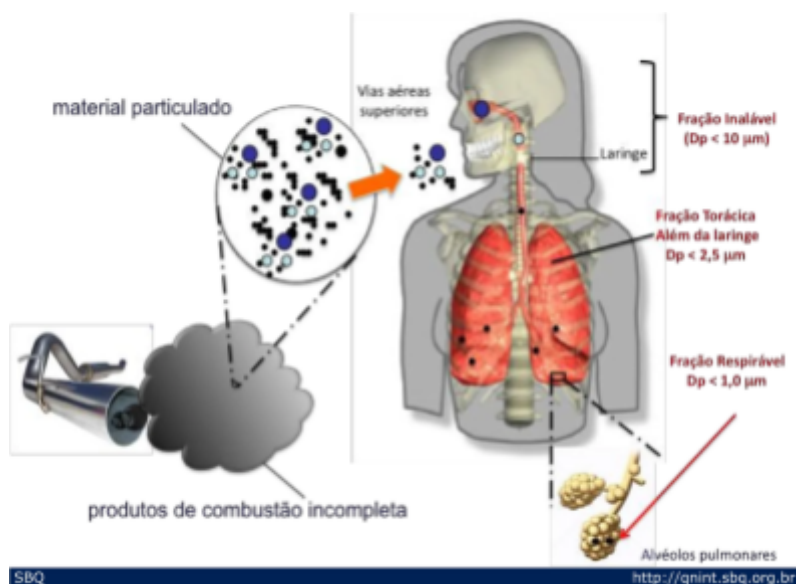
### 3.3 Doenças respiratórias

A exposição a aerossóis provenientes das queimadas tem sido amplamente associada ao aumento da incidência de doenças respiratórias na população humana. As Partículas finas (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>) podem penetrar profundamente no trato respiratório, (Figura 3) atingindo os alvéolos pulmonares e desencadeando respostas inflamatórias que agravam condições preexistentes, como asma, bronquite e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) (Artaxo,2019; Silva Dias; Longo Freitas,2019).

---

<sup>2</sup> Balanço radioativo é a diferença entre a radiação solar que chega à superfície e a radiação que é refletida ou emitida de volta para a atmosfera e para o espaço. Esse balanço determina o ganho ou perda de energia no sistema climático e influencia a temperatura do ar, processos atmosféricos e formação de aerossóis.

Figura 3 Material particulado da queima de biomassa agrava doenças respiratórias



Fonte: Sociedade Brasileira de Química ([202-?]).

Estudos realizados no Brasil demonstram que períodos de maior intensidade de queimadas coincidem com aumento de internações hospitalares e atendimentos de urgência relacionados a problemas respiratórios, especialmente entre crianças, idosos e indivíduos com doenças crônicas (Freitas et al., 2025; Fires et al., 2020). Além disso, a combinação de partículas e gases traço<sup>3</sup> liberados durante as queimadas, como monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) potencializa os efeitos adversos de monitoramento e mitigação da poluição atmosférica.

Compreender os efeitos dos aerossóis sobre a saúde respiratória fornece o embasamento teórico necessário para análise dos dados de exposição e morbidade coletados nas áreas estudadas do Estado de Mato Grosso.

### 3.4 Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais é uma técnica estatística multivariada amplamente utilizada para reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados que apresentam grande número de variáveis inter-relacionadas. O método busca identificar

<sup>3</sup> Gases-traço são gases presentes na atmosfera em baixas concentrações, mas que desempenham papéis importantes em processos químicos, físicos e climáticos.

padrões, correlações e estruturas internas nos dados, transformando as variáveis originais em um novo conjunto de eixos ortogonais denominados componentes principais (Jolliffe; Cadina, 2016).

Os componentes principais são construídos a partir de combinações lineares das variáveis originais, ordenados de forma que o primeiro componente (PC1) explique a maior parcela da variância total de conjunto de dados, seguido pelo segundo componente (PC2), e assim sucessivamente. Essa ordenação permite representar grande parte da informação contida nos dados iniciais em um número reduzido de componentes, facilitando a visualização e a interpretação das relações entre variáveis (Costa, 2016).

Do ponto de vista matemático, o PCA utiliza a decomposição da matriz de covariância ou correlação para identificar os autovalores<sup>4</sup> e autovetores<sup>5</sup> associados ao sistema. Os autovalores representam a quantidade de variância explicada por cada componente principal, enquanto os autovetores indicam a direção e a contribuição de cada variável no componente. Dessa forma, é possível compreender quais variáveis exercem maior influência sobre a variabilidade observada no conjunto analisado.

A aplicação do PCA é especialmente útil em estudos ambientais, que frequentemente envolvem múltiplos parâmetros simultâneos, como variáveis atmosféricas, meteorológicas e indicadores de saúde pública. A técnica permite sintetizar esses dados complexos, evidenciar padrões sazonais, identificar associações entre variáveis e destacar fatores ambientais dominantes em diferentes contextos espaço-temporais. Assim, o uso da PCA contribui para a compreensão integrada de sistemas ambientais, revelando relações que poderiam não ser evidentes por meio de análises univariadas ou simples correlações.

No contexto de pesquisa que investiga a interação entre aerossóis atmosféricos variáveis meteorológicas e saúde humana como hospitalizações por doenças

---

<sup>4</sup> Autovalores ( $\lambda$ ): São as raízes características da matriz ( $\Sigma$ ). Cada autovalor ( $\lambda$ ) corresponde à variância total explicada pelo seu Componente Principal ( $\lambda_i$ ). Componentes com autovalores maiores são retidos, pois capturam mais informação dos dados (critério de Kaiser,  $\lambda \geq 1$ ).

<sup>5</sup> Autovetores ( $\theta$ ): São os vetores associados a cada autovalor. Eles definem a direção no espaço das variáveis originais ao longo da qual a variância é máxima. Os elementos de um autovetor específico são os pesos (ou *loadings*) das variáveis originais na formação daquele Componente Principal.

respiratórias o PCA torna-se uma ferramenta poderosa para identificar quais fatores ambientais exercem maior influência em cada período ou região analisada. Além disso, permite comparar padrões entre diferentes localidades, auxiliando na identificação de semelhanças e diferenças nos mecanismos que regem os fenômenos estudados.

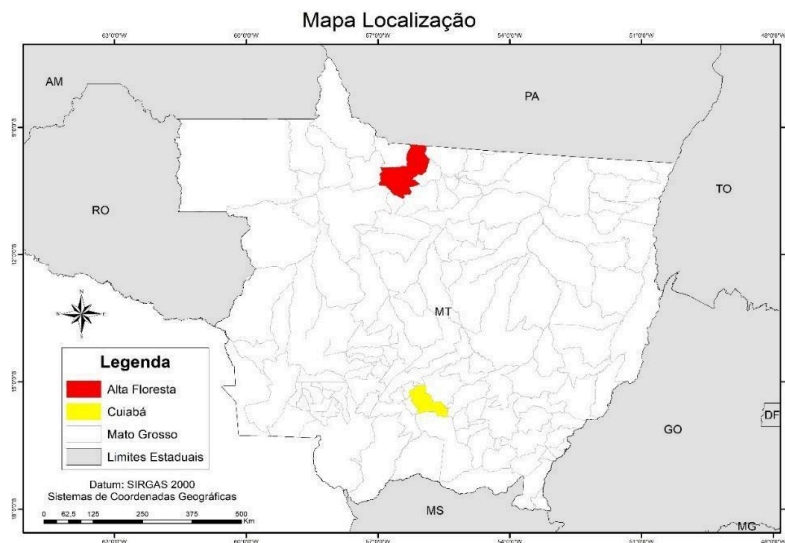
## **4. Material e Métodos**

### **4.1 Área de Estudo**

A pesquisa foi conduzida nos municípios de Cuiabá e Alta Floresta, ambas localizadas no Estado do Mato Grosso (figura 4). As análises basearam-se em dados obtidos por meio da Aeronet (Aerossol Robotic Network) e de bases institucionais complementares, incluindo dados meteorológicos diários e mensais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); registros de focos de queimadas provenientes do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e dados de internações por doenças respiratórias fornecidos pela Secretária de Estado de Saúde de Mato Grosso (SES- MT), a partir de bases oficiais de vigilância em saúde disponibilizadas pelo órgão, contemplando o período de 2011 a 2024.

A integração dessas bases permitiu avaliar a influência dos aerossóis provenientes de queimadas sobre a incidência de doenças respiratórias, considerando tanto as características atmosféricas quanto os fatores climáticos regionais dos dois municípios.

Figura 4 Área de Estudo



Fonte: Thamiris Amorim

#### 4.1.1 Cuiabá

Cuiabá é a capital de Mato Grosso, situada no Centro-Oeste do Brasil (15°35'S; 56°05'W), a aproximadamente 125 m de altitude. Possui 657.275 habitantes no Censo 2022 (IBGE, 2023) e área municipal de 3.266,539 km². O clima é tropical do tipo Aw<sup>6</sup> (Köppen), com estação chuvosa no verão e estação seca definida no inverno.

Hidrograficamente, Cuiabá localiza-se às margens do rio Cuiabá afluente do rio Paraguai, e no divisor de águas das bacias Amazônica e Platina. Biogeograficamente, está inserido no bioma Cerrado, a cerca de 100 km da planície do Pantanal, região que apresenta alta recorrência de queimadas durante a estação seca, pico histórico entre os meses de agosto e outubro. Essa sazonalidade influencia diretamente as concentrações de material particulado e a presença de fumaça na atmosfera da capital, fenômeno amplamente associado à intensificação dos focos de queimada e a dinâmica de transporte de aerossóis regionais (IBGE, 2023; Santos, 2024; WWF, 2023; INPE, 2024).

<sup>6</sup> Clima tropical com estação seca no inverno, segundo a classificação climática de Köppen.

#### **4.1.2 Alta Floresta**

O município de Alta Floresta está localizado no Norte de Mato Grosso (9°52'S; 56°05'W), a cerca de 283 m de altitude, com 58.613 habitantes (IBGE,2023) e área de 8.947.069 km<sup>2</sup>. O clima é tropical com verão chuvoso e inverno seco, classificado como transição entre os tipos de Am<sup>7</sup> e Aw. Alta Floresta integra o bioma Amazônia e apresenta drenagem regional dominada pelo rio Teles Pires, pertencentes à bacia do tapajós/ Amazônica.

A região ainda conserva significativa cobertura florestal, porém enfrenta crescente pressão decorrente do avanço da fronteira agropecuária (PM<sub>2.5</sub>)<sup>8</sup> e gases traço que dispersam na atmosfera, influenciando a composição dos aerossóis e impactando a qualidade do ar.

Durante o período seco, entre agosto e outubro, as condições meteorológicas são caracterizadas por baixa umidade relativa do ar e redução da precipitação favorecem a ocorrência de focos de queimadas e transporte regional de fumaça. Esse cenário torna Alta Floresta uma área estratégica para o monitoramento da poluição atmosférica associada à queima de biomassa e para a avaliação de seus efeitos na saúde respiratória da população local (IBGE, 2023; INPE,2024).

#### **4.1.3 Cuiabá X Alta Floresta**

Os municípios de Cuiabá e Alta Floresta representam contextos ambientais e climáticos contrastantes no estado de Mato Grosso. Cuiabá, inserida no bioma Cerrado e próximo à planície do Pantanal, caracteriza-se por clima mais seco e maior frequência de queimadas antrópicas associadas à limpeza de pastagens e áreas agrícolas. Já Alta Floresta, localizada no bioma Amazônia, apresenta clima tropical úmido, com extensa cobertura florestal e queimadas predominantemente relacionadas ao desmatamento e à conversão de áreas florestais em agropecuárias.

---

<sup>7</sup> Clima tropical monçônico, caracterizado por altas temperaturas e grande volume de chuvas, com curta estação seca.

<sup>8</sup> Material particulado fino com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 micrômetros, capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório.

Essas distinções configuram dois cenários atmosféricos distintos em Cuiabá, predominam aerossóis derivados da queima de vegetação típica do cerrado e pastagens, geralmente com composição mais mineral, enquanto em Alta Floresta, a queima de biomassa florestal densa libera quantidades de carbono negro e compostos orgânicos.

Essas particularidades tornam os dois municípios áreas estratégicas para a investigação comparativa da influência dos aerossóis sobre a saúde respiratória da população, considerando suas diferenças bioclimáticas<sup>9</sup> e de uso da terra (WWF, 2023; INPE, 2024).

#### **4.2 Fontes de dados e períodos de estudo**

Os dados utilizados nesta pesquisa foram provenientes de quatro bases principais: a rede Aeronet (Aerosol Robotic Network), utilizada para obtenção das concentrações de aerossóis atmosféricos (profundidade óptica), com estações localizadas nos municípios de Alta Floresta e Cuiabá-Miranda, em Mato Grosso, a Secretaria de Estado de Saúde de Mato Grosso (SES/MT), fonte de registros de morbidade e internações por doenças respiratórias, disponibilizados por município e ano; o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), responsável pelo fornecimento dos dados meteorológicos, incluindo temperatura e umidade relativa do ar; o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), fonte de dados de focos de queimadas, obtidos por sensoriamento remoto a partir de satélites de monitoramento.

O período considerado para análise compreende os anos de 2011 a 2024, abrangendo quatorze anos de observação contínua.

#### **4.3 Tratamento e organização dos dados**

---

<sup>9</sup> O termo bioclimático refere-se à relação entre as condições climáticas (temperatura, precipitação, umidade, radiação) e as características ecológicas dos biomas, indicando como o clima influencia a vegetação, os processos ecológicos e o funcionamento ambiental de uma região.

Os dados ambientais provenientes das plataformas, INMET e INPE foram inicialmente convertidos, padronizados e organizados utilizando os ambientes de programação Rstudio e Python, empregados de forma complementar ao longo do processo analítico. A utilização de duas ferramentas não representa metodologias distintas, mas etapas integradas do fluxo de trabalho, direcionadas conforme a adequação de cada software às necessidades específicas da pesquisa.

Foram aplicados procedimentos de limpeza e verificação de consistência, incluindo a identificação e exclusão de valores nulos ou discrepantes, garantindo a integridade das séries temporais. Para fins analíticos e de comparação entre as variáveis, os dados foram convertidos em médias mensais e anuais, permitindo a observação das variações sazonais e das tendências interanuais. Essa padronização temporal possibilitou a integração das informações ambientais com registros de morbidade por doenças respiratórias, considerando que os períodos de coleta e de notificação seguem escalas distintas

Os registros de saúde provenientes da Secretaria de Saúde foram organizados em planilhas eletrônicas no Microsoft Excel, assegurando a consistência dos dados e permitindo a verificação de eventuais lacunas ou inconsistências.

#### **4.4 Análises estatísticas e multivariadas**

As análises foram conduzidas nos ambientes Rstudio (versão 2024) e Python (versão 3.10), utilizados de forma complementar e estratégica. O R foi empregado nas análises descritivas, organização das séries temporais, cálculo de estatísticas básicas e construção dos gráficos exploratórios, etapa na qual já havia domínio técnico consolidado.

Para as análises multivariadas, especialmente a Análise de Componentes Principais (PCA), adotou-se o ambiente Python, considerando a disponibilidade de suporte técnico especializado nessa linguagem durante o desenvolvimento da pesquisa.

Importa destacar que tanto R quanto Python implementam algoritmos estatísticos equivalentes para o PCA e demais procedimentos multivariados. Assim, o emprego de ambos os softwares não compromete a coerência metodológica do estudo,

uma vez que os resultados são matematicamente reproduzíveis e comparáveis entre as plataformas.

Dessa forma, a escolha por duas ferramentas decorreu de razões práticas associadas à fluidez do processo analítico e ao suporte técnico disponível, preservando o rigor científico e a consistência estatística das análises realizadas.

#### **4.5 Análises descritivas e de correlação**

No Rstudio, as etapas iniciais compreenderam o cálculo das médias mensais e anuais das variáveis de interesse; aerossóis (AOD), focos de queimadas, temperatura média, umidade relativa do ar e número de internações por doenças respiratórias.

Essas informações foram organizadas em séries temporais para cada município e representadas graficamente, permitindo identificar variações sazonais e tendências interanuais no período de 2011 a 2024.

Em seguida, foi realizada uma análise de correlação linear entre as variáveis ambientais e os indicadores de saúde, representada por um gráfico de barras horizontais.

#### **4.6 Análise de Componentes Principais (PCA)**

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada no ambiente Python como técnica multivariada destinada a reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar os fatores que mais contribuíram para a variabilidade conjunta entre as variáveis ambientais e epidemiológicas.

A PCA é um método amplamente empregado em estudos ambientais e de saúde pública, por permitir transformar um conjunto de variáveis possivelmente correlacionadas em novos eixos ortogonais, os componentes principais que retêm a maior parte da variância explicada do sistema (Jolliffe & Cadima, 2016). O primeiro componente (PC1) representa a maior parcela da variância total; o segundo componente (PC2), a segunda maior parcela, assim sucessivamente.

Neste estudo, foram incluídas as seguintes variáveis: AOD médio, focos de queimadas, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa máxima, média e mínima, e números de internações por doenças respiratórias. Antes da aplicação da PCA, todas as variáveis foram padronizadas por meio de transformação z-score, com objetivo de eliminar efeitos de escala e permitir comparabilidade entre variáveis com diferentes unidades de medida.

A análise permitiu a obtenção dos componentes principais e a construção de gráficos de dispersão bidimensionais (PC1 x PC2), utilizados para a visualização dos padrões multivariados presentes no conjunto de dados.

#### **4.7 Análise de sensibilidade e remoção variáveis**

Para complementar a PCA, foi realizada uma análise de sensibilidade, a qual avaliou o impacto da variação de mais ou menos 60% em cada parâmetro sobre o percentual de mudança nas internações respiratórias. Essa etapa permitiu identificar quais variáveis apresentam maior influência direta sobre a resposta do sistema epidemiológico.

Os resultados indicaram que a temperatura média apresentou o maior impacto positivo, ou seja, o aumento da temperatura esteve associado ao número de internações. Por outro lado, a umidade média e o AOD médio apresentaram impactos negativos, significando que o aumento dessas variáveis esteve associado à redução das internações, o que reforça o papel das condições atmosféricas mais secas e da maior carga de aerossóis no agravamento dos casos.

Também foi realizada uma análise de remoção de variáveis (delta de variância explicada), com objetivo de avaliar a contribuição individual de cada parâmetro para o desempenho da PCA. A remoção das variáveis umidade média e temperatura máxima produziu a maior redução na variância explicada ( $\Delta \approx 0,03$ ) evidenciando que esses parâmetros são os mais sensíveis e determinantes para variabilidade das internações no conjunto de dados analisados.

A integração dos dados ambientais, meteorológicos e epidemiológicos, associada ao uso de técnicas estatísticas e multivariadas, forneceu uma base metodológica sólida

para interpretar as relações entre fatores atmosféricos e a ocorrência de doenças respiratórias no estado de Mato Grosso.

## **5- ARTIGO: INFLUÊNCIAS DOS AEROSSÓIS NAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM DOIS BIOMAS DE MATO GROSSO**

### **Resumo**

O estado de Mato Grosso, que abrange os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, apresenta elevada ocorrência de queimadas, sobretudo durante o período seco, intensificadas pelo avanço agropecuário e pelo desmatamento. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência dos aerossóis provenientes de queimadas sobre a incidência de doenças respiratórias nas regiões de Alta Floresta e Cuiabá, considerando as variáveis meteorológicas de umidade relativa do ar e temperatura. Foram utilizados dados da AERONET (Aerosol Robotic Network) e de bases institucionais complementares, abrangendo o período de 2011 a 2024. As médias mensais e anuais da profundidade óptica dos aerossóis (AOD), focos de queimadas, temperatura, umidade e internações por doenças respiratórias foram analisadas por estatística descritiva, correlação linear de Pearson e Análise de Componentes Principais (PCA). Os resultados revelaram aumento expressivo da AOD e das internações hospitalares entre junho e outubro, coincidindo com o pico das queimadas e a redução da umidade do ar. Verificou-se forte correlação entre o incremento da carga de partículas finas e o agravamento de doenças respiratórias, como asma, bronquite e doença pulmonar obstrutiva crônica, especialmente entre crianças e idosos. A PCA explicou 96,2% da variância total, indicando relação direta entre as condições meteorológicas adversas e o aumento dos agravos à saúde. Conclui-se que a variação climática e as queimadas atuam de forma sinérgica na intensificação da poluição atmosférica e na elevação das doenças respiratórias em Mato Grosso. Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo dos aerossóis e da adoção de políticas públicas voltadas à redução das emissões e à proteção da saúde humana, contribuindo para o avanço do conhecimento em Física Ambiental e Saúde Pública.

**Palavras-chave:** Queimadas · Aerossóis atmosféricos · Mato Grosso · Qualidade do ar

## 5.1 Introdução

Os aerossóis atmosféricos são partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, que podem ter origem natural ou antropogênica e desempenham papel fundamental na qualidade do ar, na saúde humana e no equilíbrio ambiental (Seinfeld & Pandis, 2016). Essas partículas podem ser constituídas por poeira, fuligem, sulfatos, nitratos, metais pesados e material biológico, variando em tamanho e composição química conforme a fonte emissora e os processos atmosféricos envolvidos. Em escala global, os aerossóis exercem influência significativa no sistema climático, ao interagir com a radiação solar e modificar a formação e as propriedades das nuvens (IPCC, 2021).

A emissão de aerossóis resulta tanto de processos naturais, como erupções vulcânicas, tempestades de poeira e incêndios florestais, quanto de atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis, processos industriais e práticas agropecuárias (Artaxo et al., 2002; Artaxo et al., 2013). Esses compostos podem permanecer na atmosfera por dias ou semanas, sendo transportados a longas distâncias, o que amplia seus impactos ambientais e de saúde pública.

No Brasil, a emissão de aerossóis constitui um importante problema ambiental e de saúde, especialmente em decorrência do desmatamento e das queimadas, que liberam grandes quantidades de material particulado e gases precursores de aerossóis secundários. Esses processos agravam a poluição atmosférica e contribuem para alterações climáticas regionais (Silva et al., 2018). O processo de queima da vegetação produz partículas de diferentes tamanhos, sendo as de modo fino (diâmetro inferior a 2,5  $\mu\text{m}$ ) particularmente nocivas, pois penetram profundamente nas vias respiratórias, atingindo os alvéolos pulmonares (WHO, 2021).

No estado de Mato Grosso, a emissão de aerossóis tem recebido destaque devido ao aumento expressivo das queimadas, intensificadas por períodos de seca prolongada e pela expansão das atividades agropecuárias. A inalação dessas partículas representa um risco significativo à saúde humana, podendo desencadear ou agravar doenças respiratórias, como asma, bronquite, rinite e doença pulmonar obstrutiva crônica (Pope & Dockery, 2006). O bioma Cerrado, predominante na região Centro-Sul do estado, é considerado a savana mais rica em biodiversidade do mundo e apresenta uma estação seca bem definida, entre maio e setembro, o que aumenta a suscetibilidade às queimadas naturais e antrópicas (Freitas et al., 2005).

Diversos estudos destacam que os aerossóis atmosféricos desempenham papel relevante tanto no sistema climático — influenciando o balanço radiativo da Terra e a formação de nuvens (IPCC, 2021) — quanto na saúde humana, uma vez que a inalação de material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) está associada ao aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares (Artaxo et al., 2019). No contexto brasileiro, a emissão de aerossóis provenientes de queimadas na Amazônia e no Cerrado é uma das principais preocupações ambientais, devido ao impacto regional na qualidade do ar e às consequências para a saúde pública (Andreae, Rosenfeld & Artaxo, 2004).

A exposição às partículas finas ( $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$ ) provenientes das queimadas está amplamente associada ao aumento da incidência de doenças respiratórias. Essas partículas podem penetrar profundamente no trato respiratório, atingindo os alvéolos pulmonares e desencadeando respostas inflamatórias que agravam condições preexistentes, como asma, bronquite e doença pulmonar obstrutiva crônica (Artaxo, 2019; Silva Dias, Longo & Freitas, 2019). Estudos realizados no Brasil demonstram que os períodos de maior intensidade de queimadas coincidem com o aumento das internações hospitalares e dos atendimentos de urgência relacionados a problemas respiratórios, especialmente entre crianças, idosos e indivíduos com doenças crônicas (Freitas et al., 2005; Fires et al., 2020).

Além disso, a combinação entre partículas e gases traço liberados durante as queimadas, como monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), potencializa os efeitos adversos da poluição atmosférica e reforça a necessidade de estratégias eficazes de monitoramento e mitigação (Artaxo et al., 2013). A estação seca na Amazônia e no Cerrado é caracterizada por um aumento expressivo na concentração de material particulado, decorrente da intensificação das queimadas (Freitas et al., 2005). A fumaça pode se deslocar por centenas de quilômetros, afetando áreas urbanas distantes das frentes de fogo (Silva Dias, Longo & Freitas, 2019).

Compreender os efeitos dos aerossóis sobre a saúde respiratória fornece o embasamento teórico necessário para a análise dos dados de exposição e morbidade nas áreas estudadas do estado de Mato Grosso. Entre as diversas fontes de emissão de aerossóis, as queimadas ocupam posição de destaque, especialmente em regiões tropicais como o Brasil, estando frequentemente associadas à expansão agrícola e ao desmatamento. Essa prática libera grandes quantidades de partículas finas e gases traço para a atmosfera, contribuindo significativamente para a degradação da qualidade do ar (Artaxo et al., 2013). Dessa forma, compreender a relação entre queimadas e a emissão de

aerossóis torna-se essencial para avaliar tanto os efeitos ambientais quanto os riscos à saúde das populações expostas.

Dessa forma, este estudo tem como propósito avaliar a influência dos aerossóis atmosféricos provenientes de queimadas sobre a incidência de doenças respiratórias nas regiões da Amazônia (representada pelo município de Alta Floresta) e da Baixada Cuiabana, em Mato Grosso. A pesquisa considera como variáveis de apoio às condições meteorológicas de umidade relativa do ar e temperatura, aplicando análises estatísticas multivariadas para compreender as interações entre os fatores ambientais e os efeitos sobre a saúde humana. Para atingir esse objetivo, o estudo contempla a caracterização da variação temporal das queimadas e das concentrações de aerossóis ao longo do período de análise, bem como a avaliação das correlações entre a ocorrência de queimadas, os níveis de aerossóis atmosféricos e os registros de doenças respiratórias nas áreas selecionadas. Além disso, busca-se verificar de que forma as condições meteorológicas influenciam a dispersão dos aerossóis e a variação dos índices de morbidade respiratória, identificando ainda os períodos críticos de exposição atmosférica associados ao aumento da incidência dessas doenças.

## 5.2 Materiais e Métodos

### 5.2.1 Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida nos municípios de Cuiabá e Alta Floresta, ambos localizados no estado de Mato Grosso (Figura 1). As análises basearam-se em dados obtidos por meio da AERONET (Aerosol Robotic Network) e de bases institucionais complementares.

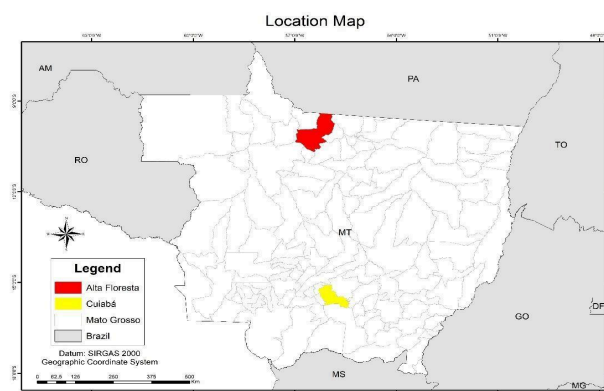


Figura artigo 1 Localização dos municípios de Cuiabá e Alta Floresta, no estado de Mato Grosso, Brasil.

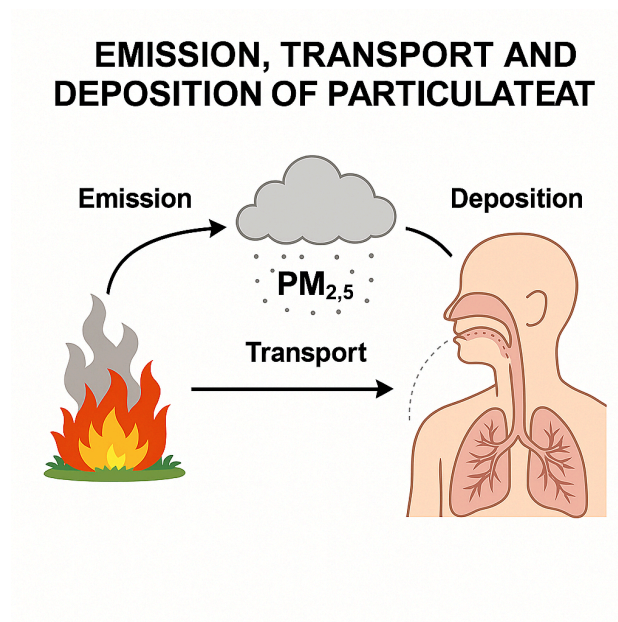
### **5.2.2 Cuiabá**

Cuiabá é a capital de Mato Grosso, situada na região Centro-Oeste do Brasil (15°35'S; 56°05'W), a aproximadamente 125 m de altitude. Possui 657.275 habitantes (IBGE, 2023) e área municipal de 3.266,539 km². O clima é tropical do tipo Aw (Köppen), com estação chuvosa no verão e estação seca bem definida no inverno. Hidrograficamente, o município localiza-se às margens do rio Cuiabá, afluente do rio Paraguai, e no divisor de águas das bacias Amazônica e Platina. Biogeograficamente, encontra-se inserido no bioma Cerrado, a cerca de 100 km da planície do Pantanal, região de alta recorrência de queimadas durante a estação seca, com pico histórico entre agosto e outubro. Essa sazonalidade influencia diretamente as concentrações de material particulado e a presença de fumaça na atmosfera da capital (IBGE, 2023; WWF, 2023; INPE, 2024).

### **5.2.3 Alta Floresta**

O município de Alta Floresta está localizado no norte de Mato Grosso (9°52'S; 56°05'W), a cerca de 283 m de altitude, com 58.613 habitantes (IBGE, 2023) e área de 8.947,069 km². O clima é tropical, com verão chuvoso e inverno seco, classificado como transição entre os tipos Am e Aw. Alta Floresta integra o bioma Amazônia, com drenagem regional dominada pelo rio Teles Pires, pertencente à bacia do Tapajós/Amazônica.

A região ainda conserva significativa cobertura florestal, mas enfrenta crescente pressão devido ao avanço da fronteira agropecuária, o que contribui para o aumento de PM<sub>2.5</sub> e gases traço dispersos na atmosfera (Figura 2). Durante o período seco (agosto a outubro), as condições meteorológicas — caracterizadas por baixa umidade relativa do ar e redução da precipitação — favorecem a ocorrência de focos de queimadas e o transporte regional de fumaça. Esse cenário torna Alta Floresta uma área estratégica para o monitoramento da poluição atmosférica associada à queima de biomassa e para a avaliação dos efeitos sobre a saúde respiratória da população local (IBGE, 2023; INPE, 2024).



*Figura 2. Representação esquematizada dos processos de emissão, transporte e deposição de material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>) proveniente da queima de biomassa e sua inalação pelo sistema respiratório.*

#### **5.2.4 Cuiabá x Alta Floresta**

Os municípios de Cuiabá e Alta Floresta representam contextos ambientais e climáticos contrastantes no estado de Mato Grosso. Cuiabá, inserida no bioma Cerrado e próxima à planície do Pantanal, caracteriza-se por clima mais seco e maior frequência de queimadas antrópicas associadas à limpeza de pastagens e áreas agrícolas. Já Alta Floresta, localizada no bioma Amazônia, apresenta clima tropical úmido, com ampla cobertura florestal e queimadas predominantemente relacionadas ao desmatamento e à conversão de áreas florestais em agropecuárias.

Essas distinções configuram dois cenários atmosféricos distintos: em Cuiabá, predominam aerossóis derivados da queima de vegetação típica do Cerrado e de pastagens (Figura 2), geralmente com composição mais mineral; enquanto em Alta Floresta, a queima de biomassa florestal densa libera maiores quantidades de carbono negro e compostos orgânicos. Essas particularidades tornam ambos os municípios áreas estratégicas para a investigação comparativa da influência dos aerossóis sobre a saúde respiratória, considerando suas diferenças bioclimáticas e de uso da terra (WWF, 2023; INPE, 2024).

## **5.3 Metodologia**

### **5.3.1 Fontes de dados e períodos de estudo**

Os dados utilizados nesta pesquisa foram provenientes de quatro bases principais:

1. AERONET (Aerosol Robotic Network): utilizada para obtenção das concentrações de aerossóis atmosféricos (profundidade óptica), com estações em Alta Floresta e Cuiabá–Miranda;
2. Secretaria de Estado de Saúde de Mato Grosso (SES/MT): fonte de registros de morbidade e internações por doenças respiratórias, disponibilizados por município e ano;
3. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET): responsável pelos dados meteorológicos (temperatura e umidade relativa do ar);
4. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): fonte de dados de focos de queimadas obtidos por sensoriamento remoto a partir de satélites de monitoramento.

O período considerado para análise abrangeu os anos de 2011 a 2024, totalizando quatorze anos de observações contínuas.

### **5.3.2 Tratamento e organização dos dados**

Os dados ambientais das plataformas AERONET, INMET e INPE foram convertidos e padronizados com o uso das linguagens RStudio e Python, permitindo extrair, organizar e consolidar as variáveis relevantes.

Foram aplicados procedimentos de limpeza e verificação de consistência, com exclusão de valores nulos ou discrepantes, garantindo a integridade das séries temporais. Para fins analíticos e comparativos, os dados foram transformados em médias mensais e anuais, possibilitando a observação das variações sazonais e tendências interanuais. Essa padronização temporal permitiu integrar as informações ambientais aos registros de morbidade por doenças respiratórias.

Os registros de saúde da SES/MT foram organizados em planilhas eletrônicas no Microsoft Excel, assegurando a consistência dos dados e a verificação de possíveis lacunas.

### **5.3.3 Análises estatísticas e multivariadas**

As análises foram realizadas de forma integrada nos ambientes RStudio (versão 2024) e Python (versão 3.10), conforme a adequação de cada etapa. O R foi utilizado para análises descritivas e temporais, enquanto o Python foi aplicado às análises multivariadas e de sensibilidade.

### **5.3.4 Análises descritivas e de correlação**

No RStudio, foram calculadas as médias mensais e anuais das variáveis de interesse: aerossóis (AOD), focos de queimadas, temperatura média, umidade relativa do ar e número de internações por doenças respiratórias. Essas informações foram organizadas em séries temporais para cada município e representadas graficamente, permitindo identificar variações sazonais e tendências interanuais. Posteriormente, realizou-se uma análise de correlação linear entre as variáveis ambientais e os indicadores de saúde, apresentada por meio de gráfico de barras horizontais.

### **5.3.5 Análise de Componentes Principais (PCA)**

A PCA (Principal Component Analysis) foi aplicada em Python, visando reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar os fatores mais influentes na variabilidade conjunta entre as variáveis ambientais e epidemiológicas.

As variáveis incluídas foram: AOD médio, focos de queimadas, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa máxima, média e mínima, e número de internações. Os dados foram padronizados e normalizados para eliminar o efeito de escalas distintas.

O gráfico de dispersão ( $PC1 \times PC2$ ) (Figura 8) evidenciou agrupamentos de observações com maior densidade de internações associadas a valores mais baixos de umidade e maiores concentrações de aerossóis, indicando relação indireta entre essas variáveis e a saúde respiratória.

### **5.3.6 Análise de sensibilidade e remoção de variáveis**

Para complementar a PCA, aplicou-se uma análise de sensibilidade, avaliando o impacto da variação de  $\pm 60\%$  em cada parâmetro sobre o percentual de mudança nas internações respiratórias.

Os resultados mostraram que as temperaturas mínima e média apresentaram maior impacto positivo nas internações, enquanto a umidade média e o AOD médio tiveram efeitos negativos, reforçando o papel das condições atmosféricas secas e da poluição por aerossóis no agravamento dos casos. Também foi conduzida uma análise de remoção de variáveis (delta de variância explicada), indicando as variáveis de maior influência no modelo multivariado. A remoção da umidade média e da temperatura máxima resultou na maior redução da variância explicada ( $\Delta \approx 0,03$ ), evidenciando que esses parâmetros são os mais sensíveis e determinantes na explicação da variabilidade das internações. A integração dos dados ambientais, meteorológicos e epidemiológicos, aliada ao uso de técnicas estatísticas e multivariadas, estabeleceu uma base metodológica sólida para investigar as relações entre fatores atmosféricos e doenças respiratórias em Mato Grosso.

## **5.4 Resultados e Discussão**

### **5.4.1 Comportamento Sazonal das Variáveis Ambientais e Epidemiológicas**

Para contextualizar a dinâmica atmosférica que influencia a qualidade do ar e a morbidade respiratória em Mato Grosso, analisaram-se os padrões sazonais da temperatura média, da umidade relativa do ar e das internações por doenças respiratórias. Essas variáveis constituem o cenário climático condicional a dispersão e a concentração de aerossóis, especialmente durante a estação seca (agosto a outubro), período reconhecido como o mais crítico do ponto de vista sanitário e ambiental no estado. O padrão identificado, com aumento das internações coincidindo com o recuo das chuvas, confirma com estudos prévios na Amazônia meridional (Artaxo et al., 2013; Freitas et al., 2005).

#### **5.4.1.1 O cenário de Cuiabá**

A análise das médias temporais de Cuiabá enfrenta extremos térmicos e hídricos mais acentuados conforme apresentado nas figuras (3 e 4), o período seco na capital registra umidades relativas críticas, frequentemente próximas a 40%, acompanhadas de temperaturas médias que se aproximam de 30° C. No período chuvoso, observa-se uma estabilização da umidade acima de 60%, com maior conforto térmico.

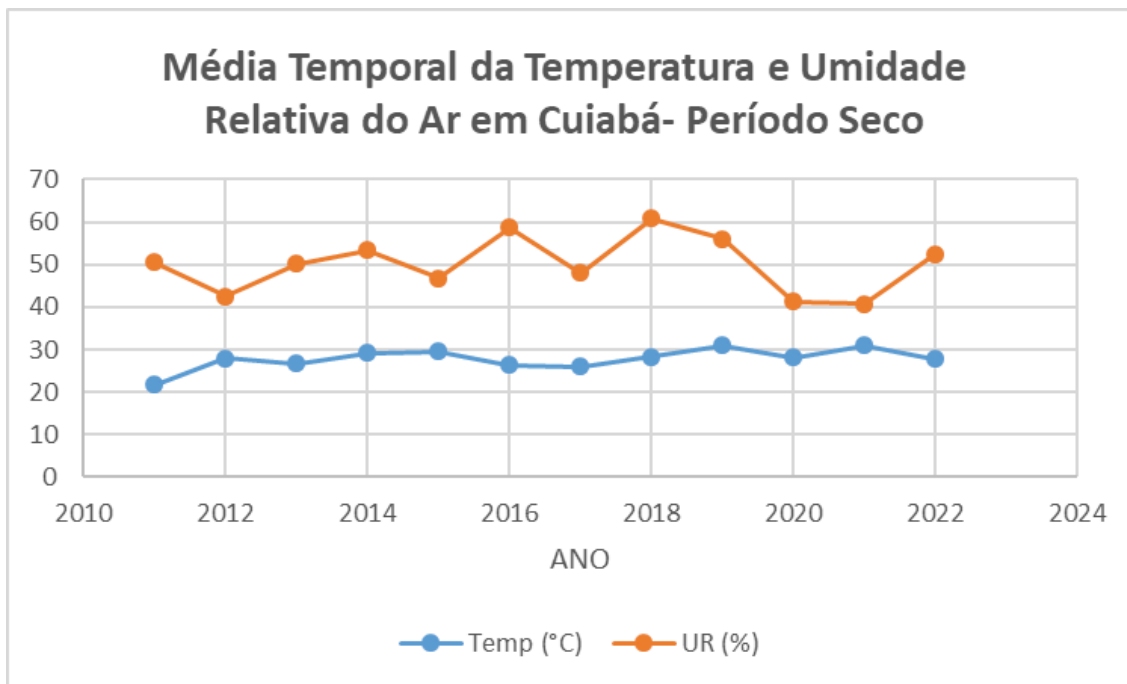


Figura 3: Média da temperatura e UR Cuiabá período seco

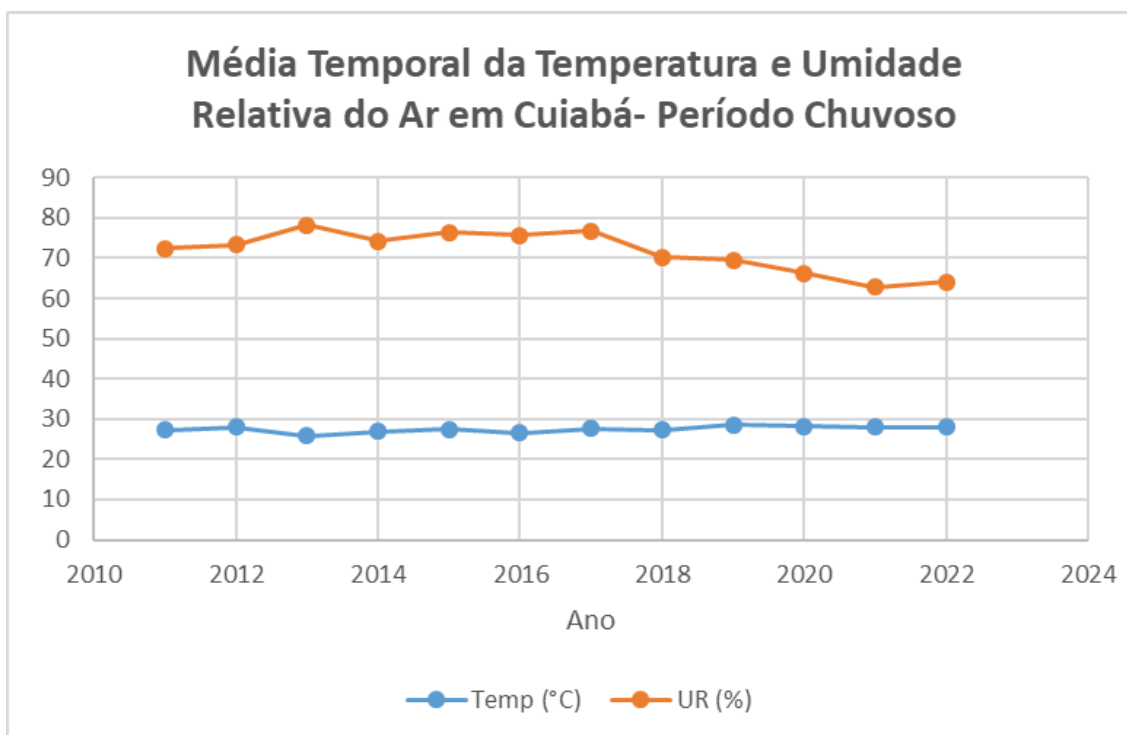


Figura 4: Média da temperatura e UR Cuiabá período chuvoso

#### 5.4.1.2 O cenário de Alta Floresta

Em Alta Floresta as figuras ( 5 e 6), embora a umidade relativa seja mitigada pela proximidade com o bioma amazônico ( mantendo-se acima de 65% mesmo na seca), a estabilidade térmica é mais linear (aprox. 25°C). Diferente da capital, a manutenção de níveis de umidade ligeiramente superiores reflete a resiliência climática da região de transição, embora ainda sofra os impactos sazonais da estiagem.

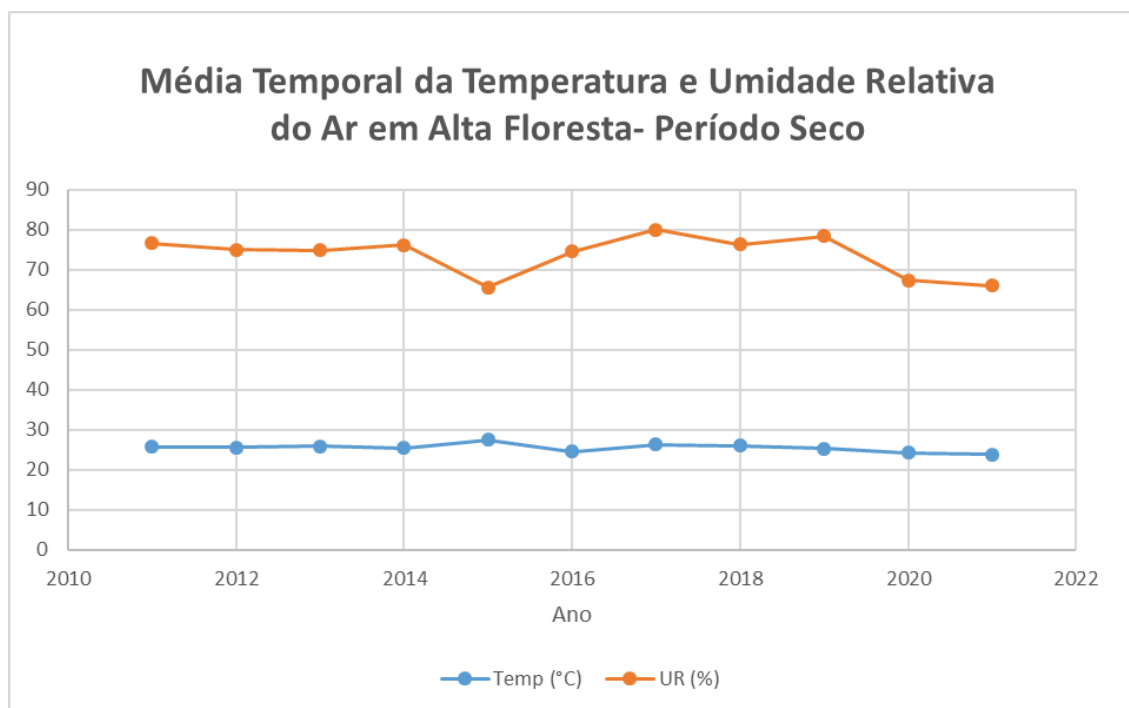


Figura 4: Média da temperatura e UR Alta Floresta período seco

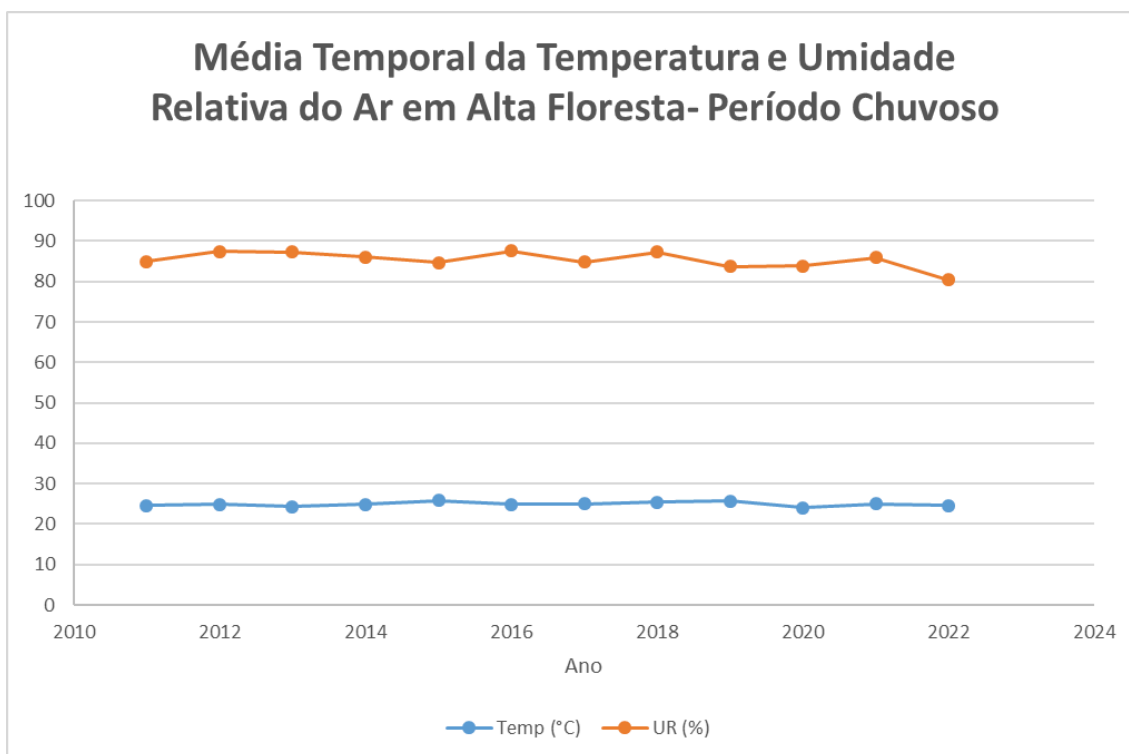


Figura 5: Média da temperatura e UR Alta Floresta período chuvoso

#### 5.4.1.3 Discussão Epidemiológica

O impacto dessas variações reflete-se diretamente nos dados da tabela 2. Em Cuiabá, a combinação de calor e baixa higrometria justifica o salto nas internações por DPOC ( de 43 para 79 casos). Já em Alta Floresta, destaca-se o aumento agudo nos casos de Asma (de 2 para 16 internações), sugerindo que a carga de aerossóis por queima de biomassa é o fator determinante ( Andrae & Merlet, 2004). A Análise de Componentes Principais (PCA) corroborou essas observações ao agrupar no PC1 as variáveis AOD, temperatura e queimadas, enquanto o PC2 expressa o componente higrotérmico de saúde, sinergia destacada pelo IPCC (2021)

Tabela 1- Média das doenças respiratórias – Período Seco e Úmido

Monthly Averages of Respiratory Diseases – Dry vs. Humid Period (2011–2024)

| Respiratory diseases                                | Cuiabá -Dry | Cuiabá- Humid | Alta Floresta- Dry | Alta Floresta- Humid |
|-----------------------------------------------------|-------------|---------------|--------------------|----------------------|
| <b>Asthma</b>                                       | 9           | 4             | 16                 | 2                    |
| <b>Bronchitis</b>                                   | 24          | 16            | 3                  | 2                    |
| <b>Pneumonia</b>                                    | 13          | 10            | 1                  | 2                    |
| <b>COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)</b> | 79          | 43            | 10                 | 6                    |

Source: State Health Department of Mato Grosso (2024).

## 5.4.2 Doenças respiratórias

As internações por doenças respiratórias registraram um padrão sazonal bem definido entre 2011- 2024, com acentuação expressiva entre agosto e outubro, período caracterizado pela redução da umidade relativa do ar e pela intensificação da estação seca em Mato Grosso (figura 7). Esse comportamento foi consistente em ambos os municípios, refletindo a influência combinada das condições atmosféricas e da poluição por material particulado sobre a saúde respiratória.

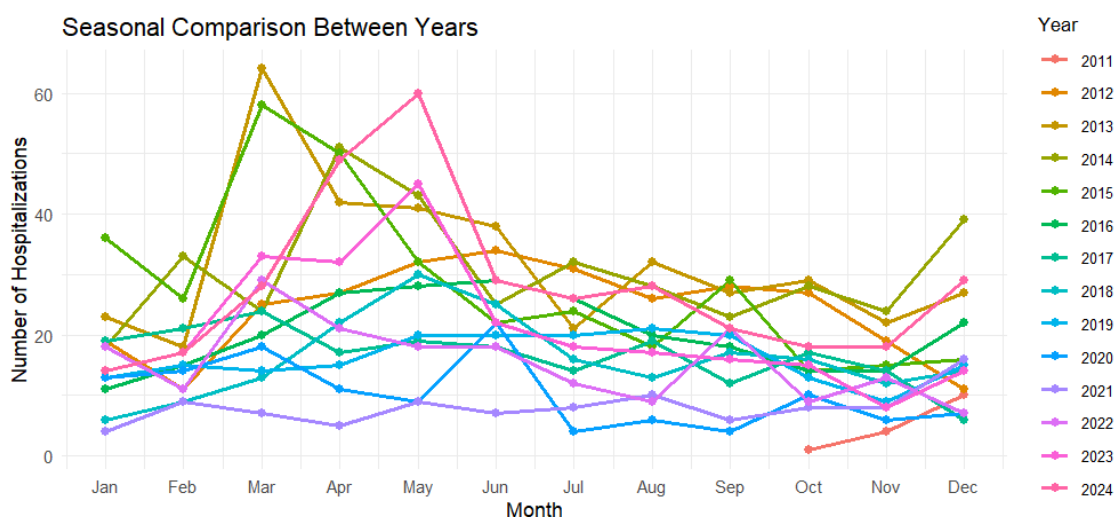


Figura 7. Variação sazonal das internações por doenças respiratórias no período de 2011 a 2024.

Em Cuiabá, a magnitude das internações foi superior, atribuída à maior densidade populacional e à influência de fatores urbanos locais, como tráfego e queima de resíduos. Em Alta Floresta, embora o número absoluto de casos seja menor, observou-se maior variabilidade interanual, compatível com a alternância entre anos de maior e menor intensidade de queimadas.

As faixas etárias extremas, crianças menores de cinco anos e idosos acima de sessenta anos concentram os maiores índices de internações, evidenciando alta suscetibilidade à exposição prolongada à poluição atmosférica. A tendência observada destaca que os meses secos configuram o período de maior vulnerabilidade respiratória especialmente em contextos marcados por queimadas e baixa umidade na região centro-sul amazônica.

### **5.4.3 Análise Sazonal e PCA das Doenças Respiratórias**

Considerando as variações sazonais entre os períodos seco e chuvoso, realizou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA) focada nos agravos respiratórios. O objetivo foi identificar como as variáveis ambientais (AOD, temperatura e umidade) influenciam a ocorrência de doenças em Cuiabá e Alta Floresta.

A análise do excesso de casos durante o período seco (Figura 6) revela uma disparidade acentuada entre as localidades, com Cuiabá apresentando um incremento drástico em internações por Pneumonia e Infecções em comparação ao período chuvoso. Em Alta Floresta, embora o padrão de variação seja menor para pneumonia, observa-se a persistência de agravos agudos como a asma, reforçando a vulnerabilidade regional.

Estatisticamente, o Componente Principal 1 (PC1) explicou 82% da variância total (Figura 7). Este componente representa o gradiente de poluição e aquecimento, mostrando altas cargas fatoriais positivas para Temperatura, AOD e para a maioria das doenças (Pneumonia, Bronquite e Asma). Em contrapartida, a Umidade Relativa (RH) apresenta carga negativa, confirmando que o recuo da umidade é o gatilho para o aumento dessas patologias.

O Componente Principal 2 (PC2), responsável por 17,7% da variância (Figura 8), destaca a dominância da profundidade óptica dos aerossóis (AOD) e sua relação inversa com a umidade. As cargas fatoriais evidenciam que, mesmo quando outros fatores térmicos são suavizados, a presença de partículas finas na atmosfera (AOD) mantém uma correlação forte com a morbidade respiratória.

Esses resultados confirmam que o período crítico de estiagem representa a fase de maior risco sanitário, corroborando estudos prévios para a Amazônia e o Cerrado (ARTAXO, 2019; FREITAS et al., 2005).

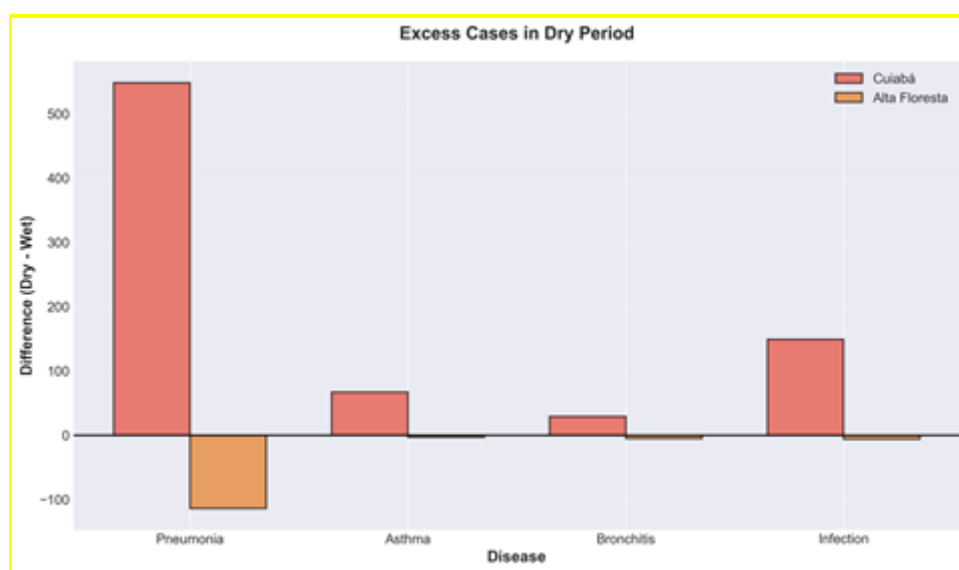


Figura 8: Diferenças sazonais nas cargas das variáveis ambientais (AOD, temperatura e umidade relativa) e das doenças respiratórias (asma, bronquite, DPOC, pneumonia e sinusite) entre os períodos seco (agosto–outubro) e chuvoso (novembro–março) em Cuiabá e Alta Floresta.

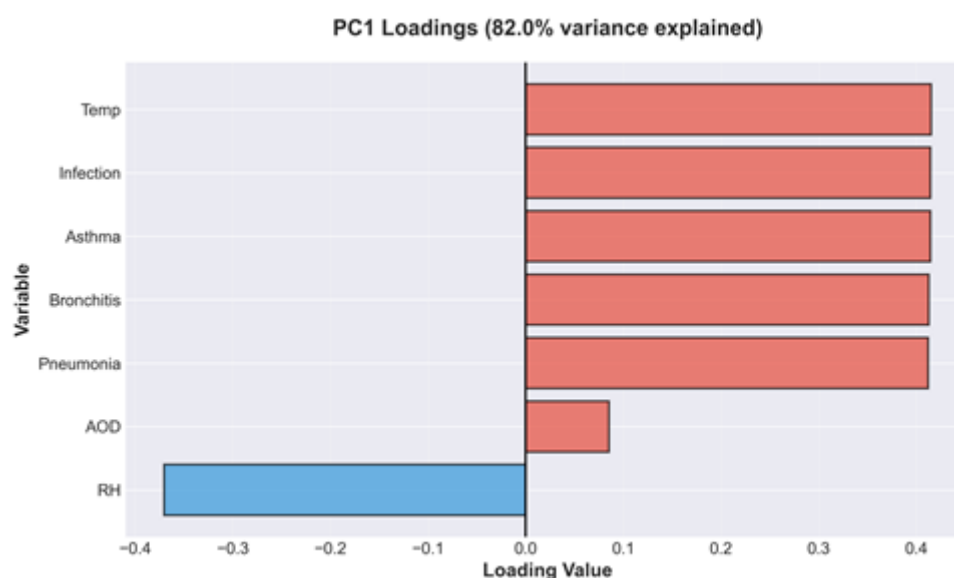


Figura 9: Comparação das principais doenças respiratórias (asma, bronquite, pneumonia, DPOC e sinusite) entre Cuiabá e Alta Floresta no período de 2011–2024, indicando maior frequência de internações na capital e maior variabilidade interanual em Alta Floresta.

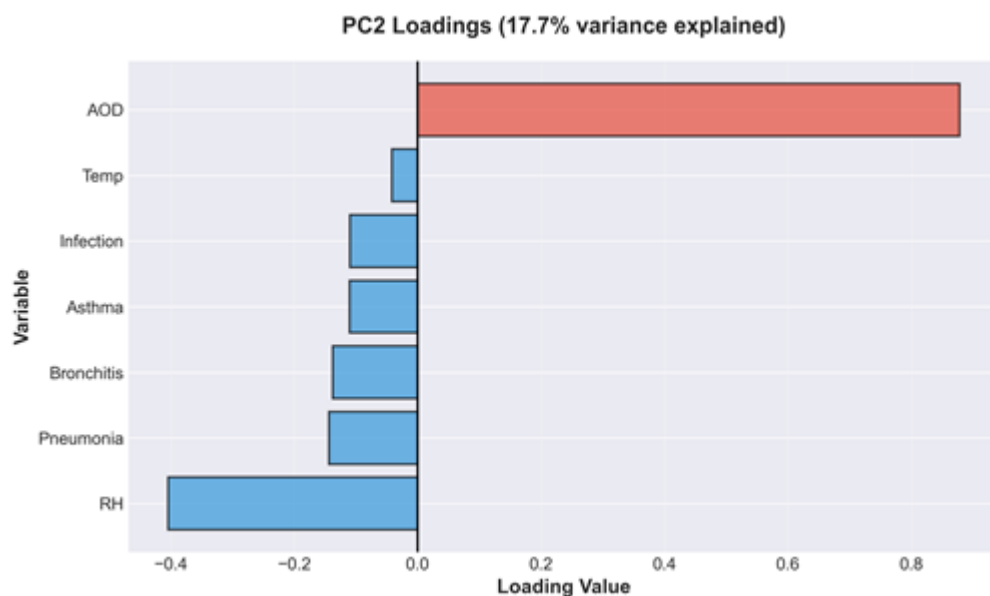


Figura 10: Variação temporal da profundidade óptica dos aerossóis (AOD) e das variáveis climáticas em Cuiabá e Alta Floresta (2011–2024). Nota-se o aumento dos valores de AOD e temperatura durante o período seco, coincidindo com os meses de maior incidência de queimadas e redução da umidade relativa do ar.

#### 5.4.4 Aerossóis (AOD)

A variação temporal da profundidade óptica dos aerossóis (AOD), em Cuiabá, revelou comportamento marcadamente sazonal durante os anos analisados, com incremento notável entre agosto e outubro, período em que ocorre o pico das queimadas e a redução da umidade relativa do ar (Figura 10). Esse aumento reflete a intensificação das emissões de partículas finas resultantes da queima de biomassa, somadas à estabilidade atmosférica característica da estação seca.

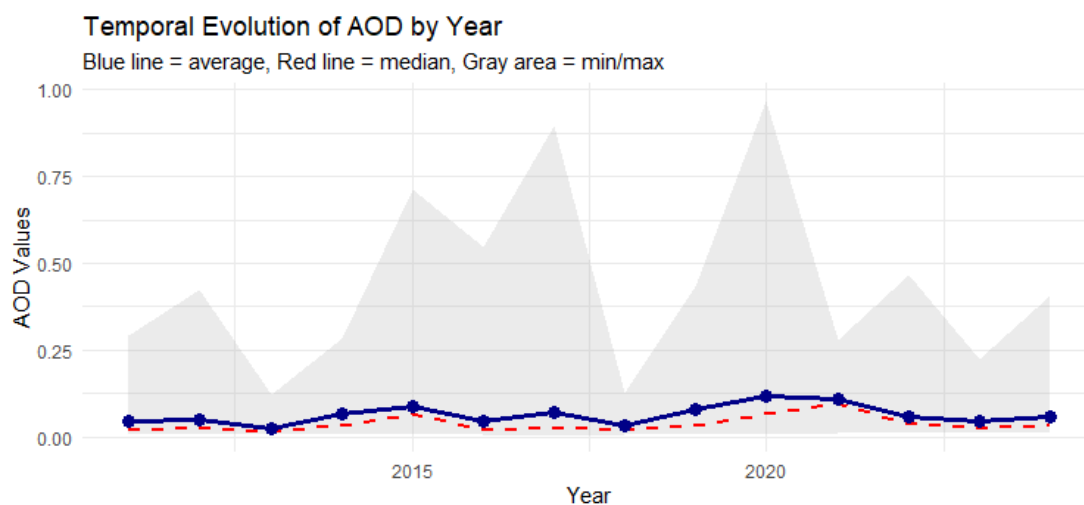


Figura 11. Variação temporal da profundidade óptica dos aerossóis (AOD) entre 2011 e 2024.

Em Alta Floresta, os valores de AOD foram mais elevados e variáveis, sugerindo maior sensibilidade às emissões regionais e ao transporte de partículas de longa distância, típico da Amazônia meridional. Em contrapartida, Cuiabá apresentou níveis ligeiramente inferiores, porém mais estáveis, o que indica a influência predominante de fontes locais urbanas. A persistência de elevados valores de AOD nos meses secos evidencia o papel dos aerossóis como indicadores de degradação da qualidade do ar, contribuindo para o aumento da concentração de partículas inaláveis e o agravamento de efeitos respiratórios adversos em populações expostas.

#### 5.4.5 Focos de Queimadas

A distribuição dos focos de queimadas demonstrou concentração expressiva nos meses secos, entre junho e outubro, em concomitância com a redução da umidade e o aumento da carga de aerossóis atmosféricos em Mato Grosso (Figura 11 e 12). Esse padrão reflete a combinação de fatores climáticos, especialmente o regime tropical sazonal e de práticas antrópicas associadas à expansão agropecuária e ao manejo de pastagens.

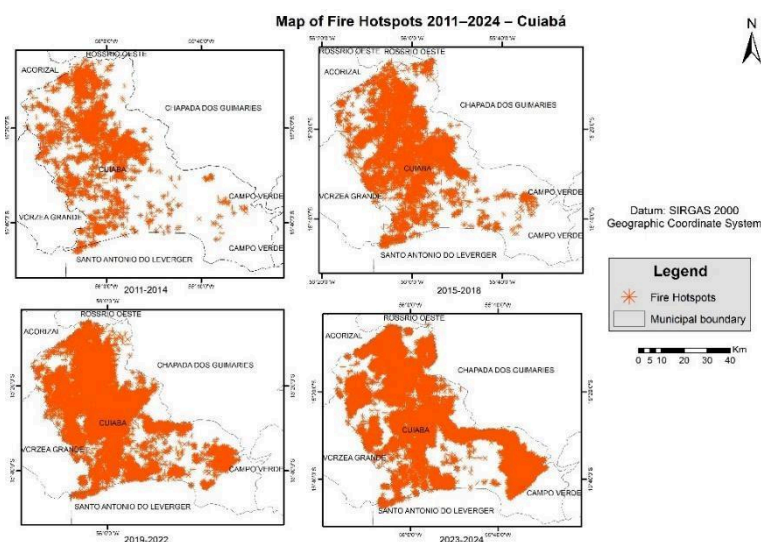


Figura 12. Distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em Cuiabá - Mato Grosso entre 2011 e 2024.

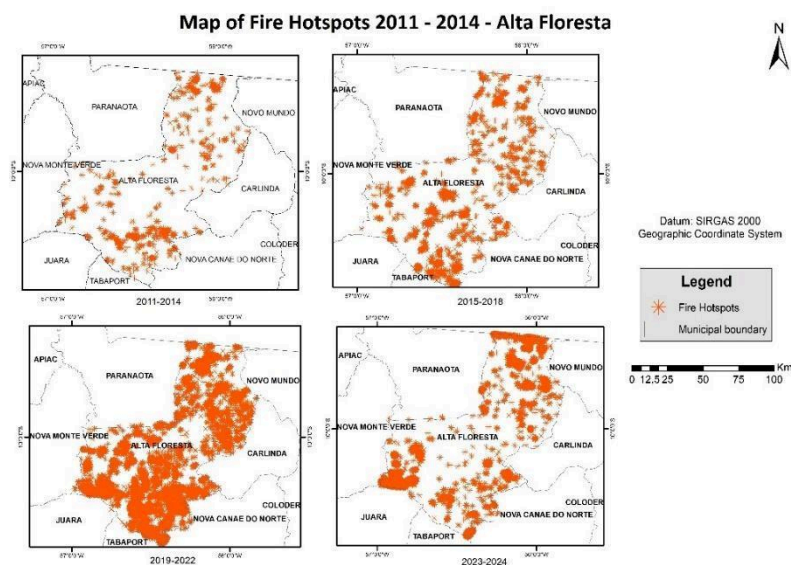


Figura 13. Distribuição espacial e temporal dos focos de queimadas em Alta Floresta - Mato Grosso entre 2011 e 2024.

Em Alta Floresta, os focos apresentaram maior densidade e persistência espacial, concentrando-se nas zonas de transição entre floresta e uso agrícola. Já em Cuiabá, a distribuição foi mais difusa, relacionada à queima de resíduos e à vegetação seca nas bordas urbanas. Essa diferenciação espacial indica que as emissões de partículas finas estão intimamente vinculadas ao padrão de ocupação e ao uso do solo em cada bioma. Os picos de queimadas observados em 2015, 2019 e 2020 coincidiram com eventos de El Niño e estiagens prolongadas, demonstrando a influência direta da variabilidade climática na intensificação das emissões atmosféricas. Tais evidências consolidam as queimadas como principal fonte de material particulado fino e degradação da qualidade do ar na região.

#### 5.4.6 Correlação e Análise de Comportamento Principais (PCA)

A análise de correlação linear de Pearson revelou associações estatisticamente significativas entre as variáveis ambientais e os indicadores de morbidade respiratória nos dois municípios estudados (Figura 13). As internações por doenças respiratórias apresentaram correlação positiva com a temperatura média do ar ( $r \approx 0,31$ ) e com a profundidade óptica dos aerossóis AOD ( $r \approx 0,35$ ), além de correlação negativa com a umidade relativa ( $r \approx -0,42$ ). A significância estatística dessas associações decorre dos valores de  $p$  inferiores a 5% indicando que a probabilidade de tais relações ocorrerem ao acaso é reduzida. Embora os coeficientes apresentem magnitude moderada, esse comportamento é esperado em estudos ambientais e epidemiológicos, nos quais os desfechos são multifatoriais. Assim, mesmo correlações nessa faixa são consideradas relevantes na literatura, reforçando que condições atmosféricas mais

quentes e secas, associadas à maior carga de aerossóis, favorecem a ocorrência e o agravamento das doenças respiratórias.

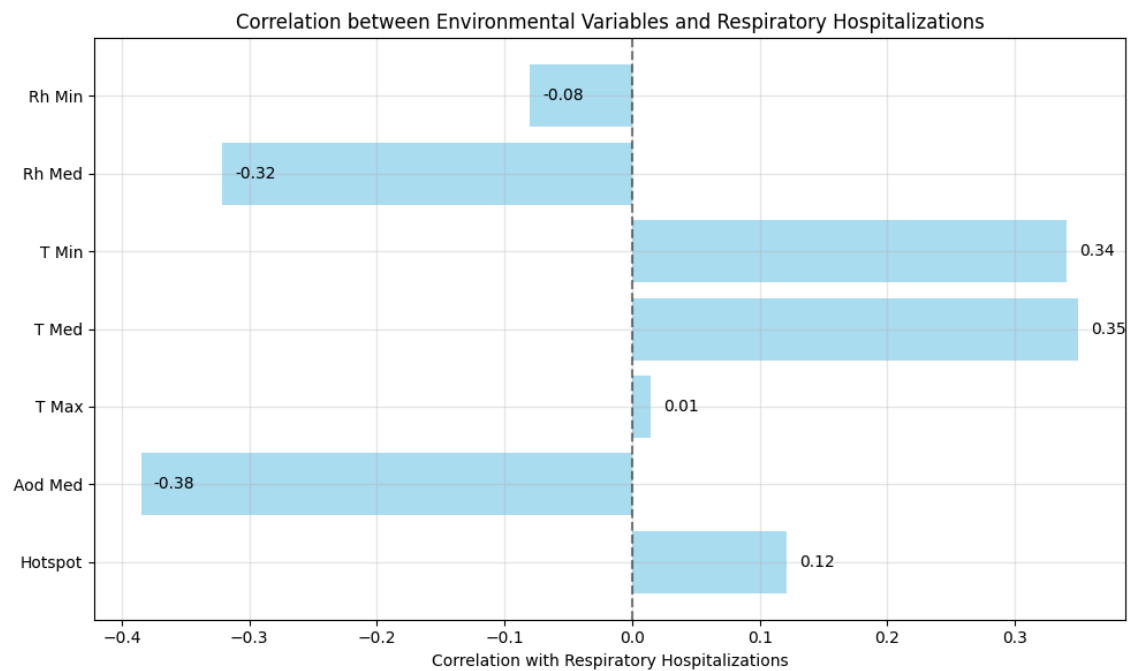


Figura 14. Correlação linear de Pearson entre variáveis ambientais (AOD, temperatura e umidade relativa do ar) e indicadores de morbidade respiratória nos municípios de Cuiabá e Alta Floresta.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada para reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar os principais eixos de variabilidade conjunta entre as variáveis meteorológicas, atmosféricas e de saúde. Foram extraídos dois componentes principais: o Componente Principal 1 (PC1) e o Componente Principal 2 (PC2) que, juntos, explicaram 96,2% da variância total (Figura 14).

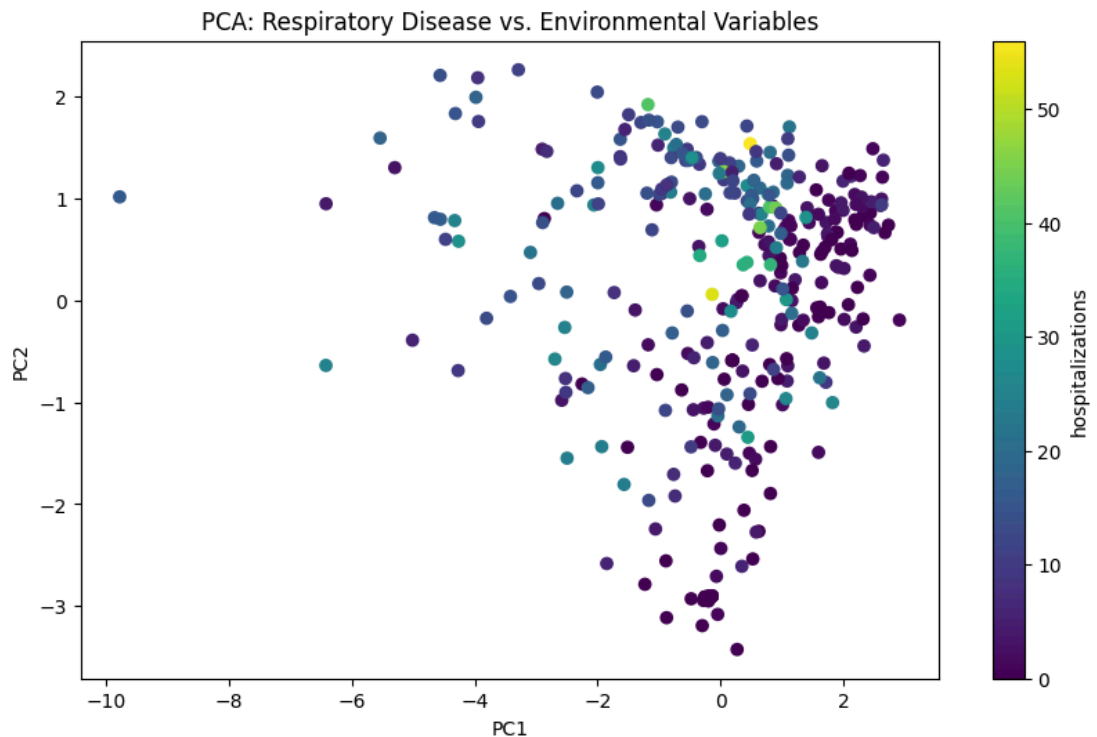


Figura 15. Resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada às variáveis meteorológicas, atmosféricas e de saúde. Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2).

O PC1 (77,4%), denominado “componente de aquecimento e emissão”, apresentou altos pesos fatoriais (loadings) para temperatura média (0,88), AOD (0,84) e focos de queimadas (0,79), refletindo o efeito combinado das condições térmicas e das emissões de partículas atmosféricas. O PC2 (18,8%), denominado “componente higrotérmico de saúde”, foi dominado pela umidade relativa (−0,83) e pelas internações por doenças respiratórias (0,81), representando o impacto da baixa umidade e das condições atmosféricas secas sobre o aumento dos casos.

A análise de sensibilidade (figura 15) demonstra que as variáveis umidade média e temperatura máxima são as mais influentes na variância explicada pelo modelo. Isso significa que pequenas alterações nesses parâmetros provocam mudanças expressivas na estrutura dos componentes principais, confirmando sua relevância no contexto climático e epidemiológico regional. A redução da umidade média, por exemplo, esteve associada ao aumento percentual das internações, enquanto valores mais elevados de temperatura mostraram relação direta com agravamento dos casos.

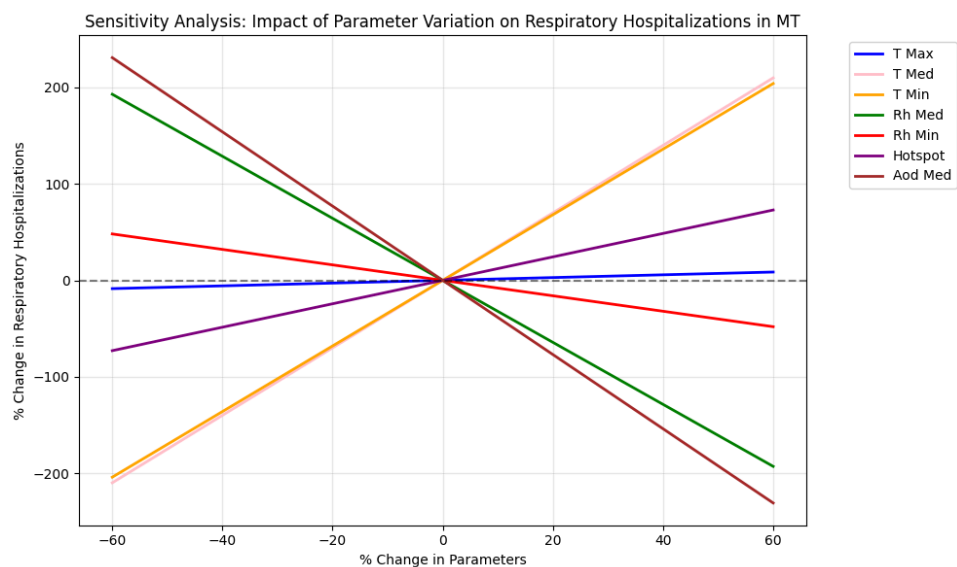


Figura 16. Análise de sensibilidade demonstrando as variáveis meteorológicas mais influentes na variância explicada do modelo.

As cargas fatoriais superiores a 0,30 foram consideradas relevantes para interpretação, evidenciando forte interdependência entre variáveis climáticas, aerossóis e morbidade respiratória. A análise de remoção de variáveis (Figura 16) mostrou que a exclusão da umidade relativa reduziu a variância explicada em cerca de 12%, confirmando o papel determinante da seca atmosférica e da baixa umidade na intensificação dos problemas respiratórios nos biomas Amazônia e Cerrado.

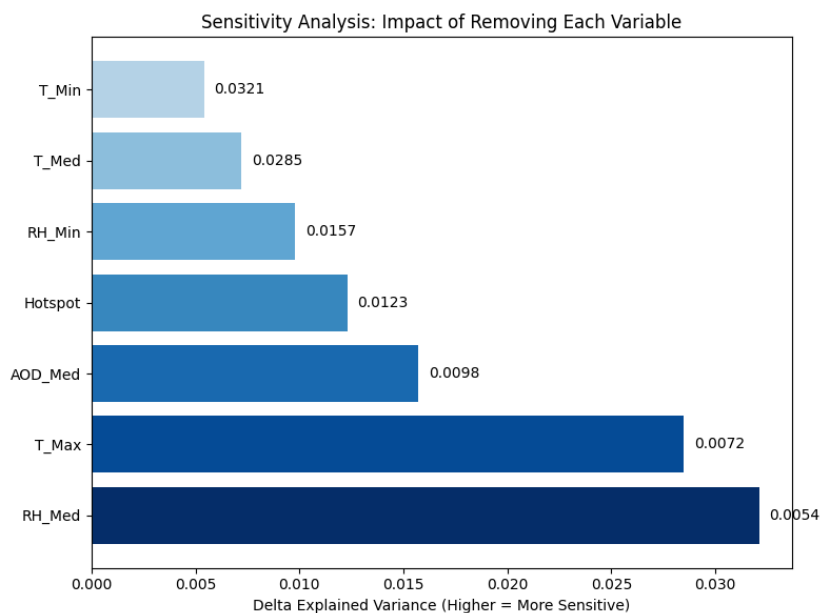


Figura 17. Cargas fatoriais obtidas na Análise de Componentes Principais (PCA)

Esses resultados evidenciam que a variabilidade climática e a ocorrência de queimadas atuam de forma sinérgica, modulando a concentração de aerossóis e, consequentemente, o risco de agravamento das doenças respiratórias. O padrão multivariado observado reforça a importância da integração entre dados meteorológicos e epidemiológicos para o monitoramento da qualidade do ar e o planejamento de ações preventivas em saúde ambiental.

## **5.5 Conclusão**

O estudo demonstrou que as variações climáticas e as queimadas atuam de maneira sinérgica na intensificação da poluição atmosférica em Mato Grosso, evidenciada pelo aumento da profundidade óptica dos aerossóis (AOD) e pela elevação das internações por doenças respiratórias durante o período seco. As análises multivariadas indicaram que a combinação de temperaturas elevadas, baixos índices de umidade relativa do ar e maior concentração de partículas atmosféricas está diretamente associada à deterioração da qualidade do ar e ao aumento da morbidade respiratória.

A análise sazonal por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) revelou que pneumonia e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) são os agravos mais sensíveis às variações de AOD, temperatura e umidade, caracterizando o período seco como o de maior vulnerabilidade epidemiológica. Esses resultados evidenciam o papel determinante dos aerossóis biogênicos e antrópicos na modulação das condições atmosféricas regionais e reforçam a necessidade de políticas públicas integradas de monitoramento, controle de queimadas e mitigação dos impactos ambientais sobre a saúde coletiva.

## **6. Conclusão Geral**

Esta dissertação analisou a influência dos aerossóis atmosféricos nas doenças respiratórias em dois biomas de Mato Grosso, representados pelos municípios de Cuiabá (Cerrado) e Alta Floresta (Amazônia), considerando séries temporais de 2011 a 2024. A integração entre dados ambientais, meteorológicos e hospitalares permitiu compreender como a variabilidade dos aerossóis e as condições climáticas sazonais contribuem para o aumento dos agravos respiratórios na região, especialmente em períodos de maior ocorrência de queimadas.

Os resultados mostraram maior concentração de aerossóis no período seco, evidenciada pelo aumento da profundidade óptica (AOD) e associada à baixa umidade relativa do ar e à intensificação das queimadas. Nessas condições, observou-se maior incidência de internações por doenças respiratórias, indicando que a exposição ao material particulado fino, combinada a fatores meteorológicos adversos, potencializa os riscos à saúde. A Análise de Componentes Principais (PCA) reforçou essas relações ao evidenciar correlações consistentes entre AOD, temperatura, umidade e internações hospitalares.

A contribuição desta pesquisa reside na abordagem integrada e comparativa entre dois biomas distintos, contribuindo para o entendimento dos efeitos ambientais e climáticos sobre a saúde respiratória em Mato Grosso. Os resultados indicam a necessidade de aprimorar o monitoramento da qualidade do ar e de fortalecer políticas públicas voltadas à redução das queimadas e à mitigação da exposição populacional aos aerossóis, sobretudo durante o período seco, quando a vulnerabilidade aumenta significativamente.

Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem a análise para outros municípios e incluam dados de monitoramento contínuo de material particulado, bem como abordagens epidemiológicas mais detalhadas. Os resultados apresentados fornecem subsídios importantes para a gestão ambiental e sanitária no estado, reforçando que a compreensão integrada dos processos atmosféricos e seus impactos na saúde é essencial para orientar ações preventivas e promover a qualidade de vida da população mato-grossense.

## 7. Referências Bibliográficas

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. **Principal component analysis**. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010.
- AGUILERA, R.; CORRINGHAM, T.; GERSHUNOV, A.; LEIBEL, S. **Fine particulate matter and hospital admissions for cardiovascular and respiratory disease**. *Environmental Research*, v. 191, 110174, 2021.
- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. **Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning**. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 18, n. 4, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1029/2003GB002183>.
- ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D. **Aerosol–cloud–precipitation interactions**. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 33, p. 1–27, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.33.013007.103611>.
- 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. 536, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.
- ARTAXO, P. **Aerosols in the Amazon Basin**. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 124, n. 12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JD029634>.
- ARTAXO, P. **Atmospheric aerosols: composition, sources and effects on climate**. *Brazilian Journal of Physics*, v. 49, n. 1, p. 5–23, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13538-018-0607-2>.
- ARTAXO, P. **Atmospheric aerosols: composition, transformations, climate and health effects**. *Revista USP*, n. 123, p. 27–42, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i123p27-42>.
- ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; ANDREAE, M. O. **Atmospheric aerosols and their role in the regional climate of the Amazon Basin**. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 13, p. 12631–12650, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-13-12631-2013>.
- ARTAXO, P. et al. **Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions**. *Faraday Discussions*, v. 165, p. 203–235, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1039/C3FD00052D>.
- ARTAXO, P. et al. **Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia**. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n. D20, p. 8081, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001JD000666>.
- CARMO, C. N. et al. **Associação entre material particulado proveniente de queimadas e internações por doenças respiratórias na região amazônica brasileira**. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 26, n. 12, p. 2240–2248, 2010.
- COSTA, G. G. O. **Análise Multivariada Light – Sem Matemática**. v. 1. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2016.
- DUARTE, G. D.; SILVA, C. V. J.; FONSECA, M. G. ET AL. **Smoke pollution from fires threatens biodiversity and human health across Amazonian protected areas**. *Communications Earth & Environment*, v. 4, n. 1, p. 1–11, 2023.

FINLAYSON-PITTS, B. J.; PITTS, J. N. **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications**. San Diego: Academic Press, 2000.

FIRES, R. et al. **Health impacts of biomass burning in Brazil: a review**. Environmental Research, v. 182, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109074>.

FREITAS, S. R. et al. **Environmental health impacts of biomass burning in the Amazon region: a review**. Atmospheric Environment, v. 286, p. 119221, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119221>.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F. **Smoke from biomass burning in the Brazilian Amazon: properties, emissions and impacts**. Atmospheric Environment, v. 39, n. 12, p. 2155–2167, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.12.041>.

FREITAS, S. R. et al. **Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America**. Environmental Fluid Mechanics, v. 5, p. 135–167, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10652-005-0243-7>.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. **Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status**. Journal of Epidemiology & Community Health, v. 54, n. 10, p. 750–755, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1136/jech.54.10.750>.

GOUVEIA, N. et al. **Air pollution and hospitalizations in the largest Brazilian cities: time series analysis of multiple causes of admissions**. Environmental Pollution, v. 232, p. 571–579, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.051>.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento de queimadas e incêndios florestais no Brasil**. São José dos Campos, 2024. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 30 out. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. **Principal component analysis: a review and recent developments**. Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 374, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>.

MARTINS, J. A. et al. **Modeling the transport and transformation of biomass burning aerosols in the Amazon Basin**. Atmospheric Environment, v. 195, p. 234–248, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.049>.

PIVELLO, V. R. et al. **The Cerrado (Brazilian savanna): ecology, biodiversity, and threats**. Biodiversity and Conservation, v. 30, p. 2607–2630, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02200-9>.

PÖSCHL, U. **Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects**. Angewandte Chemie International Edition, v. 44, p. 7520–7540, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.200501122>.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. W. **Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect**. Journal of the Air & Waste Management Association, v. 56, n. 6, p. 709–742, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>.

REID, C. E. et al. **Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure.** *Environmental Health Perspectives*, v. 124, n. 9, p. 1334–1343, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>.

REID, J. S. et al. **The Amazon biomass burning aerosol and its impacts on air quality and climate.** *Environmental Research Letters*, v. 18, p. 035005, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbdec>.

ROMERA, K. S. et al. **Variabilidade interanual das propriedades óticas de aerossóis em biomas distintos na Amazônia Legal.** *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 25, p. 425–449, 2019.

SANTOS, Thamiris Amorim dos. **Efeitos da concentração de Black Carbon na radiação e emissividade atmosférica do Pantanal Mato-Grossense.** 2024. 90 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2024. Disponível em: [https://ri.ufmt.br/bitstream/1/6601/1/DISS\\_2024\\_Thamiris%20Amorim%20dos%20Santos.pdf](https://ri.ufmt.br/bitstream/1/6601/1/DISS_2024_Thamiris%20Amorim%20dos%20Santos.pdf). Acesso em: 3 nov. 2025.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change.** 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

SILVA, A. M. et al. **High aerosol optical depth in a rural area in central Brazil: effects of biomass burning.** *Atmospheric Research*, v. 212, p. 79–92, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.001>.

SILVA DIAS, M. A. F.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R. **Smoke transport and air quality impacts in South America.** *Environmental Pollution*, v. 247, p. 909–919, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.090>.

SILVA, H. J. A. da et al. **Seasonal Impacts of Atmospheric Aerosols on Reference Evapotranspiration in the Mato Grosso Cerrado.** *Atmosphere*, v. 16, n. 2, p. 203, 2025. Doi:10.3390/atmos16020203.

SCHWARTZ, J.; LIU, Y.; BERNEY, J.; COULL, B. **Wildfire smoke exposure and cardiorespiratory hospital admissions.** *Environmental Research*, v. 192, 110289, 2021.

URRUTIA-PEREIRA, M; SOLÉ, D; CHONG-NETO, **Wildfires, air pollution, and respiratory health in children.** *The Journal of Pediatrics*, v. 97, n. 3, p. 345–352, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide.** Geneva: World Health Organization, 2021. ISBN 978-92-4-003422-8.

MATO GROSSO. **MT em Números.** Cuiabá: Governo do Estado de Mato Grosso, 2013. Disponível em: <http://www3.mt.gov.br/mato-grosso/mt-em-numeros/>. Adaptado pelo PPCDIF/MT (2017/2020). Acesso em: 30 mar. 2026.

METROHM. **Air monitoring PM hair comparison**. [S. l.], [202-?]. Disponível em:  
<https://metrohm.scene7.com/is/image/metrohm/air-monitoring-pm-hair-comparison>.

Acesso em: 30 mar. 2026.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA. **Título da seção ou do artigo onde a imagem está**. Química Nova Interativa (QNINT). Disponível em:  
<http://qnint.sbq.org.br>. Acesso em: 30 mar. 2026.