



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA**

JOSIANE DOS SANTOS REIS

**RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO E
DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA**

**BELÉM-PARÁ
2024**

JOSIANE DOS SANTOS REIS

**RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO E
DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA**

Projeto de Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico.

Orientador: Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios.

BELÉM-PARÁ

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R375r Reis, Josiane dos Santos.
 Relação entre a concentração de material particulado e doenças
 respiratórias no município de Belém-PA / Josiane dos Santos Reis.
 — 2024.
 77 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão
 de Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2023

 1. Poluição atmosférica. 2. Doenças respiratórias. 3.
 Aerossol. 4. MP 2.5. I. Título.

CDD 551.5113

JOSIANE DOS SANTOS REIS

**RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO E
DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico.

Data de aprovação: 31/03/2023.

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL DA SILVA PALACIOS**
Data: 09/02/2024 10:49:24-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios – Orientador
Doutor em Física Ambiental
Universidade Feder

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO DE SOUZA OLIVEIRA**
Data: 16/02/2024 10:44:08-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira – Examinador Interno
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **GIORDANI RAFAEL CONCEICAO SODRE**
Data: 16/02/2024 12:48:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Giordani Rafael Conceição Sodré – Examinador Interno
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **DANIELLE CHRISTINE STENNER NASSARDEN**
Data: 09/02/2024 10:58:32-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Danielle Christine Stenner Nassarden – Examinadora Externa
Doutora em Física Ambiental
Secretaria de Educação do Estado do Pará

Documento assinado digitalmente
 **MAURICIO DO NASCIMENTO MOURA**
Data: 16/02/2024 15:55:44-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Mauricio do Nascimento Moura – Examinador Externo
Doutor em Ciências Ambientais

AGRADECIMENTOS

A Jesus primeiramente por segurar em minhas mãos durante toda essa jornada.

Minha família, em especial, a minha mãe Margarida (in memorian) e meu Pai Joaquim que além do amor incondicional, me ensinaram o valor da educação.

Ao meu irmão Airton pelas palavras de incentivo, meu Klaus sobrinho amado, minha Tia Noca pelas orações que fazem diferença na minha vida.

Ao meu orientador, Rafael Palácios, pela oportunidade e paciência que teve comigo, ajudando, orientando.

Ao nosso coordenador e professor do PPGGRD/UFPA João Athaíde pelo suporte educacional.

A Professora Fátima por todo carinho na disciplina e confecção do artigo em Educação ambiental.

Ao Secretário Cláudio pelo apoio.

A todos os professores do PPGGRD/UFPA, por todo o conhecimento repassado.

Aos companheiros da Turma de Mestrado PPGGRD/2021, Taís, Aureliano, Carla, Lourivan, Daniel, Claudio, Suelen, Fábio, Nilton essa caminhada com vocês foi incrível _ especialmente, Taís e Aureliano, que me ajudaram ao longo das disciplinas e tornaram-se amigos maravilhosos.

A Dona Bruna minha coordenadora na Emater Esloc/SSBV por me ajudar e apoiar ao longo dos estudos.

A todos que de algum modo participaram direta ou indiretamente para o alcance deste passo acadêmico.

Aos meus amigos e amigas, que me incentivam e me ajudam.

A todos e todas vocês.

Muito Obrigado!!!!

RESUMO

A poluição atmosférica, acompanhada com o agravamento das mudanças climáticas, é uma das maiores ameaças ambientais à saúde humana, principalmente para as populações mais vulneráveis como idosos e crianças. As mudanças nos setores industriais e de transportes, assim como as mudanças da cobertura e uso do solo, alteram consideravelmente as concentrações de poluentes emitidos para a atmosfera. No Brasil, e principalmente nas regiões norte e centro-oeste, a estação seca é marcada por elevados registros de focos de calor. As queimadas emitem uma mistura de gases e partículas que alteram consideravelmente as concentrações e a composição da atmosfera. Essas emissões, juntamente com as emissões provocadas pela queima de combustíveis fósseis, lançam para a atmosfera grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE) e material particulado fino (MP_{2.5}), causando grande impacto na qualidade do ar e afetando a saúde das populações. Contudo, a relação entre essas emissões e seus impactos na saúde ainda carecem de estudos para o município de Belém. Nesse sentido, esse trabalho buscou relacionar os efeitos da concentração de material particulado sobre um conjunto de doenças respiratórias para o município de Belém. Nesse trabalho foram utilizados dados das variáveis de MP_{2.5}, precipitação, temperatura, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos do Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde (SISAM) e dados de registro de doenças obtidos junto à plataforma Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS). O estudo buscou relações estatísticas entre essas variáveis considerando o período de 2003 a 2019. Para verificar a relação das variáveis meteorológicas e doenças respiratórias foram calculados coeficientes de correlação linear de Pearson. Nos resultados, as doenças respiratórias que mais afetaram os adultos segundo a correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças foram: no primeiro semestre Tuberculose e Bronquite enfisema; no segundo semestre Pneumonia, Asma, Tuberculose, Bronquite aguda e Bronquite enfisema. As doenças respiratórias que mais afetaram as crianças (<9anos) segundo a correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças foram: no primeiro semestre Tuberculose; no segundo semestre Pneumonia, Asma, Bronquite aguda e Tuberculose. A correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças entre Adultos e Crianças teve 20% de aumento. Nesse estudo na análise da série temporal sobre a relação entre os registros de doenças e MP_{2.5}, foram constatados casos mais frequentes de Pneumonia e Asma em adultos e crianças (<9 anos). A continuidade de estudos de emissões de partículas finas (MP_{2.5}) e sua relação com a saúde, principalmente por causas respiratórias se faz necessária; já que tem sido pouco

explorada na Amazonia Oriental. A disponibilidade de dados monitorados para pesquisas, podem ser usados como parâmetros para avaliar a qualidade do ar e seus impactos na saúde da população. Dessa forma, os tomadores de decisão podem estabelecer parcerias com instituições de pesquisa, órgãos governamentais, instituições financeiras com objetivo de criar políticas públicas eficazes que atendam às necessidades da população amazônica, promovendo melhoria social, econômica e ambiental. Com esse intuito elaborou-se uma proposta de melhoria ao plano de ação de vigilância a saúde sobre monitoramento de MP_{2.5} no município de Belém/PA destinado a Secretaria Municipal de Saúde de Belém SESMA/PA.

Palavras-chave: poluição atmosférica; doenças respiratórias; aerossol; MP_{2.5}

ABSTRACT

Atmospheric pollution, accompanied by worsening climate change, is one of the greatest environmental threats to human health, especially for the most vulnerable populations such as the elderly and children. Changes in the industrial and transport sectors, as well as changes in land cover and use, considerably alter the concentrations of pollutants emitted into the atmosphere. In Brazil, and especially in the north and central-west regions, the dry season is marked by high levels of heat sources. Fires emit a mixture of gases and particles that considerably alter the concentrations and composition of the atmosphere. These emissions, together with emissions caused by the burning of fossil fuels, release large quantities of greenhouse gases (GHG) and fine particulate matter (PM_{2.5}) into the atmosphere, causing a major impact on air quality and affecting the health of populations. However, the relationship between these emissions and their impacts on health still requires studies in the municipality of Belém. In this sense, this work sought to relate the effects of the concentration of particulate matter on a set of respiratory diseases in the municipality of Belém. In this work, data from the variables of PM_{2.5}, precipitation, temperature, relative humidity, wind speed and direction from the Integrated Health Environmental Information System (SISAM) and disease registration data obtained from the Department of Informatics System platform were used. Brazilian Unified Health System (DATASUS). The study sought statistical relationships between these variables considering the period from 2003 to 2019. To verify the relationship between meteorological variables and respiratory diseases, Pearson's linear correlation coefficients were calculated. In the results, the respiratory diseases that most affected adults according to the correlation established in the Pearson coefficient between the monthly lag MP and Disease Registry were: in the first semester Tuberculosis and Bronchitis emphysema; in the second semester Pneumonia, Asthma, Tuberculosis, Acute bronchitis and Emphysema bronchitis. The respiratory diseases that most affected children (<9 years old) according to the correlation established in the Pearson coefficient between the monthly lag MP and Disease Registry were: in the first semester Tuberculosis; in the second semester Pneumonia, Asthma, Acute bronchitis and Tuberculosis. The correlation established in the Pearson coefficient between the monthly MP lag and the Record of diseases among Adults and Children increased by 20%. In this study, analyzing the time series on the relationship between disease records and PM_{2.5}, more frequent cases of Pneumonia and Asthma were found in adults and children (<9 years). Continuing studies of fine particle emissions (PM_{2.5}) and their relationship with health, mainly due to respiratory causes, is necessary; as it has been little explored in Eastern Amazonia. The availability of monitored data for research can be used as

parameters to assess air quality and its impacts on the health of the population. In this way, decision makers can establish partnerships with research institutions, government agencies, and financial institutions with the aim of creating effective public policies that meet the needs of the Amazonian population, promoting social, economic and environmental improvement. With this aim, a proposal to improve the health surveillance action plan on monitoring PM_{2.5} in the municipality of Belém/PA was prepared for the Municipal Health Department of Belém SESMA/PA.

Keywords: air pollution; respiratory diseases; aerosol; PM_{2.5}.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Classificação por tamanho e composição do material particulado atmosférico em relação a sua fonte.....	24
Figura 2- Deposição do material particulado no aparelho respiratório humano.....	25
Figura 3- Sistema Respiratório.....	29
Figura 4- Representação dos efeitos a saúde em adultos devido à poluição do ar.....	35
Figura 5- Efeito da poluição do ar na saúde da criança.....	36
Figura 6- Área de estudo Cidade de Belém no Estado do Pará.....	40
Figura 7- Série temporal entre os anos de 2003-2019. a) Relação da influencia da temperatura e umidade relativa com material particulado. b) Relação da precipitação com material particulado.....	44
Figura 8- (a) Gráfico de rosas dos ventos para o período entre 2003-2019. (b) Concentração mediana do número de material particulado em função da direção do vento para a estação chuvosa (dezembro a maio) e para a estação seca (junho a novembro).....	45
Figura 9- Boxplot para estatísticas mensais (2003-2019) dos parâmetros avaliados: (a) material particulado; (b) precipitação; (c) temperatura média; (d) umidade relativa.....	46
Figura 10- Registros de Asma em adultos e crianças durante os anos 2003-2019.....	48
Figura 11- Registros de Pneumonia em adultos e crianças durante os anos 2003-2019.....	49
Figura 12- Registro de Tuberculose pulmonar em adultos e crianças durante os anos 2003-2019.....	51
Figura 13- Registros de Bronquites aguda e crônica/enfisema em adultos e crianças durante os anos 2003-2019.....	52
Figura 14- Relação entre $MP_{2.5}$ /DR/UR/Ano.....	53

Figura 15- Correlação entre as médias mensais com defasagens de mês para todo período de análise 2003-2019.....	55
Figura 16- Correlação com defasagem mensal para crianças 2003-2019.....	57
Figura 17- Correlação com defasagem mensal para adultos e crianças 2003-2019.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Padrões de qualidade do ar de acordo com a Resolução Conama nº 491/2018.....	19
Tabela 2- Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para Poluentes e suas Concentrações.....	20
Tabela 3- Poluição do ar está no ranking dos fatores que causam mortes no globo.....	28
Tabela 4- Estatística descritiva entre os anos de 2003-2019 para o material particulado e os parâmetros meteorológicos (temperatura, UR, direção e velocidade do vento, precipitação).....	46
Tabela 5- coeficientes de correlação de Pearson médias anuais adultos (p-val <0,05).....	53
Tabela 6- coeficientes de correlação de Pearson médias anuais crianças (p-val <0,05).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BVS Biblioteca Virtual em Saúde

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

DATASUS Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil

GEE Gases do Efeito Estufa

FAPESP Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MP Material Particulado

OMS Organização Mundial da Saúde

OPAS Organização Pan Americana de Saúde

PNMA Política Nacional do Meio Ambiente

PNVS Política Nacional de Vigilância em Saúde

PRONCOVE Programa de Controle de Poluição do Ar

PRONAR Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar

SISAM Sistema de Informações Ambientais a Saúde

PMS Plano Municipal de Saúde

SESMA Secretaria Municipal de Saúde do Município de Belém/PA

SESPA Secretaria de Estado da Saúde do Pará

SUS Sistema Único de Saúde

UNIFESP Universidade Federal de São Paulo

WHO World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Problemática.....	16
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo geral.....	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Poluição atmosférica.....	18
2.1.1 Gases.....	21
2.1.2 Material particulado.....	22
2.1.3 Material particulado no clima.....	25
2.1.4 Material particulado na saúde.....	26
2.2 Doenças respiratórias.....	28
2.2.1 Pneumonia.....	30
2.2.2 Tuberculose.....	31
2.2.3 Asma.....	32
2.2.4 Bronquite.....	33
2.3 Efeitos da poluição do Ar em adultos e crianças:.....	34
2.3.1 Crianças.....	35
2.4 Plano de ações de vigilância a saúde.....	36
3 MATERIAL E METÓDOS.....	39
3.1 Área de estudo.....	39
3.2 Medidas de material particulado MP 2.5.....	40
3.3 Registros de doenças respiratórias.....	41
3.4 Análise dos dados e métodos.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Parâmetros micrometeorológicos e MP 2.5.....	43
4.2 Registros de asma.....	47
4.2.1 Registros de pneumonia.....	48
4.2.2 Registros de tuberculose pulmonar.....	49
4.2.3 Registros de bronquite.....	51
4.3 Relação mensal e anual entre MP 2.5 e as doenças respiratórias.....	52
4.3.1 Relação entre MP 2.5 e os registros adultos de doenças respiratórias.....	54

4.3.2 Relação entre MP 2.5 e os registros de doenças respiratórias em crianças (<9 anos).....	56
5 CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A– Produto técnico da pesquisa.....	70

1 INTRODUÇÃO

A poluição do ar é a contaminação do ambiente interno ou externo por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera. Dispositivos de combustão doméstica, veículos motorizados, instalações industriais e incêndios florestais são fontes comuns de poluição do ar (Who, 2022).

Emissões naturais, como tempestades de areias em grandes áreas desérticas, incêndios acidentais e ação de raios elétricos que podem gerar óxidos de nitrogênio (NO_x), podem contribuir na geração de poluentes atmosféricos secundários (Guarnieri; Balmes, 2014; Who, 2005; Santos *et al.*, 2021).

Poluentes de grande preocupação para a saúde pública incluem material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂). A poluição do ar externo e interno causa doenças respiratórias e outras, e é uma importante fonte de morbidade e mortalidade da população mundial (Who, 2022).

A poluição atmosférica é uma das maiores ameaças ambientais à saúde humana, juntamente com a mudança do clima. Melhorar a qualidade do ar pode ajudar os esforços de mitigação da mudança do clima, enquanto a redução das emissões, por sua vez, melhorará a qualidade do ar. Ao se esforçar para atingir esses níveis de diretrizes, os países estarão tanto protegendo a saúde quanto mitigando a mudança do clima em nível mundial (Opas, 2021).

Levando em consideração que a poluição do ar caminha proporcionalmente com aumento da urbanização, o município de Belém, capital do Estado do Pará, seguiu o mesmo panorama das outras metrópoles brasileiras. O crescimento horizontal desordenado e o processo de conurbação originaram a região metropolitana de Belém, onde a indústria principalmente a automobilística se desenvolveu fortemente (Brabo; Miyagawa, 2014).

Belém tem uma área de unidade territorial [2022] de 1.059,466 km², com população de acordo com último censo [2022] de 1.303.403 pessoas (Ibge, 2023). Sua frota veicular [2022] conta com 511.753 veículos (Ibge, 2023), o aumento do número de automóveis amplia significativamente as emissões de poluentes atmosféricos, causando o aparecimento de várias doenças, principalmente, as doenças que atingem o sistema respiratório.

Segundo Carmo *et al.* (2010), a Amazônia é a região com maior taxa de desmatamento. O desmatamento precede as queimadas, com fortes impactos sobre a saúde humana. Independente se em áreas remotas ou rurais, os poluentes das queimadas sejam gasosos ou materiais particulado finos apresentam efeitos diretos para o sistema respiratório, principalmente em grupos mais vulneráveis como idosos e crianças. Entretanto, os efeitos das queimadas sobre a saúde humana têm sido pouco estudados.

Dentre os diversos poluentes liberados na queima de biomassa na Amazônia, o material particulado ganhou destaque. As emissões de partículas finas decorrentes das queimadas representam cerca de 60% do material particulado emitido para a atmosfera (Brasil, 2009; Artaxo *et al.*, 2006; Hacon *et al.*, 1995; Carmo *et al.*, 2010).

1.1 Problemática

Ao longo dos últimos anos ocorreram diversas mudanças tanto nos setores industriais e de transportes, quanto mudanças no uso da terra como: as queimadas. Essas fontes são emissoras de poluentes atmosféricos, pois a queima de combustíveis fósseis e a queima de biomassa devido ao desmatamento e áreas de pastagens emitem os (GEE) gases do efeito estufa e material particulado (MP_{2.5}); causando grande impacto na qualidade do ar e afetando a saúde das populações. Um dos grandes problemas nos centros urbanos, nesse caso, Belém, é que não existem análise e monitoramento de poluentes atmosféricos para medir a qualidade do ar, o que seria de grande importância para estabelecer estratégias de mitigação da poluição atmosférica.

1.2 Justificativa

Poucas pesquisas têm sido feitas sobre as emissões de poluentes atmosféricos e seus efeitos na saúde dos moradores da cidade de Belém. O tema é importante e carece ser aprofundado, pesquisas sobre análise e monitoramento dos tipos de poluentes lançados no ar e sua relação com doenças respiratórias são de grande relevância, de forma a contribuir com a construção de políticas públicas, visando a mitigação e compensação de impactos a população local. Diante do exposto e sob a ótica de sua valorização, esse trabalho elaborou uma melhoria na proposta do plano de vigilância a saúde do município de Belém, direcionado aos órgãos competentes, que ajude a minimizar os problemas da poluição do ar a saúde dos habitantes deste município.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Quantificar a relação entre concentração de material particulado e um conjunto de doenças respiratórias para o município de Belém e seu impacto a saúde da população; elaborar uma melhoria na proposta do plano de ação de vigilância a saúde tornando-o mais efetivo para doenças respiratórias específicas e mais comuns.

1.3.2 Objetivos específicos

- i. Caracterizar as variações sazonais e interanuais da concentração de material particulado;
- ii. Analisar a série temporal dos registros de doenças respiratórias focando nos registros de casos em adultos e crianças (< 9 anos);
- iii. Relacionar os registros de doenças respiratórias com a concentração de material particulado;
- iv. Elaborar uma proposta de melhoria ao plano de ação de vigilância a saúde destinado a Prefeitura Municipal de Belém.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Poluição atmosférica

Não há como dissociar a análise dos parâmetros de qualidade do ar, do próprio conceito de poluição atmosférica, o qual está relacionado com a emissão, direta ou indiretamente, de contaminantes na atmosfera, alterando sua composição natural e causando danos aos seres vivos e recursos naturais (Breder *et al.*, 2020).

Em 1958, a Organização Mundial de Saúde (OMS) elaborou um dos primeiros documentos sobre a poluição do ar como uma ameaça à saúde e ao bem-estar dos povos em todo mundo, sugerindo procedimentos de ações preventivas e corretivas entre seus países membros visando proteção à saúde.

No Brasil, o jurista Hely Lopes Meirelles (1966) já falava da importância de medidas técnicas e legais de combate às atividades poluidoras do ar, mesmo a legislação brasileira deficiente sobre a matéria, já oferecia base legal suficiente.

Segundo a Lei Federal Nº 6.938 de 1981 que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), em seu art. 3º entende por poluição: a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Regulamentadas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) vieram as Resoluções: Nº 18/1986 _ Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE; Nº 005/1989_ Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR; Nº 003/1990_ Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

A criação do PRONAR veio com objetivo de conduzir a administração da poluição atmosférica do país, e padronizar, com regulamentação os padrões nacionais de qualidade do ar, partindo de uma política de não deterioração da qualidade do ar, mas sim de prevenção. No programa definiram-se estratégias que deverão ser desenvolvidas com ênfase à conservação ambiental e ao cumprimento dos padrões de qualidade do ar que foram estabelecidos nas resoluções do CONAMA, que são: estabelecimento de limites máximos de emissão; adoção de padrões nacionais de qualidade do ar; monitoramento da qualidade do ar; prevenção de deterioração significativa da qualidade do ar; gerenciamento do licenciamento de fontes de poluição do ar; inventário nacional de fontes e poluentes do ar; desenvolvimento de gestões políti-

cas; promoção do desenvolvimento nacional na área de poluição do ar e estabelecimento de ações de curto, médio e longo prazo (Gonçalves, 2020).

Em 2005 a Organização Mundial de Saúde (OMS) lança um guia de qualidade do ar que fornece uma revisão abrangente das questões que afetam o uso das diretrizes, que agora se aplicam em todo o mundo, na avaliação de riscos e desenvolvimento de políticas para reduzir os efeitos da poluição do ar na saúde. Este guia apresenta valores de referência revisados para os quatro poluentes atmosféricos mais comuns: material particulado, ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre. Conhecimento sobre as propriedades perigosas dos poluentes e a indicação do risco relacionado à exposição, resumidas pelas diretrizes, fornecem uma contribuição científica essencial para o desenvolvimento de estratégias de gestão de qualidade do ar.

A partir do lançamento desse guia muitos países viram à necessidade de reformular suas legislações e ações voltadas a qualidade do ar, mediante isto, o Governo Brasileiro revisa suas normas surgindo a Resolução CONAMA nº 491, de 10 de novembro de 2018 que define em seu Art. 2º: I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade.

Esta resolução nasce como parte estratégica do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, com referências do Guia de Qualidade do Ar recomendado pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005, bem como seus critérios de implementação (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1- Padrões de qualidade do ar de acordo com a Resolução Conama nº 491/2018

Poluente Atmosférico	Período de Referência	(continua)				
		PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		mg/m ³	m/m ³	mg/m ³	mg/m ³	ppm
Material Particulado – MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	
	Anual ¹	40	35	30	20	
Material Particulado – MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	
	Anual ¹	20	17	15	10	
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	125	50	30	20	
	Anual ¹	40	30	20		
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	
	Anual ¹	60	50	45	40	
Ozônio – O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	
	Anual ¹	40	35	30	20	

Poluente Atmosférico	Período de Referência	(conclusão)			
		PI-1	PI-2	PI-3	PF
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³				9
Partículas totais em Suspensão - PTS	24 horas				240
	Anual ⁴				80
Chumbo – Pb5	Anual ¹				0,5
1 – média aritmética anual					
2 – Média horária					
3 – Máxima média móvel obtido dia					
4 – Média geométrica anual					
5 – medido nas partículas totais em suspensão					

Fonte: (Brasil, 2018).

Tabela 2- Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para Poluentes e suas Concentrações.

Nível	Poluentes e Concentrações				
	SO ₂ mg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado MP ₁₀ mg/m ³ (média de 24h)	CO Ppm (média móvel de 8h) MP _{2.5} mg/m ³ (média de 24h)	O ₃ mg/m ³ (média móvel de 8h)	NO ₂ mg/m ³ (média de 1h)
Atenção	800	250	125	15	200
Alerta	1.600	420	210	30	400
Emergência	2.100	500	250	40	600

Fonte: (Brasil, 2018).

Segundo Kawashima (2015) as fontes de emissão de poluentes atmosféricos abrangem duas categorias: os naturais e as antropogênicas. Como exemplo de fontes de emissões naturais podem ser mencionadas as emissões vulcânicas, os incêndios florestais, os aerossóis dos oceanos, processos microbiológicos, entre outros.

Já as fontes antropogênicas são aquelas resultantes das inúmeras atividades humanas, por exemplo: o refino de petróleo, a queima de combustíveis fósseis e não fósseis, as indústrias de transformação, as indústrias extrativistas e a ressuspensão de poeira pelos meios de transporte.

A poluição do ar, por particulados finos, óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono e aldeídos, por exemplo, tem origem por processos de combustão no setor de transportes e nas chamadas fontes fixas, em especial aquelas associadas à geração de energia.

Cavalcanti (2010) enquadra as diversas fontes de poluição dentro da seguinte classificação:

Fontes fixas: representadas por dois grandes grupos: De atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como as queimas de resíduos, as lavanderias e queima de combustíveis em padarias, hotéis, hospitais e outras atividades tidas usualmente como fontes de poluição não-

industriais; de atividades individualmente significativas, tendo em vista a variedade ou intensidade de poluentes emitidos, como a poluição resultante dos processos industriais;

Fontes móveis: compostas pelos meios de transporte aéreo, marítimo e terrestre, em especial os veículos automotores que, pelo número e distribuição ocupacional espacial, passam a constituir-se como fontes de destaque nas áreas urbanas;

Fontes naturais: associadas aos processos naturais de emissão, como as emissões vulcânicas, o "spray" marinho, a poeira cósmica e o arraste eólico, entre outros.

2.1.1 Gases

A atmosfera tem na sua composição natural principalmente nitrogênio (78%), oxigênio (21%), argônio, vapor de água e outros gases com menores concentrações, como ozônio, metano, óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre. Entre esses gases, temos os que estão associados com a manutenção da temperatura de equilíbrio da Terra, os chamados gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozônio (O_3), vapor de água e outros (Artaxo, 2021).

Processos como: combustão, evaporativos, suspensão de partículas, desgaste de materiais, processos de queima geram poluentes do ar diferentes e em grandes quantidades, podendo também atribuir aos GEEs essa forma de poluição.

Foi a partir dessas análises que a OMS em 2005 definiu diretrizes mais rigorosas sobre qualidade do ar em nível global, estabelecendo padrões de limites para poluentes principais que representam riscos à saúde. Com isso, as diretrizes atuais se aplicam principalmente sobre os gases e material aqui descrito: Ozônio (O_3), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Dióxido de Enxofre (SO_2) e Material Particulado (MP).

Ozônio (O_3)

O ozônio ao nível do solo, que não deve ser confundido com a camada de ozônio na atmosfera superior é um dos principais constituintes do smog fotoquímico. É formado pela reação com a luz solar (reação fotoquímica) de poluentes como óxidos de nitrogênio (NO_x) provenientes de emissões veiculares e industriais e compostos orgânicos voláteis (COVs) emitidos por veículos, solventes e indústria. Como resultado, os níveis mais altos de poluição por ozônio ocorrem durante os períodos de tempo ensolarado. O excesso de ozônio no ar pode ter um efeito marcante na saúde humana. Pode causar problemas respiratórios, desencadear asma, reduzir a função pulmonar e causar doenças pulmonares (Who, 2021).

Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

O NO₂ é a principal fonte de aerossóis de nitrato, que formam uma importante fração de MP_{2.5} e, na presença de luz ultravioleta, de ozônio. As principais fontes de emissões antrópicas de NO₂ são os processos de combustão (aquecimento, geração de energia e motores de veículos e navios). Estudos epidemiológicos mostraram que os sintomas de bronquite em crianças asmáticas aumentam em associação com a exposição prolongada ao NO₂. O crescimento reduzido da função pulmonar também está ligado ao NO₂ em concentrações atualmente medidas (ou observadas) em cidades da Europa e América do Norte (Who, 2021).

Dióxido de Enxofre (SO₂)

SO₂ é um gás incolor com odor forte. É produzido a partir da queima de combustíveis fósseis (carvão e petróleo) e da fundição de minérios que contêm enxofre. A principal fonte antropogênica de SO₂ é a queima de combustíveis fósseis contendo enxofre para aquecimento doméstico, geração de energia e veículos automotores. O SO₂ pode afetar o sistema respiratório e as funções dos pulmões e causar irritação nos olhos. A inflamação do trato respiratório causa tosse, secreção de muco, agravamento da asma e bronquite crônica e torna as pessoas mais propensas a infecções do trato respiratório. As internações hospitalares por doença cardíaca e mortalidade aumentam nos dias com níveis mais elevados de SO₂. Quando o SO₂ se combina com a água, forma ácido sulfúrico; este é o principal componente da chuva ácida que é uma causa do desmatamento (Who, 2021).

2.1.2 Material particulado

Sob a denominação geral de material particulado se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, suspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (Cetesb, 2022).

Também conhecido como aerossóis, consiste em uma classificação física de partículas encontradas no ar, como poeira, fuligem, fumaça e gotículas líquidas. Sendo assim, não é uma substância, mas uma mistura de vários componentes (Braga *et al.*, 2001; Polezer, 2015; Gur-gatz, 2018).

As partículas de aerossóis presentes na atmosfera provêm tanto de fontes naturais como antrópicas. Como fontes naturais, podem-se citar os aerossóis marinhos, a poeira de solo, emissões vulcânicas e biogênicas, entre outras. Como fontes antrópicas, destacam-se na América do Sul as emissões de queimadas devido às mudanças de uso da terra (principalmente na fronteira agrícola na Amazônia) e as emissões em áreas urbanas, com foco nas emissões veiculares. Importante ressaltar que além de serem emitidas diretamente por suas fontes (os aerossóis primários), partículas também podem ser produzidas na atmosfera livre pelo processo de “Conversão Gás-Partícula” (GPC, do inglês *gas-to-particle conversion*), ou seja, gases que uma vez emitidos passam por processos químicos e físicos que tem como consequência final a sua transformação em partículas. Tais aerossóis são denominados “secundários”. O processo GPC é importante tanto em condições poluídas como limpas, sendo, por exemplo, o mais importante mecanismo de formação de CCN naturais na região amazônica (Poschl *et al.*, 2010; Martin *et al.*, 2010b *apud* Costa *et al.*, 2014).

De acordo com a classificação da Cetesb (2022), o tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores maiores os efeitos provocados. A Figura 1 apresenta critérios de classificação do material particulado (MP) e faixas de tamanhos de diferentes tipos de partículas com base em seus diâmetros. O particulado pode também reduzir a visibilidade na atmosfera.

Os materiais particulados podem ser classificados como: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP₁₀), Partículas Inaláveis Finas (MP_{2.5}) e Fumaça (FMC).

Partículas Totais em Suspensão (PTS)

Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 µm. Uma parte dessas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.

Partículas Inaláveis (MP₁₀)

Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm. Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 µm, podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.

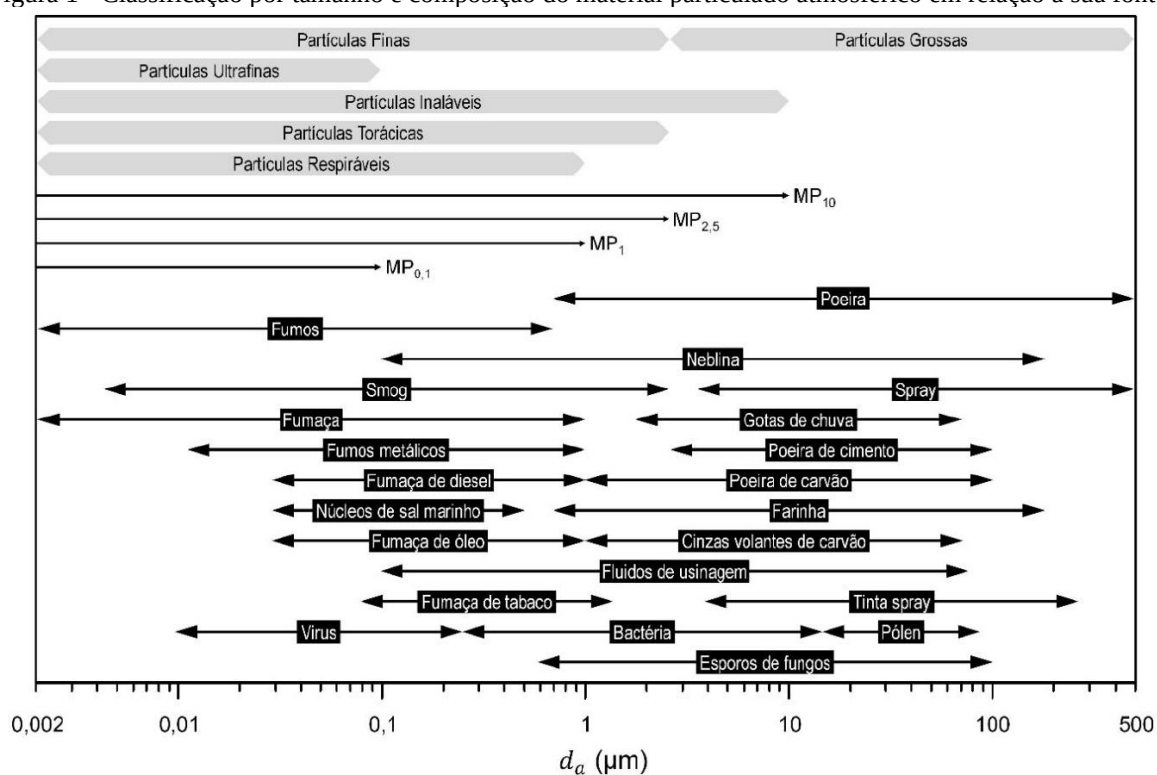
Partículas Inaláveis Finas (MP_{2.5})

Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2.5 μm . Por causa do seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.

Fumaça (FMS)

Está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera.

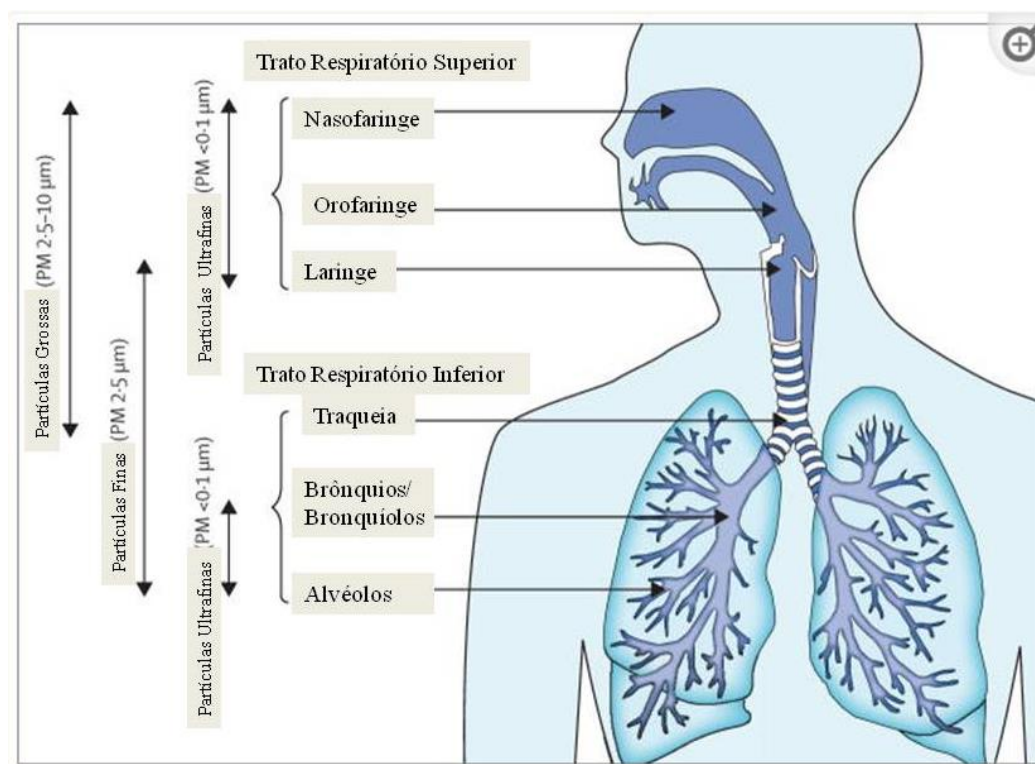
Figura 1 - Classificação por tamanho e composição do material particulado atmosférico em relação a sua fonte.



Fonte: Brito *et al.* (2018).

A penetração do material particulado (MP) se dá por diferentes partes do sistema respiratório humano (Figura 2); é maior quanto menor for a partícula, o MP com partículas mais grossas com diâmetro aerodinâmico de 2.5–10 μm , deposita-se principalmente na cabeça e nas grandes vias aéreas condutoras; Partículas finas MP ou MP_{2.5} depositam-se em todo o trato respiratório, particularmente nas pequenas vias aéreas e nos alvéolos; Partículas ultrafinas de MP (<0,1 μm) depositam-se nos alvéolos; MP₁₀ inclui as frações grossas, finas e ultrafinas. (Guarniere; Balmes, 2014).

Figura 2- Deposição do material particulado no aparelho respiratório humano.



Fonte: Adaptado de Guarnieri e Balmes (2014)

2.1.3 Material particulado no clima

De acordo com trabalhos publicados por (Artaxo *et al.*, 2009; Rocha & Yamasoe, 2013; Brito *et al.*, 2018). As partículas de aerossóis influenciam o clima de duas maneiras principais:

No processo direto, a camada de aerossóis absorve a radiação solar, gerando um aquecimento nessa camada de ar e resfriando nas inferiores, assim como espalhando parte da radiação solar de volta ao espaço, que mudam os fluxos radiativos líquidos na atmosfera e à superfície.

O processo indireto está relacionado ao fato de que o aerossol induza mudanças nas propriedades da nuvem. As nuvens são um ingrediente crítico do balanço de radiação, e o aumento da população de partículas de aerossóis muda o número de núcleos de condensação de nuvem (NCN) e as propriedades das nuvens tais como o albedo e o tempo de vida.

Nas nuvens, quanto maior o número de núcleos presentes, mais gotas de pequena dimensão podem ser formadas. Por outro lado, gotas maiores serão formadas sob menor concentração de núcleos. Dessa forma, nuvens com muitos NCN apresentam área superficial elevada o que resulta em uma reflexão da luz solar incidente cerca de 30 % maior em comparação às nuvens formadas por poucos, porém maiores NCN. Além disso, nuvens

formadas por gotas muito pequenas terão tempo de vida maior e, conseqüentemente, capacidade de refletir a radiação vinda do sol por um maior período de tempo.

Partículas emitidas, tanto por fontes naturais quanto antrópicas, podem atuar como NCN, desde que tenham afinidade por água. Desse modo, emissões antrópicas que alteram as concentrações desses núcleos na atmosfera têm potencial para afetar a formação de nuvens e, conseqüentemente, os padrões de chuva.

Portanto, a concentração dessas partículas na atmosfera pode causar alterações no balanço de energia radiativa, no ciclo hidrológico afetando a distribuição e a disponibilidade de água e provoca condições que levam as mudanças climáticas no planeta.

O aumento na concentração de aerossóis atmosféricos provoca uma alteração no saldo de radiação, denominada forçante radiativa do aerossol.

2.1.4 Material particulado na saúde

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2016, 91% da população mundial vivia em locais onde as diretrizes de qualidade do ar não eram atendidas, o que resulta em um número estimado de sete milhões de mortes anualmente. O novo padrão brasileiro de qualidade do ar, CONAMA 491/2018, foi à primeira revisão em mais de duas décadas e tem como meta final as diretrizes da OMS para a qualidade do ar, embora não tenha sido estabelecido prazo para implementação (Fernandes *et al.*, 2020).

Dentre os poluentes atmosféricos, o material particulado é um dos que mais afetam a saúde das pessoas (Andreão *et al.*, 2020). Embora sejam numerosos os estudos epidemiológicos sobre os efeitos do MP urbano na saúde humana, são relativamente poucos os que focalizam o impacto da poluição do ar decorrente da queima de biomassa (Alves *et al.*, 2017).

A queima de biomassa é uma questão chave em termos de emissões de poluição do ar em grandes áreas da América do Sul, e em particular na Bacia Amazônica. Grandes emissões de gases residuais e aerossóis têm impactos negativos significativos na saúde durante a estação seca (Ignotti *et al.*, 2010).

As queimadas e a consequente emissão de gases, material particulado, compostos orgânicos voláteis (VOCs) na atmosfera comprometem as condições de saúde das populações nas suas áreas de influência, ocorrendo com mais intensidade na área definida como Arco do Desmatamento, que abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, parte do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (Barcellos *et al.*, 2019).

Em áreas urbanas costuma-se observar exposição crônica, mas a fumaça da queima de biomassa representa uma exposição aguda que, dependendo da duração da estação seca, pode

durar cerca de três meses ao ano. Consequentemente, pode-se supor que a exposição à fumaça da queima de biomassa provavelmente produz intensidades de efeitos que diferem da exposição à poluição do ar urbana (Ignotti *et al.*, 2010).

Partículas finas, menores que 2.5 micrômetros, são emitidas pela queima de biomassa e têm tempo de residência relativamente longo na atmosfera (em torno de duas semanas). Essas partículas podem ser transportadas por longas distâncias e, consequentemente, têm um impacto regional que abrange uma grande área da América do Sul. A qualidade do ar nessa grande região é severamente afetada, com níveis de poluição do ar muito superiores aos padrões de qualidade do ar ambiente, devido ao tamanho fino das partículas na fumaça da queima de biomassa (Ignotti *et al.*, 2010).

O estudo das partículas finas (MP_{2.5}) e sua relação com a saúde tem sido pouco explorados no Brasil. Somente com a Resolução CONAMA 491/2018 que o MP_{2.5} foi considerado nacionalmente um poluente de interesse, enquanto a Organização Mundial da Saúde traz diretrizes para sua concentração ambiental desde 2006 (Andreão *et al.*, 2020).

É claro que os efeitos do MP dependem não apenas do tamanho da partícula, mas também da composição do MP. A identificação de todos os componentes tóxicos dentro do conjunto de MP é uma tarefa extremamente desafiadora, dada a complexidade da composição e número de compostos (Alves *et al.*, 2017).

Os impactos e efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana afetam diferentemente os grupos etários, sendo mais suscetíveis à poluição as crianças e idosos, ou aqueles com doenças crônicas, como a asma e outras doenças inflamatórias, que são agravadas pela poluição, principalmente por gases tóxicos e pelo material particulado fino (Barcellos *et al.*, 2019).

Para promover políticas de redução da poluição atmosférica, é necessário um entendimento do contexto local do ar ambiente atual, geralmente obtido por meio de técnicas de monitoramento da qualidade do ar e avaliação da saúde. De acordo com o diagnóstico da rede brasileira de monitoramento da qualidade do ar, apenas nove dos 26 estados brasileiros e o Distrito Federal possuem rede de monitoramento. Entre as cidades brasileiras, apenas 1,7% são cobertas por estações de monitoramento e 78% dessas cidades estão na região Sudeste. Isso indica que a cobertura no Brasil não é apenas escassa, mas também concentrada em regiões específicas. Além disso, há uma lacuna nos poluentes monitorados: o monitoramento do MP_{2.5}, por exemplo, só ocorre no Sudeste brasileiro (Iema, 2014; Andreão, 2018 *apud* Fernandes *et al.*, 2020).

Portanto, o estudo das emissões de MP_{2.5} pode ser significativo ao avaliar os impactos na saúde. A disponibilidade de dados monitorados para pesquisas, estimativas de internações,

mortes e seus custos podem ser uma medida direta do uso dos riscos relativos de estudos epidemiológicos e sua relação com a saúde, principalmente por causas respiratórias, dando uma visão mais clara à população e aos tomadores de decisão sobre o efeito dos poluentes atmosféricos na saúde. Para assim, aplicar políticas públicas viáveis que gerem resultados positivos em termos de redução da emissão e concentração ambiental de poluentes atmosféricos e, conseqüentemente, melhoria da saúde da população. (Andreão *et al.*, 2020).

2.2 Doenças respiratórias

A poluição do ar representa atualmente o maior risco ambiental para saúde. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), são sete milhões de mortes por ano devido a problemas respiratórios causados por poluentes, como asma e o câncer de pulmão (Tabela 3). As doenças respiratórias são condições médicas que afetam os pulmões e a capacidade de respiração. Além das condições ambientais, há também os fatores genéticos e alérgicos que causam e agravam essas doenças respiratórias (Pechim, 2020).

Tabela 3- Poluição do ar está no ranking dos fatores que causam mortes no globo.

Fatores de risco	Óbitos × 1.000 (IC95%)	DALY × 1.000 (IC95%)	Ranking global
Dieta (todas as causas)	10.900(10.100-11.700)	255.000(234.000-274.000)	1
Hipertensão arterial	10.400 (9.400-11.500)	218.000 (198.000-237.000)	2
Tabagismo (ativo + ambiental + não fumado)	8.100 (7.800-8.420)	213.000 (201.000-227.000)	3
Glicemia de jejum elevada	6.530 (5.230-8.230)	171.000 (144.000-201.000)	4
Poluição do ar (total)	4.900 (4.400-5.400)	147.000 (132.000-162.000)	5
Poluição do ar ambiental (MP 2.5)	2.940 (2.500-3.360)	83.000 (71.400-94.300)	
Poluição do ar ambiental (ozônio)	472 (177-768)	7.370 (2.740-12.000)	
Poluição do ar intradomiciliar	1.640 (1.400-1.930)	59.500 (50.800-68.900)	

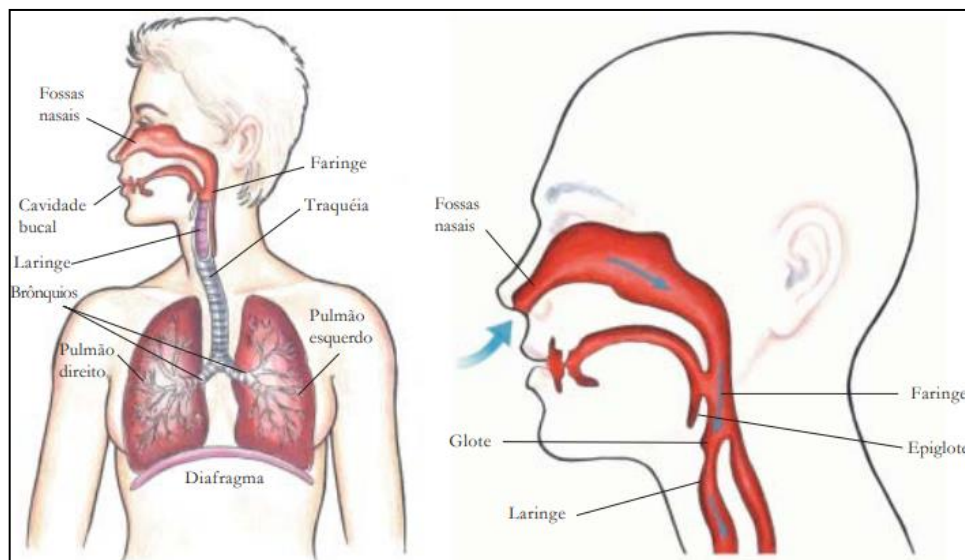
Fonte: Santos *et al.* (2021).

O Sistema Respiratório (Figura 3) é utilizado de forma autônoma. Nele pode-se distinguir uma porção condutora que compreende as fossas nasais, nasofaringe, laringe, traqueia, brônquios e bronquíolos e uma porção respiratória representada pelas porções terminais da árvore brônquica que contém os alvéolos, responsáveis pela troca gasosa. O pulmão é formado pela árvore brônquica e pelos milhões de alvéolos. Durante a passagem do ar pelas vias aéreas ele é umidificado, aquecido e filtrado de corpos estranhos pela mucosa e cílios que revestem as porções condutoras do sistema respiratório (Brasil, 2003).

Na poluição estão presentes várias substâncias extremamente nocivas para o sistema respiratório, que podem causar um processo inflamatório na via aérea e reduzir a movimentação dos cílios que temos no revestimento de todo o trato respiratório. Esses cílios

são um importante mecanismo de defesa, mas devido à poluição, podem ficar reduzidos e danificados (Pechim, 2020).

Figura 3- Sistema Respiratório: órgãos, porções condutoras e porção respiratória.



Fonte: Brasil (2003).

Os danos provocados pelos poluentes particulados e gasosos dependem da concentração inalada, das defesas do sistema respiratório e da solubilidade, no caso dos gases. Entre os possíveis mecanismos envolvidos nos efeitos cardiorrespiratórios estão a inflamação e o estresse oxidativo induzido por espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (ERON) geradas pela inalação dos poluentes (Rao, X. *et al.*, 2018; Al-Kindi *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021).

As emissões de partículas finas decorrentes das queimadas representam cerca de 60% do material particulado emitido para a atmosfera, contribuindo de forma significativa para a alteração da composição química da atmosfera amazônica, com implicações importantes em nível local, regional e global, com valores que chegam a ultrapassar os limites observados em muitos centros urbanos (Hacon *et al.*, 1995; Artaxo *et al.*, 2002; Carmo *et al.*, 2010).

De acordo com Artaxo *et al.* (2009) e Andrade Filho *et al.* (2013) grande parte da queima de biomassa ocorre no estado Pará, Roraima e Mato Grosso na região conhecida como “arco do desmatamento” os aerossóis gerados pela queima de biomassa podem se locomover por longas distâncias, influenciando assim outras áreas e regiões, o que tem impactos relevantes na saúde da população amazônica.

Em seu trabalho Mascarenhas *et al.* (2008), corrobora que a poluição atmosférica na Amazônia devido principalmente a ação das queimadas, é uma fonte de produção de material particulado e gases tóxicos que prejudicam a qualidade do ar e atingem as populações mais

vulneráveis como: crianças, idosos e adultos portadores de doenças prévias, incidindo em várias doenças respiratórias, consultas, internações e podendo levar até mesmo a óbito.

A cada ano, estima-se que a exposição à poluição do ar cause sete milhões de mortes prematuras e resulte na perda de milhões de vidas saudáveis. Em crianças, isso pode incluir redução do crescimento e função pulmonar, infecções respiratórias e agravamento da asma. Em adultos, a cardiopatia isquêmica e o acidente vascular cerebral são as causas mais comuns de morte prematuras atribuíveis à poluição atmosférica, e também estão surgindo evidências de outros efeitos, como diabetes e doenças neurodegenerativas (Opas, 2021).

No Brasil, as doenças do aparelho respiratório constituem o segundo principal motivo de internações hospitalares, totalizando 5.928.712 hospitalizações entre os anos de 2013 e 2017. Quanto aos óbitos, as complicações respiratórias são a principal causa de morte durante internações, sendo responsáveis por 19,5% dos casos (Gomes *et al.*, 2017; Dias *et al.*, 2020).

Para o estudo foram elencadas as quatro DRCs (Doenças Respiratórias Crônicas) mais comuns: Pneumonia, Tuberculose, Asma, Bronquite (Aguda e Crônica/Enfisema); que atingem pessoas de todas as idades e que estão tendo um aumento significativo entre idosos e crianças a nível global.

2.2.1 Pneumonia

Pneumonia é uma infecção que se instala nos pulmões, órgãos duplos localizados um de cada lado da caixa torácica. Pode acometer a região dos alvéolos pulmonares onde desembocam as ramificações terminais dos brônquios e, às vezes, os interstícios (espaço entre um alvéolo e outro). Basicamente, pneumonias são provocadas pela penetração de um agente infeccioso ou irritante (bactérias, vírus, fungos e por reações alérgicas) no espaço alveolar, onde ocorre a troca gasosa. Esse local deve estar sempre muito limpo, livre de substâncias que possam impedir o contato do ar com o sangue. Diferentes do vírus da gripe, que é altamente infectante, os agentes infecciosos da pneumonia não costumam ser transmitidos facilmente (Varela, 2011).

Sintomas:

Febre alta; tosse; dor no tórax; alterações da pressão arterial; confusão mental; mal-estar generalizado; falta de ar; secreção de muco purulento de cor amarelada ou esverdeada; toxemia (danos provocados pelas toxinas carregadas pelo sangue); prostração (fraqueza).

Fatores de risco:

- Fumo: provoca reação inflamatória que facilita a penetração de agentes infecciosos;
- Álcool: interfere no sistema imunológico e na capacidade de defesa do aparelho respiratório;
- Ar-condicionado: deixa o ar muito seco, facilitando a infecção por vírus e bactérias;

- Resfriados mal cuidados;
- Mudanças bruscas de temperatura.

Tipos de pneumonia:

Existem diversos tipos de pneumonia, a depender do agente causador da doença. As modalidades mais comuns são as seguintes:

- Pneumonia viral: a infecção é causada por vírus. Quando eles são aspirados, chegam até os pulmões e provocam inflamação nos alvéolos (estruturas pulmonares responsáveis por efetuar o transporte do oxigênio para o sangue);
- Pneumonia bacteriana: o sistema imunológico fraco não consegue neutralizar o ataque de bactérias (geralmente elas se encontram no nariz, na boca, na garganta, na pele e no sistema digestivo);
- Pneumonia química (pneumonite): é causada pela respiração e consequente inalação de substâncias que são agressivas para os alvéolos e o pulmão, como a fumaça, os agrotóxicos e os demais produtos químicos;
- Pneumonia por fungos: é o tipo mais agressivo. Essa enfermidade costuma acometer pacientes que vivem com doenças crônicas, como pessoas com HIV ou câncer (Omronbrasil, 2020).

Comorbidades:

Podendo evoluir para insuficiência respiratória com necessidade de intubação e suporte de aparelhos mecânicos (Unifesp, 2020).

2.2.2 Tuberculose

Apesar de ser uma enfermidade antiga, que pode ser prevenida e curada, a tuberculose continua sendo um importante problema de saúde pública, prevalecendo em condições de pobreza e contribuindo para a perpetuação da desigualdade social (Centro Universitário da Vitória de Santo Antão, 2022).

Chamada também de tísica pulmonar, a tuberculose é uma doença infecciosa e altamente contagiosa. Esse distúrbio, que afeta principalmente os pulmões, pode atingir também os rins, a pele, os ossos, os gânglios e outros tecidos em menor grau. É causada pelo *Mycobacterium tuberculosis* ou bacilo de Koch (Omronbrasil, 2020).

A transmissão é direta, de pessoa a pessoa – ao falar, espirrar ou tossir, o doente expõe pequenas gotas de saliva que contêm o agente infeccioso e podem ser aspiradas por outro indivíduo, contaminando-o. Até mesmo, devido à presença em um cômodo que apresenta os bacilos. Afinal, as partículas contagiosas podem permanecer no ambiente por um grande período, especialmente quando se trata de um local pouco ventilado (Centro Universitário da Vitória de Santo Antão, 2022).

Calcula-se que, durante um ano, em uma comunidade, uma pessoa com tuberculose pulmonar e/ou laríngea, ativa, sem tratamento, e que esteja eliminando aerossóis com bacilos, possa infectar, em média, de 10 a 15 pessoas.

Além dos fatores relacionados ao sistema imunológico de cada pessoa e à exposição ao bacilo, o adoecimento por tuberculose, muitas vezes, está ligado às condições precárias de vida. Assim, alguns grupos populacionais podem apresentar situações de maior vulnerabilidade:

- Indígenas: 3 x mais risco de adoecer pela doença;
- Pessoas privadas de liberdade: 26 x mais risco de adoecer pela doença;
- Pessoas que vivem com HIV/Aids: 21 x mais risco de adoecer pela doença;
- Pessoas em situação de rua: 56 x mais risco de adoecer pela doença;

Sintomas:

Tosse seca ou com eventual catarro esverdeado e sangue; falta de apetite; emagrecimento repentino; suor noturno constante e febre baixa, que é mais comum no fim da tarde. De todo modo, o mais prudente é ficar atento aos casos de tosse persistente, principalmente quando, mesmo com a medicação adequada, ela continua e dura por várias semanas (Omronbrasil, 2020).

Os casos graves apresentam dificuldade na respiração; eliminação de grande quantidade de sangue; colapso do pulmão e acúmulo de pus na pleura (membrana que reveste o pulmão) se houver comprometimento dessa membrana, pode ocorrer dor torácica.

Comorbidades:

Algumas pessoas estão mais vulneráveis ao contágio pela tuberculose, principalmente aquelas que apresentam um quadro de deficiência no sistema imunológico e baixa resistência. É o caso dos soropositivos, diabéticos, fumantes e dependentes químicos. Em geral, os indivíduos que se encaixam em algum desses grupos têm as defesas orgânicas reduzidas e pouco ativas (Omronbrasil, 2020).

2.2.3 Asma

Doença inflamatória crônica, caracterizada por hiper-responsividade das vias aéreas inferiores e por limitação variável ao fluxo aéreo, reversível espontaneamente ou com tratamento. É uma condição multifatorial determinada pela interação de fatores genéticos e ambientais. Na patogenia da asma, está envolvida uma variedade de células e mediadores inflamatórios que atuam sobre a via aérea e levam ao desenvolvimento e manutenção dos sintomas (Brasil, 2010).

Fatores de Risco:

Existem diversos fatores que potencializam o aparecimento da asma e podem agravar os sintomas — em especial, agentes ambientais e genéticos. Os fatores ambientais são representados pela exposição à poeira domiciliar e ocupacional, ácaros, fungos, baratas, além de variações no clima, umidade, temperaturas baixas, excesso de atividades físicas, infecções virais - especialmente vírus sincicial respiratório e rinovírus (Omronbrasil, 2020). Os fatores de aspectos genéticos: obesidade, histórico familiar, má formação na região respiratória, sedentarismo (Brasil, 2010).

Sintomas:

Os principais sintomas dessa doença pulmonar são o chiado ao respirar, o aperto no peito, a tosse seca e a respiração curta e rápida. Esses sinais tendem a ser mais intensos em determinados períodos do dia, como à noite e durante as primeiras horas da manhã (Omronbrasil, 2020).

Classificação de Asma:

Classificada em duas modalidades, a depender da existência ou não de agente alérgeno:

- Asma alérgica: desencadeada por agentes alérgenos, como pólen, poeira, mofo e produtos químicos;
- Asma não alérgica: não é causada por agentes alérgenos. Os principais gatilhos são o ar seco, o clima frio, o cigarro, estresse, entre outros (Omronbrasil, 2020).

Comorbidades:

- Insônia e ansiedade;
- Alterações permanentes na estrutura e no funcionamento dos pulmões;
- Tosse persistente;
- Necessidade de uso de aparelhos de ventilação para respirar;
- Hospitalização e internação;
- Morte, em casos mais graves.

2.2.4 Bronquite

Nada mais é que uma grave inflamação nos brônquios — vias aéreas responsáveis por transportar o oxigênio até os pulmões. Desse modo, o espaço para a passagem de ar fica menor e a respiração se torna difícil e cansativa (Omronbrasil, 2020).

Sintomas:

Os principais sintomas da bronquite são falta de ar, irritação na garganta, tosse com secreção, chiado, dores no peito e dificuldade para respirar. Eles podem aparecer durante crises, geralmente associados a gripes e resfriados. Alguns indivíduos são mais suscetíveis a desenvolver tal distúrbio, como as crianças e os idosos (Omronbrasil, 2020).

Tipos de bronquite:

A bronquite é dividida em dois tipos:

- Bronquite aguda — processo inflamatório agudo causado por vírus, que costuma estar associado a um processo infeccioso viral ou bacteriano;
- Bronquite crônica/enfisema — processo inflamatório secundário dos brônquios, geralmente ligado à poluição, ao uso de cigarro ou a um processo alérgico — a chamada bronquite asmática (Omronbrasil, 2020).

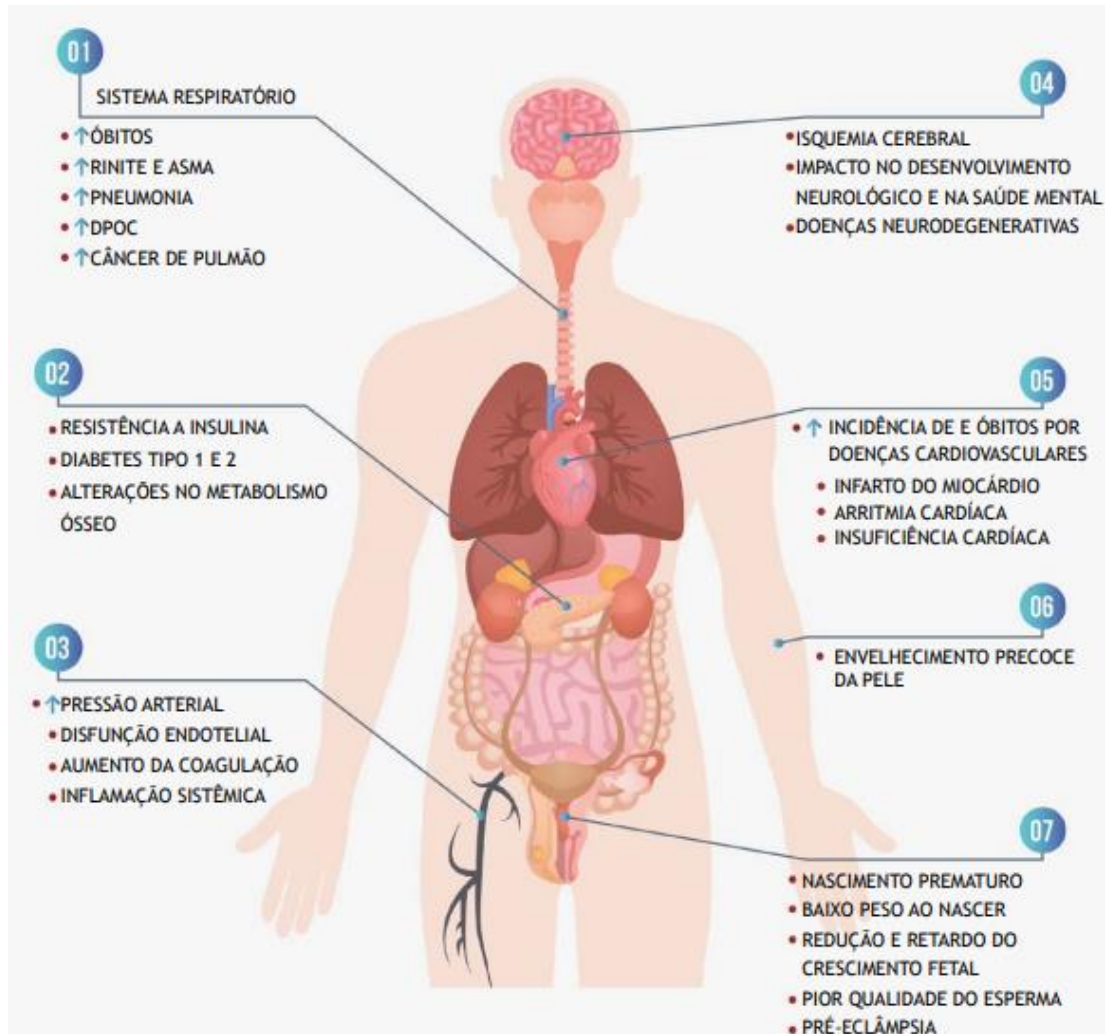
Comorbidades:

Caso a bronquite não seja tratada de maneira adequada pode evoluir para quadros clínicos graves como: Pneumonia, Enfisema pulmonar, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), Doenças cardíacas.

2.3 Efeitos da poluição do Ar em adultos e crianças:

Adultos, crianças tornam-se vulneráveis quando expostos em um ambiente que apresenta níveis elevados de concentração dos poluentes atmosféricos. A Figura 4 Ilustra os efeitos da poluição sobre a saúde de adultos.

Figura 4- Representação dos efeitos a saúde em adultos devido à poluição do ar.

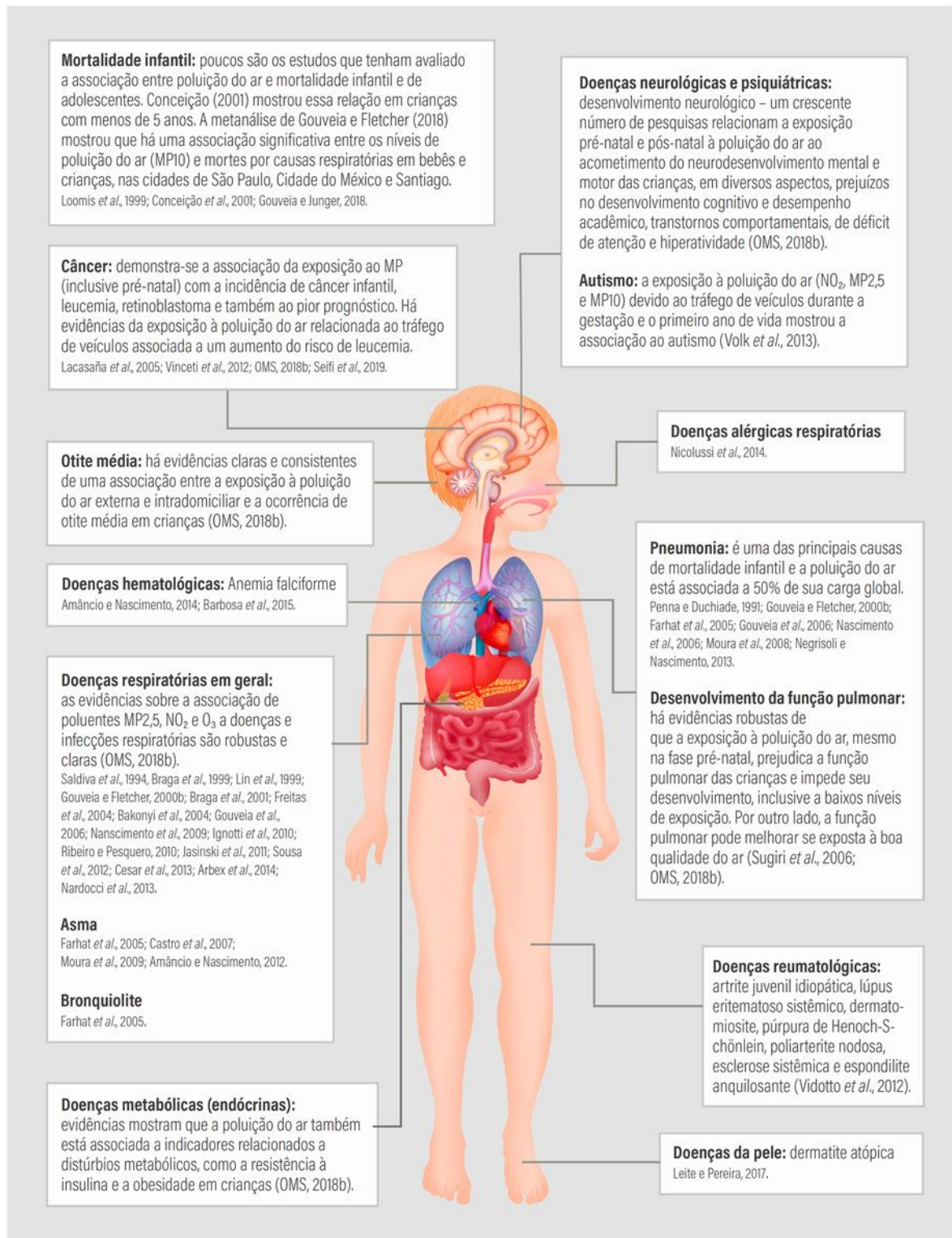


Fonte: Santos *et al.* (2021).

2.3.1 Crianças

De acordo com Schwart (2004) a exposição das crianças à poluição do ar é uma preocupação especial porque seu sistema imunológico e pulmões não estão totalmente desenvolvidos quando a exposição. Nesse caso, aumenta a possibilidade de respostas diferentes das observadas em adultos (Figura 5). Além disso, as crianças passam mais tempo ao ar livre, onde as concentrações de poluição do tráfego, usinas de força e outras fontes de combustão são geralmente mais altas.

Figura 5- Efeito da poluição do ar na saúde da criança.



Fonte: Artaxo (2021)

2.4 Plano de ações de vigilância a saúde

A Vigilância em Saúde constitui um processo contínuo e sistemático de coleta, consolidação, análise e disseminação de dados sobre eventos relacionados à saúde, visando o

planejamento e a implementação de medidas de saúde pública para a proteção da saúde da população, a prevenção e controle de riscos, agravos e doenças, bem como para a promoção da saúde (Brasil, 2013; Recktenwaldt; Junges, 2017).

Conforme Boccato (2012) A Saúde Pública apresentou um processo dinâmico de transformação nos últimos anos, com sérias mudanças estruturais e a proposição de modelos inovadores de gestão, sempre objetivando a melhoria da qualidade dos serviços e da assistência destinados à população, em sintonia com os princípios do Sistema Único de Saúde (SUS).

O registro de dados de interesse sanitário e de casos de morbimortalidade, integrantes da base de dados da Vigilância em Saúde, hoje com variados graus de utilidade, seja pela sua qualidade e/ou cobertura, representam um patrimônio social e técnico do SUS. A necessária e adequada investigação dos casos, ameaças e problemas correlacionados com outras fontes de informação, incluindo necessariamente percepção, práticas e saberes da sociedade possibilita definir um cenário sanitário contextualizado à dinâmica dos respectivos territórios. A integração destas informações é o elemento fundante da organização de uma intervenção em favor da promoção e da proteção à saúde e da prevenção de agravos. A informação da Vigilância em Saúde é um bem público que necessita ser livremente disponibilizado e ser de fácil acesso a toda a sociedade (Franco *et al.*, 2017).

A Política Nacional de Vigilância em Saúde de 12 de junho de 2018, em seu Art. 4º prevê que a (PNVS) deve contribuir para a integralidade na atenção à saúde, o que pressupõe a inserção de ações de vigilância em saúde em todas as instâncias e pontos da Rede de Atenção à Saúde do SUS, mediante articulação e construção conjunta de protocolos, linhas de cuidado e matriciamento da saúde, bem como na definição das estratégias e dispositivos de organização e fluxos da rede de atenção.

Alicerçada nos princípios fundamentais com a missão de assegurar à população Políticas Públicas de Saúde, a Secretaria de Estado da Saúde do Pará (SESPA) executa a Política Estadual de Saúde a partir dos princípios, diretrizes e competências designadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Sendo assim, em nível estadual, atua na orientação às Secretarias Municipais de Saúde quanto ao planejamento, acompanhamento e avaliação das ações de saúde, no sentido de assegurar a prevenção, recuperação e promoção da saúde pública (Sespa, 2022).

O Plano Municipal de Saúde (PMS) do Município de Belém, é o instrumento estratégico norteador do planejamento e programação das ações e serviços de saúde. A Secretaria Municipal de Saúde do Município de Belém-PA é a gestora plena do Sistema Único de Saúde (SUS), em âmbito Municipal, tendo a responsabilidade de promover, elaborar, executar,

monitorar e avaliar as Políticas Públicas de Saúde, descentralizadas, com cobertura nos oito distritos administrativos e articuladas intersetorialmente com os níveis de governo estadual e federal. A SESMA busca planejar e executar ações estratégicas para qualificação das práticas gerenciais do SUS para o fortalecimento da gestão e parcerias no desenvolvimento de ações integradas para o fortalecimento e potencialização das ações desempenhadas na Rede SUS Belém (Sesma, 2017).

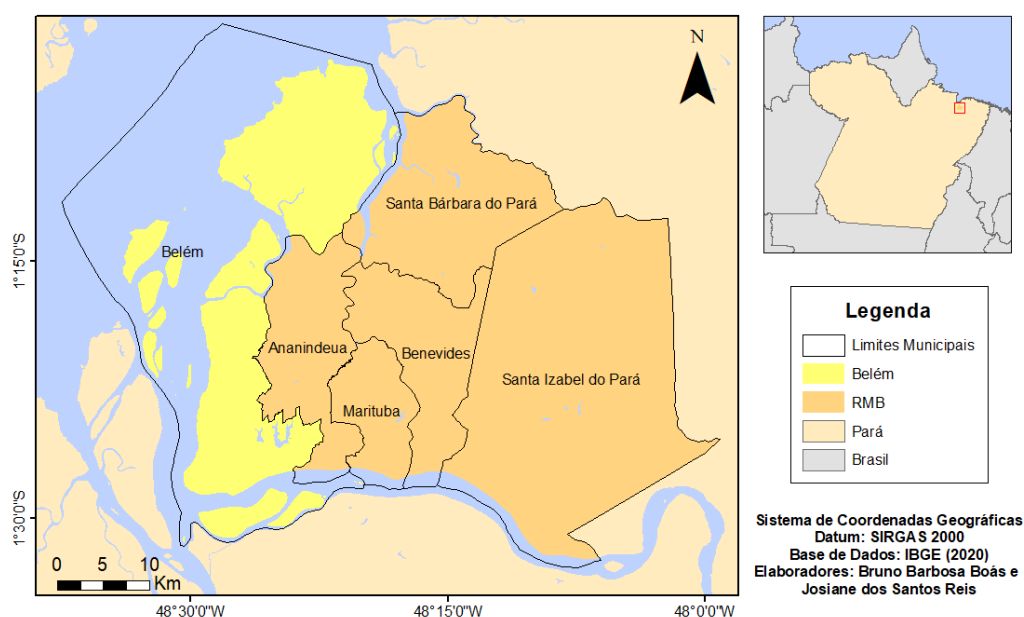
3 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa descritiva com dados obtidos nas plataformas SISAM, DATA-SUS, *Google Scholar*, Scielo, visitas aos sites dos Ministério da Saúde (MS), Secretaria de Estado da Saúde do Pará (SESPA), Secretaria Municipal de Saúde do Município de Belém-PA (SESMA), publicações de artigos e revistas *online*, visitas aos acervos de bibliotecas universitárias e acervos governamentais com resultados nas línguas portuguesa e inglesa. Foi feito um levantamento e análise de registro de dados no período de 17 anos (2003-2019), com ênfase em MP_{2.5}, doenças respiratórias e variáveis meteorológicas, bem como análise para melhoria na proposta de elaboração de plano de vigilância a saúde ao município de Belém, como produto final.

3.1 Área de estudo

Belém é um município brasileiro, capital do Estado do Pará, pertencente à Mesorregião Metropolitana de Belém e à Microrregião de Belém. Com uma área de unidade territorial 1.059,466 km² [Ibge, 2022]. Com uma população de 1.303, 403 pessoas [Ibge, 2022] é a metrópole localizada mais ao norte do Brasil, possuindo também a segunda maior densidade demográfica da Região Norte [Ibge, 2022] 1.230,25 hab./km². Para produção do mapa de localização do município de Belém (PA) verificado na Figura 6, foram realizadas coletas de dados geográficos do site Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (Ibge, 2020), os *Shapefiles* de estado e municípios da região metropolitana de Belém e realizou processamento dos dados no software Arcgis 10.8, obtendo como resultado o mapa de localização do referido município.

Figura 6 – Caracterização da área de estudo, com destaque para a região metropolitana de Belém e rios adjacentes, no estado do Pará.



De acordo com Moreira *et al.* (2019), Belém apresenta grandes acumulados anuais de chuva, é cercada por rios e baías, sendo cortada por lagos e igarapés. Arelado a isto, tem uma urbanização intensa, que acarreta problemas como: diminuição de áreas verdes, ilhas de calor, além de frequentes alagamentos. Os altos índices de chuva contribuem com crescimento e migração de epidemias e doenças, diminuição de produtividade, aumenta gastos e cuidados com a saúde. Pode acarretar eventos extremos como: temporais, inundações e secas. Estes problemas impactam diretamente à saúde da população, sendo no aparecimento de surtos por doenças transmissíveis ou provocando vítimas por acidente.

3.2 Medidas de material particulado (MP_{2.5})

Os dados do material particulado (MP_{2.5}) foram extraídos do Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde-SISAM (Inpe, 2022), que auxilia nos programas de saúde, permitindo estudos consistentes sobre os impactos das emissões de poluentes atmosféricos na saúde humana. Essa ferramenta permite o processamento e análise de uma variedade de parâmetros geofísicos obtidos de imagens de satélites e de análises numéricas.

Nesse trabalho foram utilizados os dados de concentração em massa de aerossóis com diâmetro < 2.5 próximos da superfície, com unidade de medida micrograma por metro cúbico (µg/m³). A série temporal de MP_{2.5} foi extraída de uma média espacial dos registros de uma área que cobre o município de Belém. Os dados foram extraídos para um período de 17 anos, de 2003 a 2019.

Os dados de MP_{2.5} utilizados são resultados dos produtos: Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications Version. 2 (MERRA-2) da National Aeronautics and Space Administration (NASA); e Copernicus Atmosphere Monitoring Service (Modelos CAMS): CAMS-Reanalysis e CAMS-Nrealtime do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

Os dados do MERRA-2 apresentam uma resolução espacial de 0.25° (aproximadamente 25 Km) e interpolados para uma resolução espacial de 12,5 Km, para os anos de 2000 até 2002, a cada 6 horas. No Modelo CAMS, os dados foram baixados com resolução espacial de 0.125° (aproximadamente 12,5 Km) para os anos de 2003 até 2019, a cada 6 horas. Dados diários com os horários: 00, 06, 12 e 18 UTC.

Os dados obtidos originalmente em micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) foram relacionados com os registros de doenças respiratórias.

3.3 Registros de doenças respiratórias

Em relação às doenças respiratórias, foram elencadas para este estudo as Doenças Respiratórias Crônicas (DRCs) mais comuns e que aparecem com mais frequência nos dados de saúde: Pneumonia, Asma, Tuberculose, Bronquite (Aguda e Crônica/Enfisema).

O levantamento dos dados dessas doenças foi feito em registros gerais de casos hospitalares na cidade de Belém, através da plataforma DATASUS, foram levados em consideração os fatores: de sexo, idades e faixa etária, entre adultos e crianças (< 9anos).

O levantamento dessas doenças foi feito utilizando a Lista de Tabulação para Morbidade da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) para Morbidade Hospitalar do SUS; Capítulo 10 para Doenças do Aparelho Respiratório, devido à variação das informações e depois de várias checagens, foram considerados os dados com informações mais completas. (Brasil, 2023).

3.4 Análise dos dados e métodos

Após o tratamento prévio de organização e sincronização dos dados, este trabalho avaliou o comportamento das séries temporais da concentração de MP_{2.5} e dos registros gerais de doenças respiratórias no município de Belém. A análise de série temporal também avaliou variáveis de precipitação, temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade e direção do vento (V).

No Tratamento dos dados de saúde foram separados e analisados os registros entre adultos e crianças (< 9 anos).

O modelo estatístico linear testado para medir o grau de correlação entre o material particulado MP_{2.5} e as doenças respiratórias foi coeficiente de correlação de Pearson, que visa

estabelecer se o relacionamento das variáveis é do tipo de correlação (positiva ou direta; negativa ou inversa).

A equação do coeficiente de correlação de Pearson é a seguinte:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Onde “x” é igual à variável número um, “y” pertence à variável número dois, “zx” é o desvio padrão da variável um, “zy” é o desvio padrão da variável dois e “N” é o número de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Prodi e Tampieri (1982), processos físicos como dispersão e deposição seca e úmida são os principais mecanismos de remoção e redução da concentração do material particulado na atmosfera; que pode sofrer ação de parâmetros meteorológicos.

As alterações de temperatura, umidade e o regime de chuvas podem aumentar os efeitos das doenças respiratórias, assim como alterar as condições de exposição aos poluentes atmosféricos tanto em áreas de queima de biomassa quanto em regiões metropolitanas.

A cidade de Belém vem exibindo aumento da poluição atmosférica, visto que se encontra bastante urbanizada e sofre influências de atividades como: queima de biomassa, desmatamento, crescimento da frota veicular, aumento de instalações industriais. Sendo essas práticas e emissão de gases poluentes as principais fontes de material particulado.

4.1 Parâmetros micrometeorológicos e MP 2.5

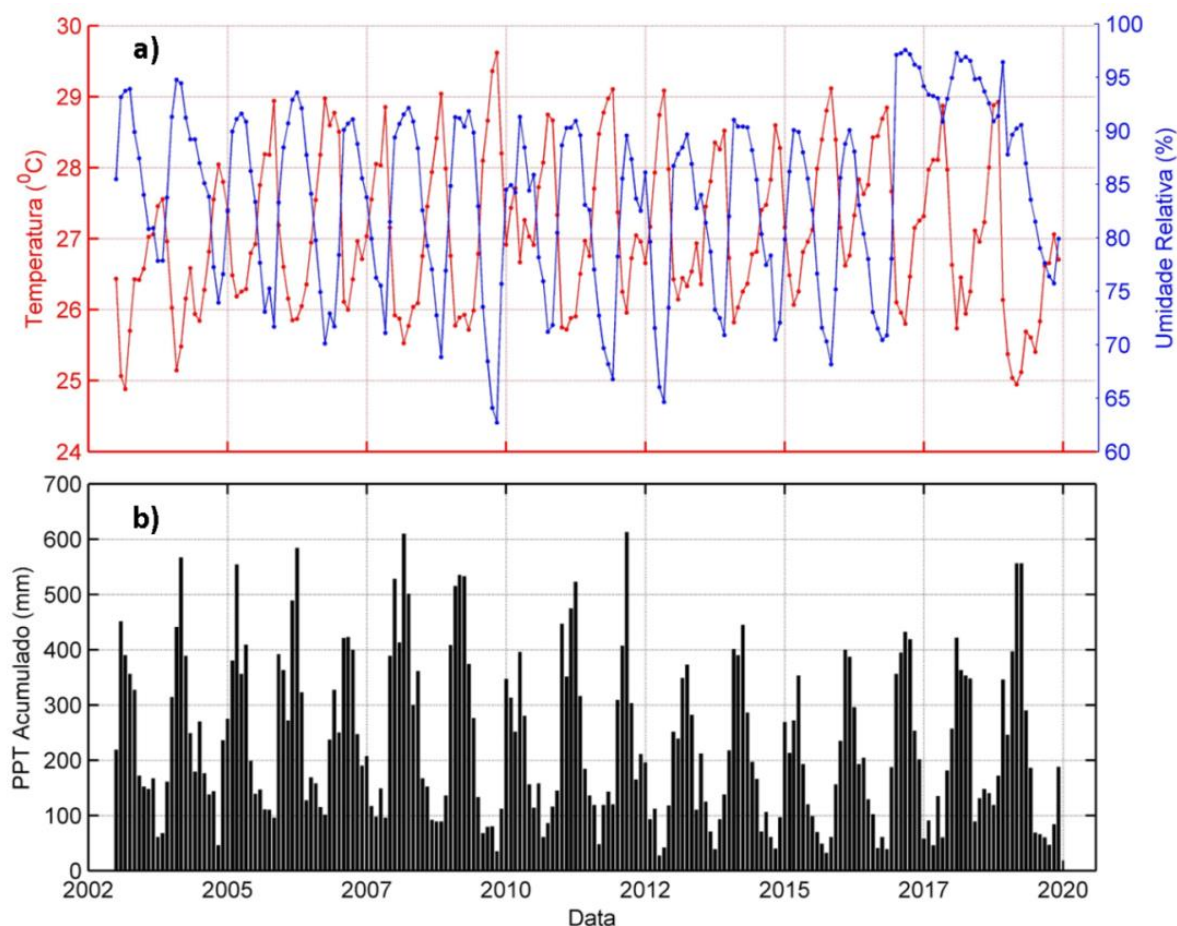
Aqui, discutimos os parâmetros meteorológicos de temperatura, umidade e precipitação relevantes para a interpretação das medições de aerossóis. Nota-se na Figura 7a os valores de temperatura e umidade relativa acumulados na série temporal de 2003-2019. Pode-se observar que os valores máximos de temperatura ultrapassaram os 29°C no ano de 2010; e os valores mínimos de temperatura ficaram na casa dos 25°C, nos anos 2003 e 2019. Nota-se que a umidade relativa máxima ultrapassou os 95%, nos anos 2016 e 2018, enquanto a umidade relativa mínima ficou abaixo 65% no ano 2010. Observa-se na Figura 7b a precipitação acumulada na série temporal. Os valores máximos de precipitação chegaram a 600 mm e os valores mínimos ficaram abaixo dos 100 mm.

As variáveis de temperatura e umidade relativa do ar são utilizadas para estudos climáticos e na saúde, principalmente a UR, pois sua variação pode interferir em nosso sistema respiratório e sensação térmica. Quando a umidade relativa do ar é muito alta, podem surgir fungos, mofo, bolores e ácaros (Inpe, 2022b). Quando a umidade relativa é muito baixa associa-se uma maior concentração de poluentes atmosféricos, podendo haver maior ocorrência de doenças respiratórias.

A variação sazonal da precipitação no estado do Pará é caracterizada por uma estação chuvosa, que na maioria das localidades compreende os meses de dezembro a maio, e por uma estação menos chuvosa que corresponde geralmente ao período de junho a novembro (Moraes *et al.*, 2005). A cidade de Belém se enquadra nesses períodos.

Pode-se notar como a influência das secas de 2005, 2007, 2010, 2015 e 2016 sucedidas na Amazônia afetaram a distribuição das chuvas, temperatura e umidade relativa no município de Belém, causando alterações significativas em suas ocorrências.

Figura 7- Série temporal entre os anos de 2003-2019. a) Relação da influencia da temperatura e umidade relativa com material particulado. b) Relação da precipitação com material particulado.



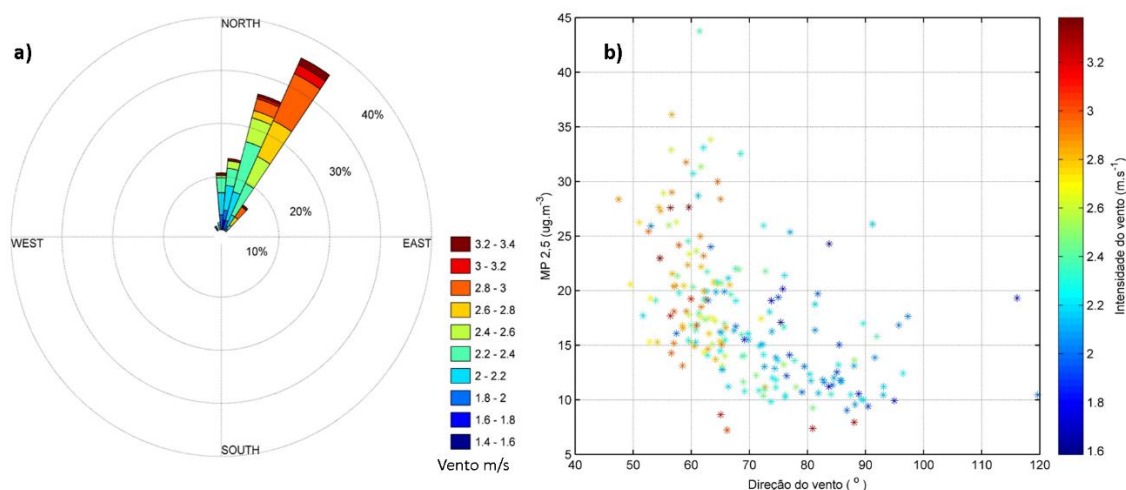
Observa-se na Figura 8a, rosa dos ventos na série temporal. Os ventos alísios de nordeste dominam em baixos níveis, soprando com intensidade na cidade durante a estação menos chuvosa. Houve predominância dos ventos do nordeste (35%). 8b mostra uma faixa de direção que vai de 50 a 90°, corresponde à propagação de 10 a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do $\text{MP}_{2.5}$, propagando-se em uma velocidade de 1,8 a 2,8 m/s.

A direção do vento indica o sentido da propagação do poluente, e sua velocidade a rapidez com a qual ele se deslocará na atmosfera. É uma das mais importantes referências para se acompanhar a dissipação ou concentração de poluentes em determinada área. O vento também facilita a dispersão dos poluentes. Por isso, seus dados são importantes no estudo da qualidade do ar e de doenças, sendo a maioria delas respiratórias (Inpe, 2022c).

Embora direção e velocidade do vento serem variáveis que afetam a concentração de poluentes atmosféricos (Chen *et al.*, 2018; Csavina *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2019), o

parâmetro de velocidade nesse estudo não pode identificar sua influência na concentração de $MP_{2.5}$ no município de Belém.

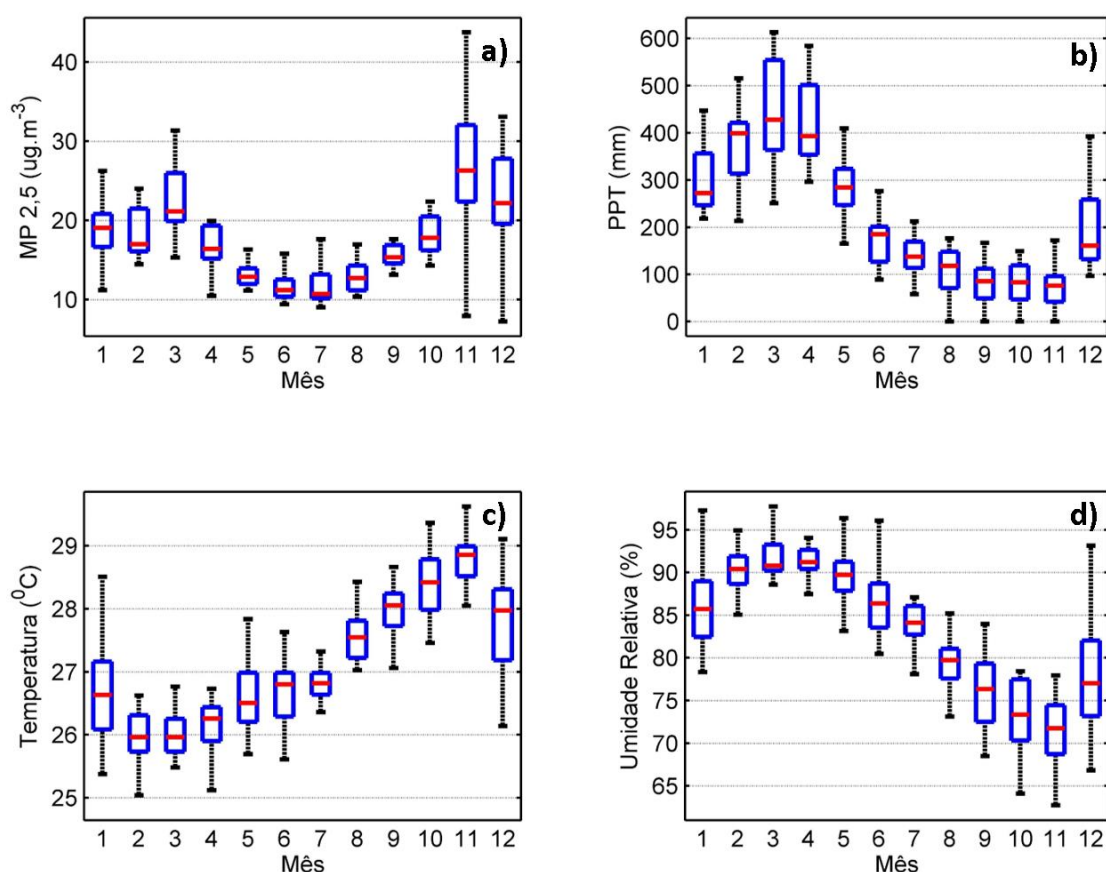
Figura 8- (a) Gráfico de rosas dos ventos para o período entre 2003-2019. (b) Concentração mediana do número de material particulado em função da direção do vento para a estação chuvosa (dezembro a maio) e para a estação seca (junho a novembro).



Nota-se na Figura 9a que o material particulado sofre variações durante o ano, sendo os meses de novembro e dezembro os de maior propagação acima de $20 \mu g/m^3$ do $MP_{2.5}$. Os meses de maio, junho, julho apresentam as menores concentrações de $MP_{2.5}$. O ciclo anual das chuvas apresenta-se bem definido com meses de estação chuvosa (dezembro a maio) e estação menos chuvosa de (junho a novembro), as maiores precipitações ocorrem acima de 400mm e as menores abaixo de 100 mm (Figura 9b). Nota-se na Figura 9c que a temperatura eleva-se no período que corresponde à estação menos chuvosa. As maiores temperaturas chegam a $29^{\circ}C$ no mês de novembro e as menores temperaturas chegam a $26^{\circ}C$ nos meses de fevereiro e março. A umidade relativa (Figura 9d) apresenta um comportamento inversamente proporcional à temperatura, apresentando-se mais elevada na estação chuvosa e baixa na estação menos chuvosa, no mês de março a umidade relativa fica acima de 90% e no mês de novembro fica abaixo dos 75%.

A precipitação na cidade de Belém é mais concentrada nos meses de dezembro a maio e contribui com a lavagem dos compostos poluentes da atmosfera, em outras palavras o acúmulo de água diminui a concentração de poluentes no ar.

Figura 9 - Gráficos *boxplot* para as estatísticas mensais (2003-2019) dos parâmetros avaliados: (a) material particulado; (b) precipitação; (c) temperatura média; (d) umidade relativa.



Observa-se na Tabela 4 que o ano de 2007 foi o que apresentou uma propagação de 20 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) $\text{MP}_{2.5}$ na média mês/ano, e ano de 2019 a menor propagação 12 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) $\text{MP}_{2.5}$ na média mês/ano.

Períodos mais chuvosos em Belém tendem a mais carros no trânsito, problemas relativos a saneamento básico, inundações em diversos bairros da região. Esses transtornos ambientais e sociais podem estar influenciando diretamente a qualidade do ar no município. Visto que, em 2006 Belém possuía uma frota veicular de 192.000 mil veículos, enquanto em 2022 esse número dobrou para 511.753 mil (Ibge, 2023).

Tabela 4 - Comparação entre a propagação de material particulado e os parâmetros meteorológicos (temperatura, UR, direção e velocidade do vento, precipitação)

Ano	$\text{MP}_{2.5}$ ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Umidade Relativa (%)	Vento Direção ($^{\circ}$)	Velocidade do Vento (m/s)	(continua)
						Precipitação (mm)
2003	19,92211	26,46427	85,84255	64,93041	2,109287	222,6667
2004	18,69394	26,47318	86,27015	69,74148	2,198644	262,4167
2005	17,8244	27,21737	83,14771	70,5978	2,329134	264
2006	17,84678	27,15921	83,35221	69,09658	2,328189	272,0833
2007	20,15252	27,28435	82,81999	66,85048	2,407345	248,9167
2008	18,14037	26,90125	83,46421	73,88106	2,227517	286,5
2009	18,12808	27,23287	80,65381	69,98677	2,431297	262,3333

Ano	MP _{2.5} (µg/m ³)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Vento Direção (°)	Velocidade do Vento (m/s)	(conclusão)
						Precipitação (mm)
2010	16,82796	27,53975	81,87435	68,85696	2,342781	201,9167
2011	15,87275	27,21094	80,90779	75,04026	2,357833	248,4167
2012	18,33286	27,32333	79,10997	65,78624	2,58221	216,3333
2013	16,09957	27,13219	82,02393	64,1828	2,620913	190,1667
2014	16,46881	27,03259	83,1381	65,88516	2,577246	206,5
2015	18,04511	27,46379	80,42099	66,00844	2,742591	157,25
2016	18,53352	27,76396	79,90901	64,7466	2,644363	189,5
2017	18,24741	27,25801	95,05928	69,50604	2,385144	218,9167
2018	17,00349	27,02298	94,89885	70,78153	2,404901	240,6667
2019	12,41183	25,83864	83,34594	86,90518	2,619279	228,75

4.2 Registros de asma

Observa-se um aumento significativo nos casos de asma em adultos e crianças de 2007 a 2012. Nota-se na Figura 10, um aumento em 350 casos de registros de asma para crianças e acima de 350 casos para adultos entre 2010 e 2011. Nos anos de 2013 a 2019, nota-se uma queda desses registros. Nesse estudo foi constatado um aumento significativo nos casos de Asma entre adultos e crianças nos anos correspondentes as estações menos chuvosas.

Conforme Fiocruz (2017) em um cenário de aquecimento, com elevação da temperatura e, conseqüentemente, piora da qualidade do ar, a tendência é o aumento de doenças respiratórias e da piora das crises de asma. Em áreas urbanas, alguns efeitos da exposição a poluentes atmosféricos são potencializados, quando ocorrem alterações climáticas, principalmente as inversões térmicas. Isto se verifica em relação à asma, alergias, infecções bronco-pulmonares e infecções das vias aéreas superiores (sinusite), principalmente, nos grupos mais vulneráveis, que incluem crianças, idosos e pessoas com morbididades.

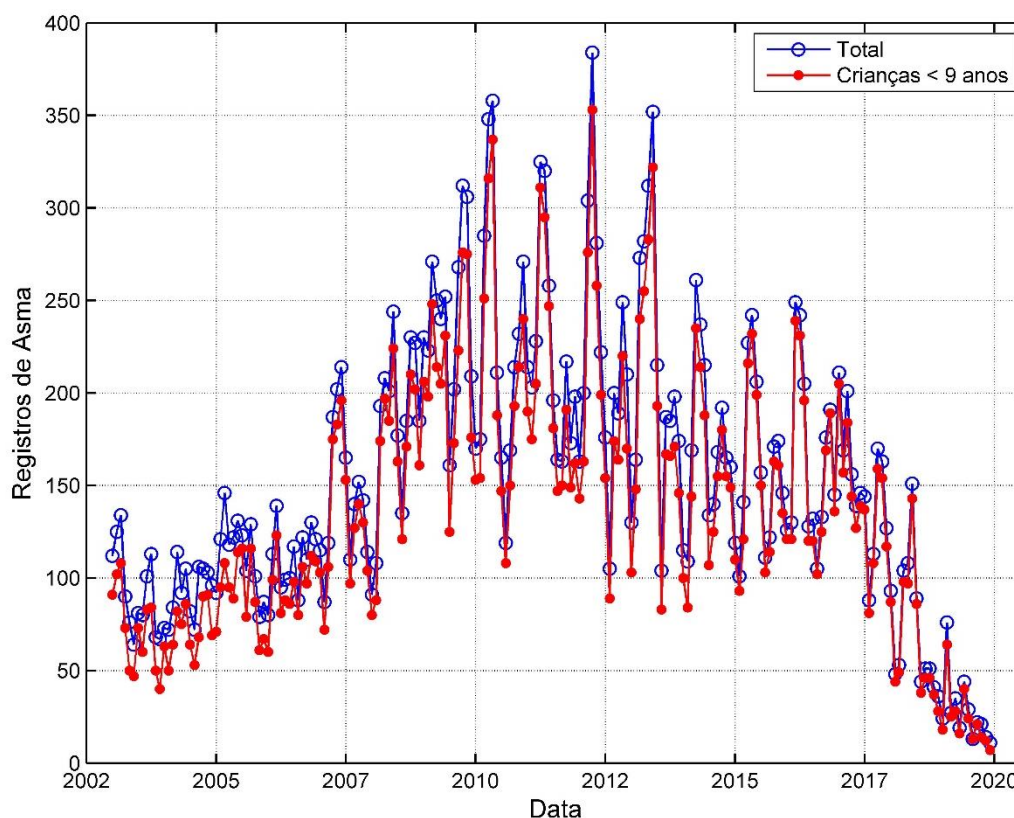
Outros impactos poderão ser observados nos próximos anos, como as mudanças na distribuição de agentes que causam alergia. Com o aumento do CO₂ na atmosfera, verifica-se também um aumento da sincronização na liberação de pólen de plantas, promovendo o crescimento e a formação de esporos de alguns fungos no solo.

Em invernos mais quentes, a estação de pólen de grama ou de outras plantas pode ser antecipada, aumentando sua concentração na atmosfera. Essa característica pode aumentar a incidência de rinite alérgica e asma, além da intensidade e duração de sintomas.

Em algumas partes do mundo, o problema também tem se agravado devido ao aumento da temperatura. Importante ressaltar que as partículas provenientes de diesel são agravantes, pois transportam esses alérgenos para os pulmões, intensificando a carga dessa doença em grandes centros urbanos.

No contexto das mudanças climáticas, a duração e a frequência da exposição a agentes alérgenos e irritantes podem ser fatores cruciais que levam ao desenvolvimento da doença. Com isso, infecções virais precoces e a exposição passiva à fumaça de cigarros e a poluentes atmosféricos podem estar associados ao desenvolvimento de asma em crianças.

Figura 10 - Registros de asma em adultos e crianças (< 9 anos) durante os anos 2003-2019.



4.2.1 Registros de pneumonia

Observa-se na Figura 11, que de 2003 a 2012 a doença teve grande ocorrência entre adultos e crianças. Em 2007 e 2012 houve aumento nos casos de pneumonia sendo acima de 800 registros para adultos e acima de 600 registros para crianças. Nos anos 2013 a 2018, nota-se uma queda nos registros da doença, principalmente em crianças.

Na estação que ocorre de dezembro a maio, chuvosa, os belenenses estão mais sujeitos às doenças respiratórias. Casos de gripes, resfriados, asma são comuns, adicionando-se as demais, pneumonia doença inflamatória que afeta os pulmões. Mas, isso não descarta a possibilidade de se manifestar em estações menos chuvosas, já que microrganismos e poluentes atmosféricos podem se propagar com facilidade nesse período.

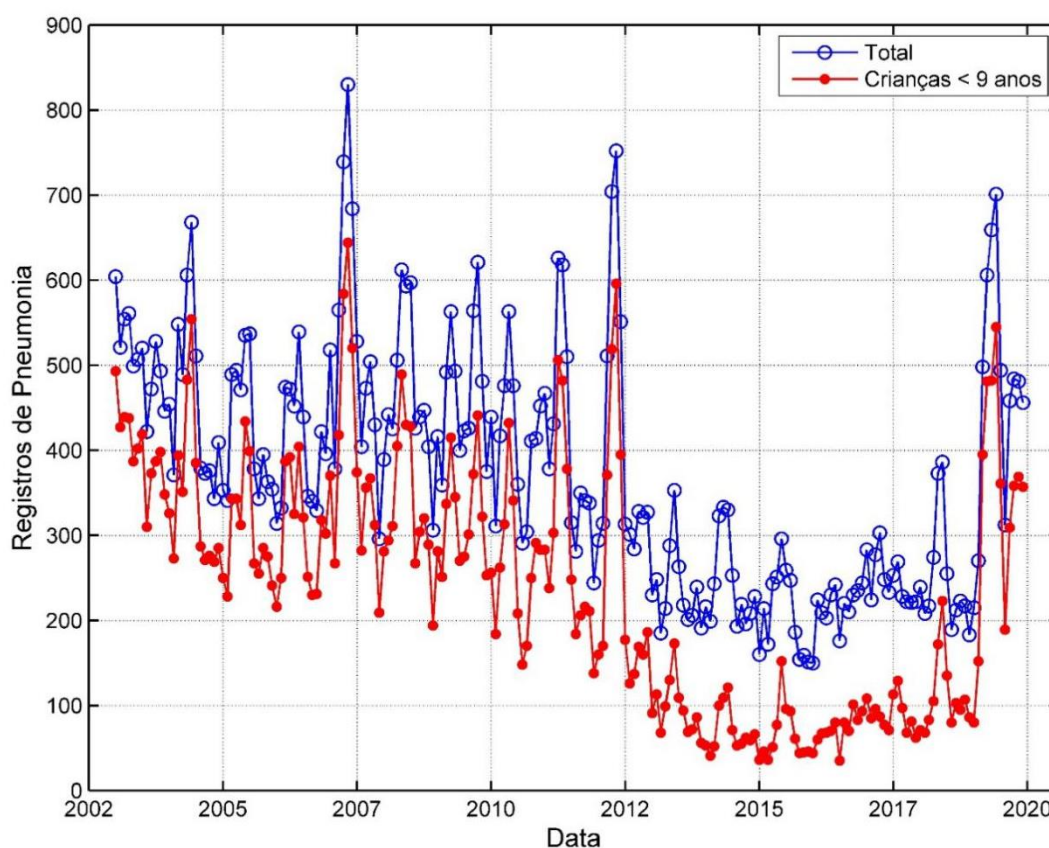
De acordo com Kaliu (2013) a pneumonia segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), é a maior responsável pelas mortes de crianças menores de 5 anos: mais de 1 milhão em todo o mundo. É uma doença provocada por microrganismos (vírus, bactéria ou fungo) ou

pela inalação de produtos tóxicos. Ela pode ser adquirida pelo ar, saliva, secreções, transfusão de sangue ou, no caso do inverno, devido a mudanças bruscas de temperatura.

Essas mudanças comprometem o funcionamento dos pelos do nariz responsáveis pela filtragem do ar aspirado, o que acarreta em uma maior exposição aos microrganismos causadores da doença. Atualmente, existem vacinas disponíveis para a pneumonia pneumocócica que, mesmo não sendo capazes de prevenir todos os casos de pneumonia, podem evitar as formas mais graves.

Segundo o Ministério da Saúde, a vacinação contra a gripe reduz bastante as hospitalizações por pneumonias e a mortalidade global pela doença. Por isso, devem ser vacinados os grupos considerados mais sujeitos às formas graves da doença: gestantes, mulheres com até 45 dias após o parto, crianças de 6 meses a 2 anos, profissionais de saúde, doentes crônicos, pessoas privadas de liberdade ou com 60 anos de idade ou mais.

Figura 11 - Registros de pneumonia em adultos e crianças (< 9 anos) durante os anos 2003-2019



4.2.2 Registros de tuberculose pulmonar

Observa-se na Figura 12, que a tuberculose incidiu ao longo da série temporal, principalmente em adultos. Registros acima de 50 casos de tuberculose na população adulta, com maior incidência nos anos de 2006 e 2010, a doença não apresentou elevada ocorrência em crianças; contudo manifestou-se em pequenos registros ao longo da série.

Em estudos realizados por Ribeiro (2011) e Lima *et al.* (2017) na cidade de Belém ocorreram incidências de tuberculose entre os anos de 2006 a 2010. Continuando a se propagar em menor proporção, contudo atingindo principalmente a população adulta.

Conforme trabalho desenvolvido em Belém por Freitas *et al.* (2016) em relação às informações encontradas referentes à idade, em média de 35, 39 anos, os valores registrados seguem o padrão nacional, demonstrando um predomínio de acometimento na faixa etária entre 20 e 49 anos, uma das fases mais ativas da vida.

Ainda que os números mostrem uma redução no número de casos, o Brasil ocupa o 20º lugar entre os países com maior número de casos de tuberculose no mundo, com uma taxa de incidência de 46 casos por 100.000 habitantes e maior concentração nas capitais e regiões metropolitanas. No município de Belém as taxas de incidência nos anos de 2006 e 2010 foram, respectivamente, 84,8 e 98,4 por 100.000 habitantes (Lima *et al.*, 2017).

Segundo Freitas *et al.* (2016) A baciloscopia é um dos métodos mais utilizados pela saúde pública para o diagnóstico da doença, entretanto tem limitações quanto à positividade deste teste que necessita de uma quantidade significativa de bacilos álcool-ácido-resistentes, desta forma o teste pode ter interpretações de falsos negativos; outro mais, o tempo para o resultado deixa a desejar, o que pode gerar propagação da doença neste meio tempo.

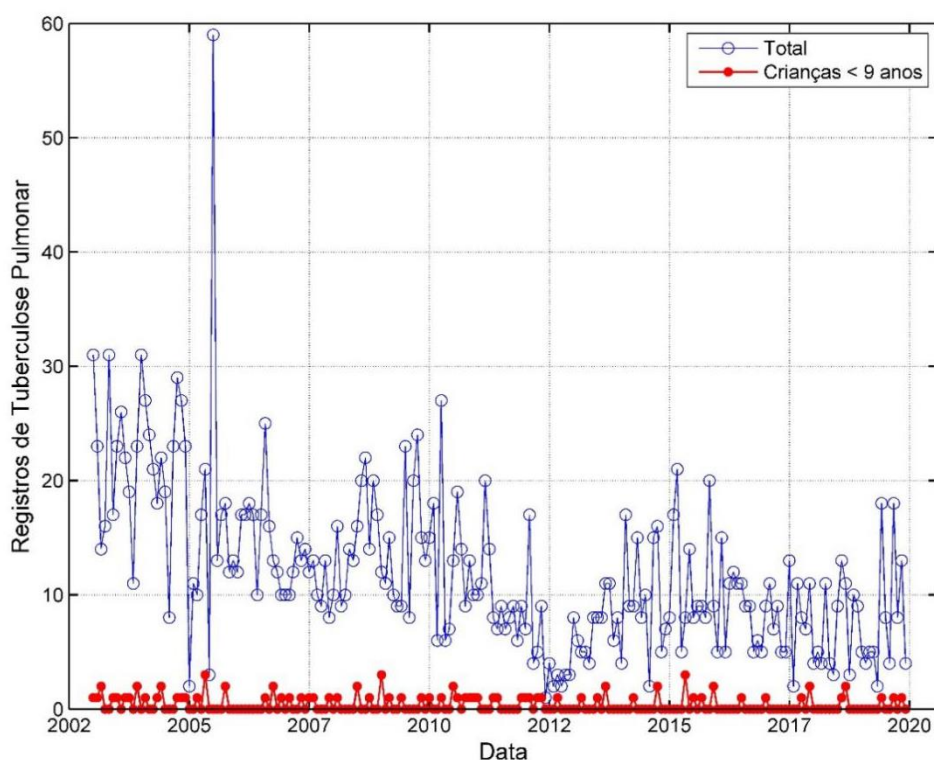
Para prevenção da tuberculose, é aplicada a vacina BCG em crianças, a qual previne somente a forma grave da doença. O contágio também pode ser evitado com tratamento e orientação dos infectados além de melhorias nas condições de vida da população, já que a enfermidade está associada à pobreza e à má distribuição de renda (Fiocruz, 2023).

Fatores socioeconômicos também podem contribuir para os efeitos do material particulado na vida humana. Seu estudo demonstra como populações em condições de vida precárias são mais vulneráveis a problemas respiratórios, pois estão mais expostas a condições ambientais insalubres. A distribuição geográfica desigual das condições de vida e do trânsito urbano é outro fator fundamental a ser considerado, pois a exposição diferenciada contribui para os efeitos do material particulado, podendo aumentar o risco de mortalidade por doenças respiratórias. Estudos mostram que impactos ambientais podem contribuir significativamente para a desigualdade social em escala local. Portanto, pessoas em precárias condições de vida têm acesso restrito à atenção básica à saúde (Rodrigues *et al.*, 2019; Forastiere *et al.*, 2007; Moura *et al.*, 2021).

Uma das características dominantes em Belém é a grande extensão de áreas carentes que não dispõem de serviços essenciais adequados, distribuídas de forma desordenada pelo Município. Belém apresenta também, como característica peculiar, possuir bairros com grande heterogeneidade social, o que fica evidente na distribuição espacial da tuberculose.

Essa heterogeneidade social foi evidenciada quando o número de áreas carentes foi associado às taxas de incidência e mortalidade por tuberculose. Verificou-se que, quanto maior o número de áreas carentes nos bairros, maior foi a incidência de casos de tuberculose (Lima *et al.*, 2017). Observa-se que a tuberculose ainda representa uma doença infecciosa atual e, aparentemente, permanece distante de seu período de erradicação (Freitas *et al.*, 2016).

Figura 12- Registro de tuberculose pulmonar em adultos e crianças (< 9anos) durante os anos 2003-2019.



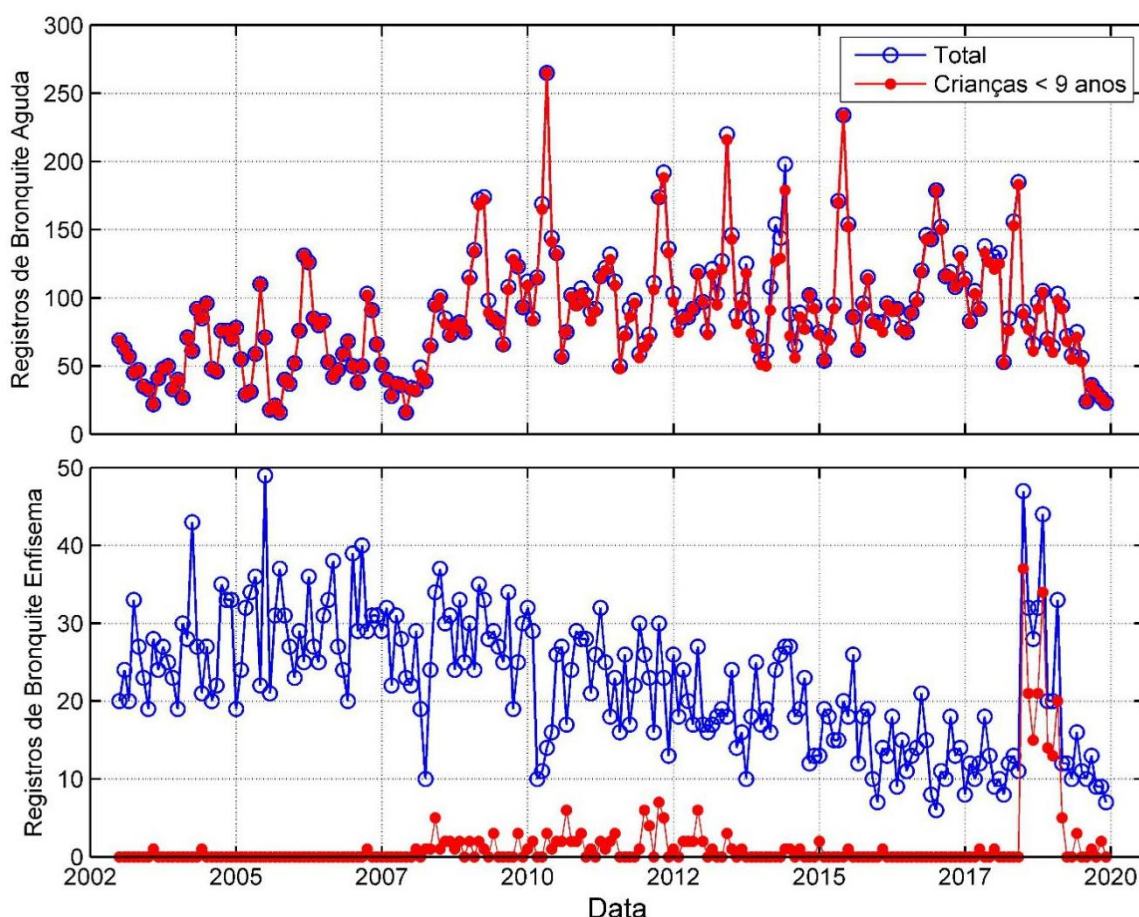
4.2.3 Registros de bronquite

Observa-se na Figura 13 que a Bronquite aguda na série temporal, atingiu tanto adultos quanto crianças, oscilando entre comportamentos descendentes e ascendentes, principalmente entre os anos 2010 e 2015 que correspondem a períodos menos chuvosos na Amazônia. Entretanto a Bronquite Crônica/Enfisema, atingiu mais fortemente o público adulto, diferenciando-se, entre 20 e 50 registros até 2006, pendendo a partir de 2007, tendo um aumento da incidência de registros entre 2018 e 2019. As duas bronquites modularam deferentes durante os anos.

Na bronquite aguda o processo é inflamatório, sendo o contágio causado por vírus e bactérias, nesses casos, idosos e crianças são mais suscetíveis a doenças do trato respiratório. Crianças principalmente, por não terem os mecanismos de defesa do corpo totalmente maduros. A bronquite crônica/enfisema é definida como uma inflamação dos brônquios. Geralmente, surge depois de 20 a 30 anos de exposição dos brônquios a fatores irritantes, como o tabaco, poluição do ar, pessoas com comorbidades (asma, rinite, alergias, etc). Sua

ocorrência é mais comum em mulheres do que em homens. Esta afecção pode preceder ou acompanhar o enfisema pulmonar. Nos poluentes que inalamos podem estar material particulado que atingem as vias aéreas inferiores. É um tipo de poluente com capacidade de transportar gases adsorvidos até as porções mais distas das vias, onde são efetuadas as trocas de gases no pulmão (Santos, 2019b).

Figura 13 - Registros de bronquites aguda e crônica/enfisema em adultos e crianças (< 9 anos) durante os anos 2003-2019



4.3 Relação mensal e anual entre MP 2.5 e as doenças respiratórias

Nota-se que os coeficientes de correlação significativos apresentaram 44% (Tabela 6) de o Material particulado estar influenciando o aumento nos casos de Tuberculose em adultos, indicando que menores valores de precipitação e UR podem indicar maiores concentrações de MP_{2.5} na atmosfera. Os períodos de análise do material particulado sobre o município de Belém, demonstram que a redução da umidade relativa, favorece a proliferação de doenças de pneumonia e bronquite enfisema, enquanto que o material particulado incide sobre os casos de Asma e Tuberculose.

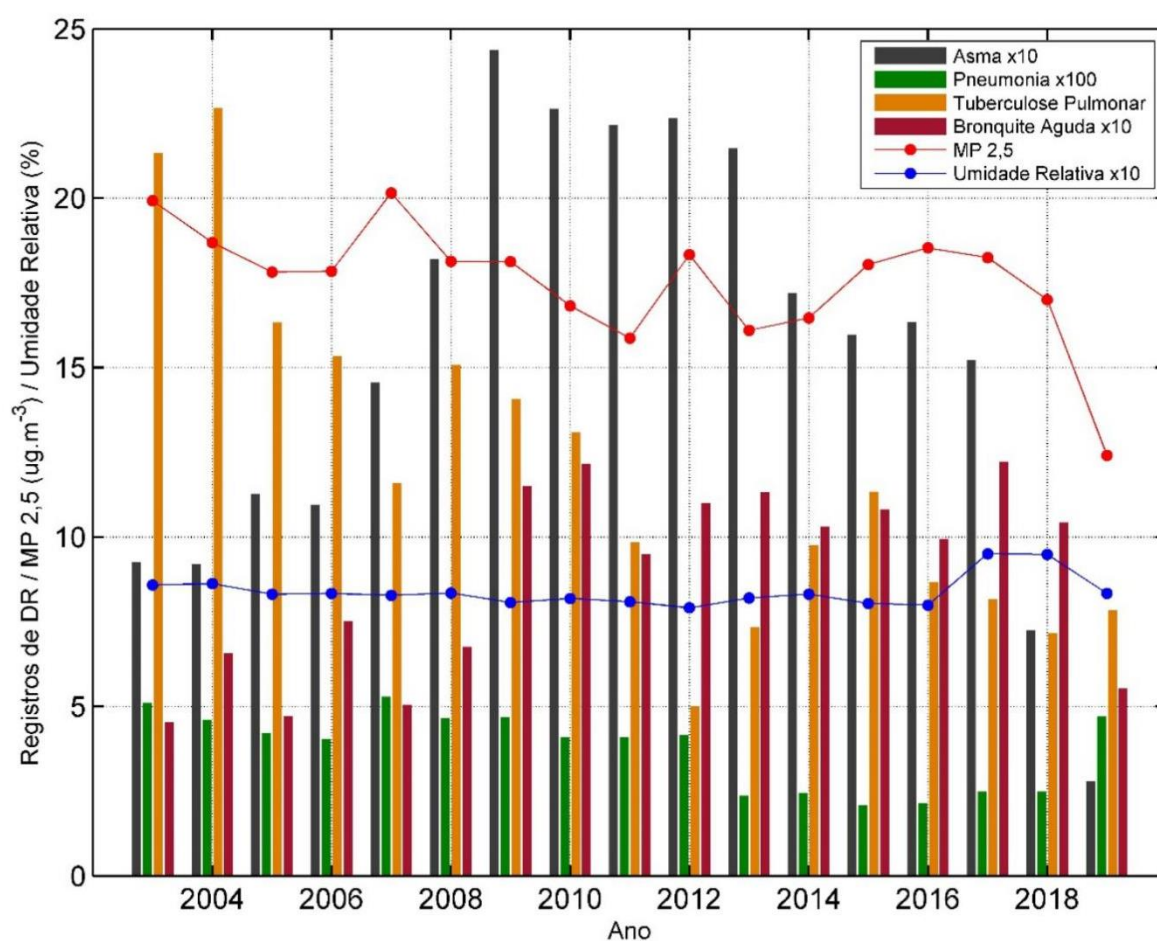
O estudo demonstra a grande influência da umidade relativa sobre as incidências de doenças na cidade de Belém, durante os primeiros semestres a UR alta favorece a propagação

de doenças como: bronquite aguda, asma e pneumonia. A taxa de material particulado em circulação no ar tende a aumentar com a redução da UR durante a estação menos chuvosa. Doenças como bronquite enfisema e tuberculose têm baixos índices de incidência, mas permanecem constantes ao longo dos meses. Não podendo esquecer que ocorrências de queimadas, aumento no número de veículos, desmatamentos, fatores socioeconômicos, somados a ações de variáveis meteorológicas contribuem diretamente com a elevação de $MP_{2.5}$ em circulação na capital. As médias anuais de $MP_{2.5}$, Registro de doenças respiratórias e Umidade relativa são mostradas na Figura 14.

Tabela 5- coeficientes de correlação de Pearson para as médias anuais (p-val <0,05).

Doenças respiratórias	$MP_{2.5}$ ($\mu g.m^{-3}$)	Temperatura ($^{\circ}C$)	Umidade relativa (%)
Asma adultos	0,16	0,66	-0,48
Pneumonia adultos	0,15	-0,45	-0,20
Tuberculose adultos	0,44	-0,30	0,00
Bronquite aguda adultos	-0,13	0,57	0,03
Bronquite enfisema adultos	0,44	-0,02	-0,15

Figura 14- Relação das médias anuais de entre $MP_{2.5}$, registro de doenças respiratórias e umidade relativa do ar para o período de 2003-2019.



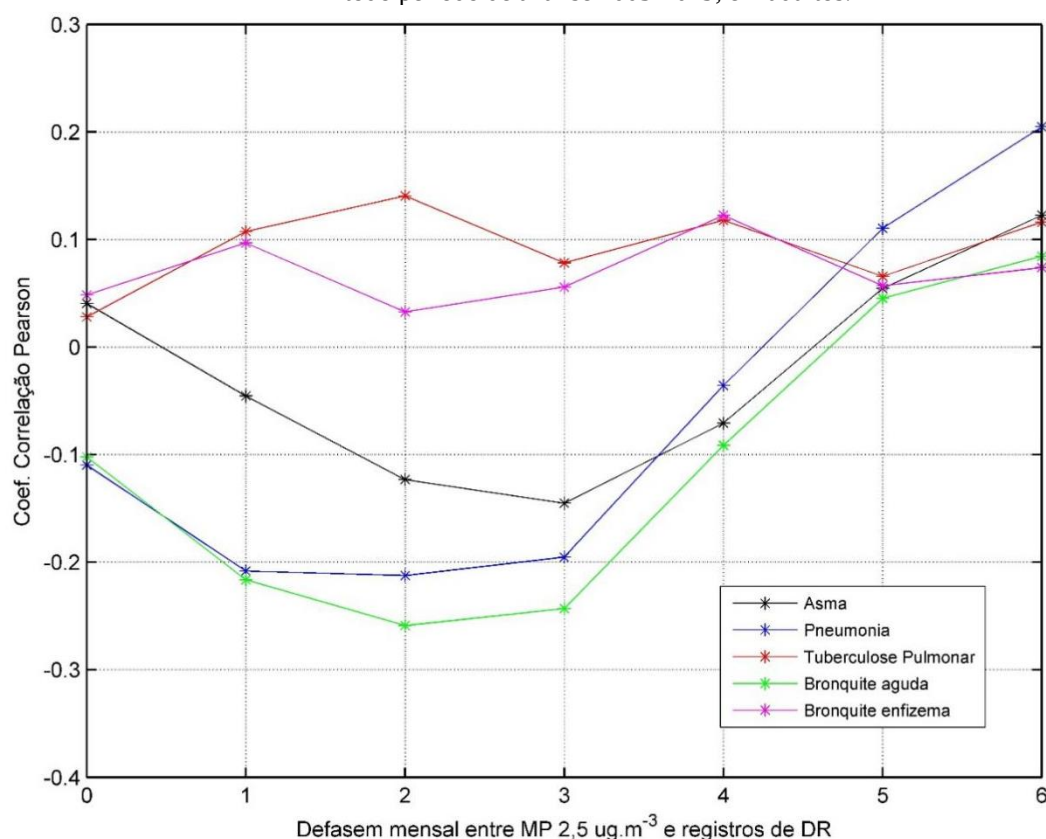
4.3.1 Relação entre MP 2.5 e os registros em adultos de doenças respiratórias

Observa-se na Figura 15, a correlação entre defasagens mensais de material particulado e registros de casos das doenças respiratórias na série temporal, em adultos. Nos meses do primeiro semestre (estação chuvosa), doenças como tuberculose e bronquite enfisema ficaram no coeficiente maior que 0 ($R=1$), significando uma correlação positiva, demonstrando uma associação entre a concentração do $MP_{2.5}$ e essas Doenças respiratórias. Nos meses do primeiro semestre a Asma fica com coeficiente menor que 0 ($R= -1$), significando uma correlação negativa, demonstrando uma não associação entre MP e DR. No primeiro semestre, a pneumonia e a bronquite aguda apresentam coeficiente menor que 0 ($R= -1$), correlação negativa, demonstrando não associação. No entanto no período de transição do período chuvoso para o período menos chuvoso, o coeficiente de Pearson se relaciona com as doenças respiratórias, devido à defasagem no tempo mensal, as cinco doenças no período transitório aumentam sua correlação ($p= 0,05$), passando no segundo semestre para uma correlação positiva, destacando na defasagem a DR pneumonia.

As Doenças respiratórias que mais afetam os adultos segundo a correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças são:

No primeiro semestre Tuberculose e Bronquite enfisema; no segundo semestre Pneumonia, Asma, Tuberculose, Bronquite aguda e Bronquite enfisema.

Figura 15 - Correlação entre defasagens mensais de material particulado e registros de doenças respiratórias para todo período de análise 2003-2019, em adultos.



Nota-se que os coeficientes de correlação significativos apresentaram 40% (tabela 7) de o Material particulado estar influenciando o aumento nos casos de Tuberculose em crianças, sendo essa faixa etária mais vulnerável a doenças respiratórias, sejam elas propagadas por condições ambientais ou socioeconômicas.

Em estudos feitos por (Rosa *et al.*, 2008; Moura *et al.*, 2021) no Brasil as doenças respiratórias são responsáveis por aproximadamente 16% de todas as internações, sendo 50% delas devido à pneumonia. Porém, em grupos mais vulneráveis como as crianças, as doenças respiratórias compreendem mais de 50% das internações hospitalares. Em geral, as crianças podem ser mais vulneráveis quando comparadas com outras faixas etárias. O material particulado fino (MP_{2.5}) da atmosfera penetra mais efetivamente no trato respiratório inferior, brônquios e alvéolos pulmonares de crianças menores de 10 anos e adultos maiores de 60 anos, podendo causar alterações genéticas e o desenvolvimento de tumores.

Tabela 6 - coeficientes de correlação de Pearson para as médias anuais (p-val <0,05).

Doenças respiratórias	MP _{2.5} /µgm ³	Temperatura °C	Umidade relativa %
Asma crianças	0,14	0,70	-0,46
Pneumonia crianças	0,16	-0,47	-0,19
Tuberculose crianças	0,40	-0,13	-0,07
Bronquite aguda crianças	-0,09	0,59	0,03
Bronquite enfizema crianças	-0,30	-0,16	0,48

4.3.2 Relação entre MP 2.5 e os registros de doenças respiratórias em crianças (<9 anos)

Observa-se na Figura 16, a correlação entre defasagens mensais de material particulado e registros de casos de doenças respiratórias para todo período da análise temporal, em crianças (< 9 anos). Nos primeiros três meses da estação chuvosa entre 2003-2019, a doença Tuberculose sofreu variações, a partir do quarto mês apresentou-se no coeficiente zero ($R=0$) significando que as duas variáveis MP e DR não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir outra dependência que seja não-linear; assim o resultado ($R=0$) deve ser investigado por outros meios.

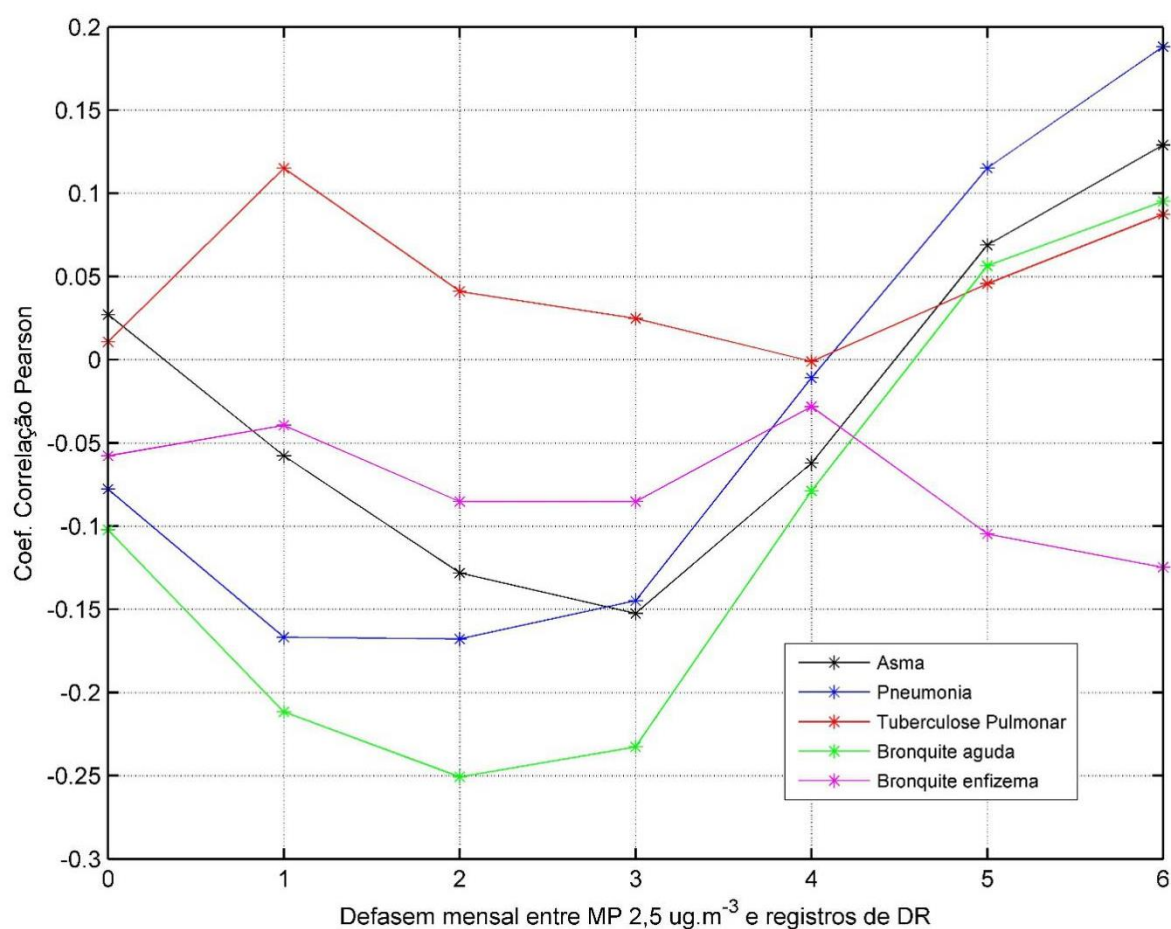
Nos três primeiros meses da estação chuvosa doenças como Bronquite enfisema, Pneumonia, Asma e Bronquite aguda demonstraram coeficiente menor que zero ($R= -1$), significando correlação negativa, demonstrando não existir associação entre MP e essas DRs.

A partir do quinto mês ocorreu um período de transição, doenças como Pneumonia, Asma, Bronquite aguda e Tuberculose, na transição da estação chuvosa para a estação menos chuvosa, o coeficiente de Pearson se relaciona com essas DRs devido à defasagem mensal no tempo. Essas quatro DRs passam para a estação menos chuvosa, com correlação positiva, maior que zero ($R=1$), indicando associação positiva entre MP e essas DRs.

Nesse período transitório a doença Bronquite enfisema mostra um declínio, apresentando correlação negativa, coeficiente menor que zero ($R= -1$), indicando uma não associação entre essa DR e MP.

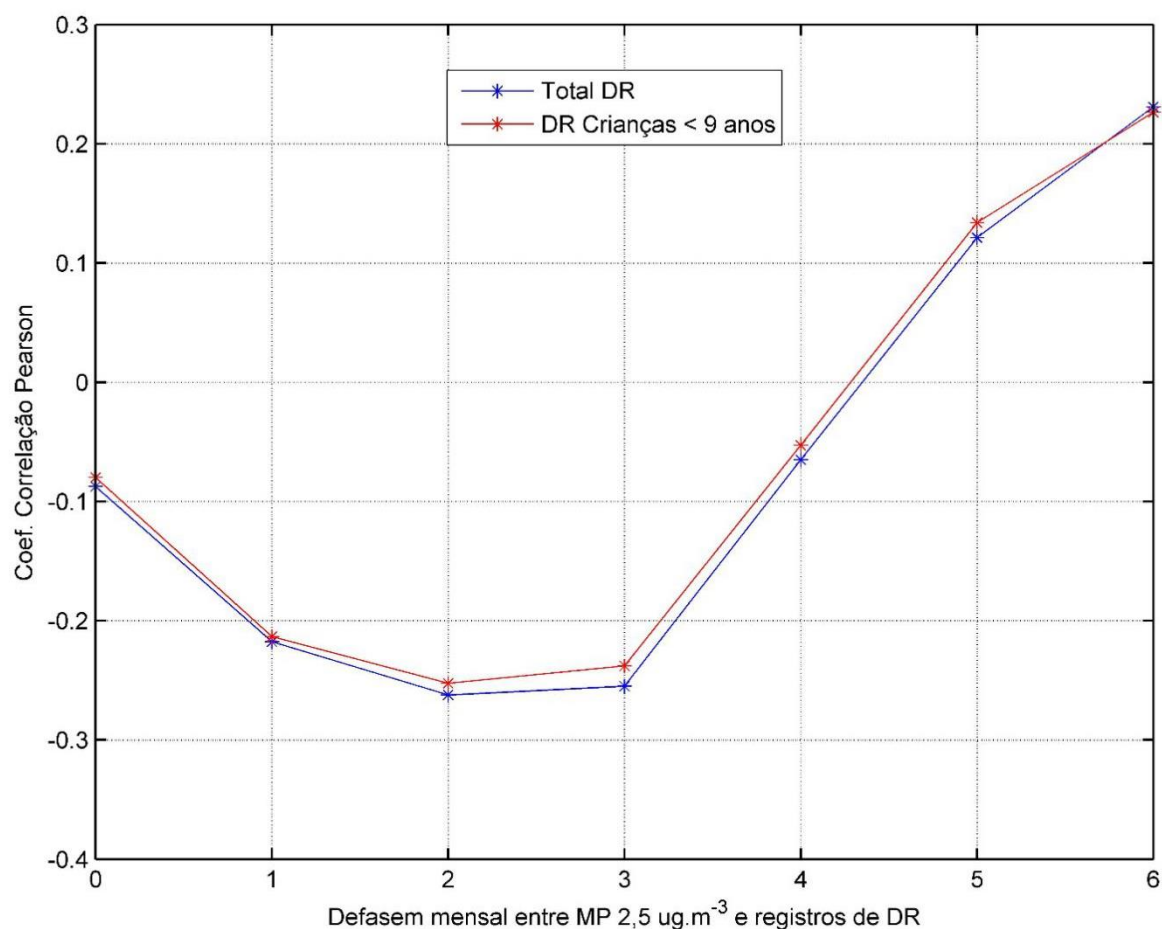
As Doenças respiratórias que mais afetam as crianças (< 9 anos) segundo a correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças. são: No primeiro semestre _ Tuberculose, no segundo semestre _ Pneumonia, Asma, Bronquite aguda e Tuberculose.

Figura 16 - Correlação entre defasagens mensais de material particulado e registros de doenças respiratórias para todo período de análise 2003-2019, em crianças (< 9 anos).



Observa-se na Figura 17, a correlação entre defasagens mensais de material particulado e registros de doenças respiratórias para todo período de análise, em adultos e crianças (< 9 anos). Nos três primeiros meses no período chuvoso, demonstra um coeficiente menor que zero ($R = -1$), significa uma correlação negativa, onde não existe associação entre MP e DRs em adultos e crianças. A partir da transição no quinto mês apresenta um coeficiente maior que zero ($R = 1$), passando para o período transitório (estação menos chuvosa), com uma correlação positiva, indicando uma associação entre MP e DRs em Adultos e Crianças (< 9 anos). A correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças entre Adultos e Crianças de 20% de aumento.

Figura 17 - Correlação entre defasagens mensais de material particulado e registros de doenças respiratórias para todo período de análise 2003-2019, em adultos e crianças (< 9 anos).



O presente estudo vem com intuito de colaborar, com demais trabalhos já publicados sobre a discussão da emissão de material particulado fino $MP_{2,5}$ e seus impactos na saúde da população do município de Belém derivado de poluentes lançados na atmosfera. O uso de $MP_{2,5}$ tornou-se uma alternativa, pois existem pesquisas que vem usando essa variável como forma de monitorar a qualidade do ar em regiões metropolitanas.

O estudo das partículas finas ($MP_{2,5}$) e sua relação com a saúde tem sido pouco explorados no Brasil e na Amazônia Oriental.

Segundo Fernandes *et al.* (2020) observa-se uma carência de informações sobre $MP_{2,5}$, apenas 11 estudos (31%) analisaram esse poluente, sendo a maioria devido a atividades econômicas nas cidades em questão, como a queima da cana-de-açúcar (Cançado *et al.*, 2006; César *et al.*, 2013) ou por especificidades da região amazônica, como queimadas e desmatamento (Machin; Nascimento, 2018; Ignotti *et al.*, 2010; Carmo *et al.*, 2010). Com exceção de Ignotti *et al.* (2010), que enfocou doenças respiratórias na Amazônia subequatorial para idosos, os estudos sobre $MP_{2,5}$ concentraram-se na faixa etária abaixo de 13 anos.

Em trabalhos publicados por Artaxo *et al.* (2009); Andrade Filho *et al.* (2013); Mascarenhas *et al.* (2008), discorrem a importância e o impacto desse aerossol sobre a saúde da população; contudo esses trabalhos se restringem a área central e sul da Amazônia.

Em grandes áreas urbanas, as emissões veiculares são a fonte dominante de MP (Pacheco *et al.*, 2017; Albuquerque *et al.*, 2019) e desempenham um papel fundamental para a melhoria da qualidade do ar. Com a redução da umidade relativa na estação menos chuvosa, o sistema respiratório sofre com o avanço dos agravos crônicos por aumento de poluentes atmosféricos. Quando a umidade relativa eleva-se, nos meses de fevereiro, março e abril ocorrem o surgimento de microrganismos alérgenos especialmente em indivíduos predispostos, como casos: bronquite e asma.

A maioria das doenças é causada ou influenciada por fatores ambientais, incluindo condições climáticas que têm sido cada vez mais objeto de estudos epidemiológicos. No entanto, considerando a relação entre clima, desmatamento, incêndios florestais e saúde humana, fica evidente que estudos sobre o assunto ainda são escassos na Amazônia Oriental (Moura *et al.*, 2021).

Os resultados deste estudo concordam com trabalhos publicados por Ignotti *et al.* (2010), Mascarenhas *et al.* (2008) sobre a relação entre MP fino e doenças respiratórias, sendo que no presente trabalho o objeto de estudos seja a influência em adultos e crianças (<9 anos).

Também corroboram com o uso do método de correlação de Pearson no trabalho de Andrade Filho *et al.* (2013), para estabelecer associações entre MP_{2.5} e doenças respiratórias, incluindo variáveis independentes de $p < 0,05$ (umidade, MP_{2.5} e precipitação), sendo que nesse trabalho as variáveis independentes de $p < 0,05$ (MP_{2.5}, temperatura e umidade).

Na análise da série temporal sobre a relação entre os registros de doenças e MP_{2.5}, foram constatados casos mais frequentes de Pneumonia e Asma em adultos e crianças (<9 anos).

Logo estudos sobre MP_{2.5} servem de instrumento para reforçar a necessidade da política de monitoramento da qualidade do ar nas cidades amazônicas, para uma melhor avaliação sobre os efeitos de partículas poluentes sobre a saúde das populações, principalmente as mais vulneráveis. Pesquisas mais amplas, podem ajudar na tomada de decisão para estabelecer políticas públicas viáveis, de prevenção, melhoria do planejamento urbano e ambiental no município de Belém proporcionando balanços dos custos financeiros dessa exposição para os serviços de saúde.

5 CONCLUSÕES

As doenças respiratórias que mais afetaram os adultos segundo a correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças foram: no primeiro semestre Tuberculose e Bronquite enfisema; no segundo semestre Pneumonia, Asma, Tuberculose, Bronquite aguda e Bronquite enfisema;

As doenças respiratórias que mais afetaram as crianças (< 9 anos) segundo a correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças foram: no primeiro semestre Tuberculose; no segundo semestre Pneumonia, Asma, Bronquite aguda e Tuberculose;

A correlação estabelecida no coeficiente de Pearson entre a defasagem mensal MP e Registro de doenças entre Adultos e Crianças teve 20% de aumento;

Nesse estudo na análise da série temporal sobre a relação entre os registros de doenças e MP_{2.5}, foram constatados casos mais frequentes de Pneumonia e Asma em adultos e crianças (<9 anos);

A continuidade de estudos de emissões de partículas finas (MP_{2.5}) e sua relação com a saúde, principalmente por causas respiratórias se faz necessária; já que tem sido pouco explorada na Amazonia Oriental. A disponibilidade de dados monitorados para pesquisas, podem ser usados como parâmetros para avaliar a qualidade do ar e seus impactos na saúde da população. Dessa forma, os tomadores de decisão podem estabelecer parcerias com instituições de pesquisa, órgãos governamentais, instituições financeiras com objetivo de criar políticas públicas eficazes que atendam às necessidades da população amazônica, promovendo melhoria social, econômica e ambiental.

Com esse intuito elaborou-se uma proposta de melhoria ao plano de ação de vigilância a saúde sobre monitoramento de MP_{2.5} no município de Belém/PA destinado a Secretaria Municipal de Saúde de Belém SESMA/PA.

PERSPECTIVAS FUTURAS

- Utilizar medidas reais de concentração MP_{2.5} (Pois já temos recursos para comprar o equipamento de monitoramento e instala-lo na UFPA).
- Focar nas doenças respiratórias mais agravantes (Pneumonia e Asma).
- Avaliar as variações de doenças respiratórias por faixa etária e gênero.
- Utilizar imagens de satélites para avaliar as variações espaciais de MP_{2.5} e as doenças respiratórias na região metropolitana de Belém.

REFERÊNCIAS

- AL-KINDI, Sadeer G. *et al.* Environmental determinants of cardiovascular disease: lessons learned from air pollution. **Nature Reviews Cardiology**, v. 17, n. 10, p. 656-672, 2020. Available in: <https://www.nature.com/articles/s41569-020-0371-2> Access: 17 abr. 2022.
- ANDRADE FILHO, Valdir Soares de *et al.* Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, p. 239-247, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/vCXBsr57kYR6qz45Jmwh6Mr/abstract/?lang=pt> Acesso em: 03 mar. 2022.
- ANDREÃO, W.L.; ALBUQUERQUE, T.T. de A. Partículas finas como indicador de saúde pública no Brasil: do monitoramento à modelagem. **Air Qual Atmos Health** v.13, p.1453–1463, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00899-3> Acesso: 17 abr. 2023.
- ALBUQUERQUE, Taciana T. *et al.* Analysis of PM 2.5 concentrations under pollutant emission control strategies in the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 33216-33227, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-06447-6> Acesso: 17 Abr. 2023
- ALVES, Nilmara de Oliveira *et al.* Biomass burning in the Amazon region causes DNA damage and cell death in human lung cells. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 10937, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11024-3> Acesso: 25 abr. 2023.
- ARTAXO, Paulo. O estado da qualidade do ar no Brasil. **Working Paper WRI Brasil**. São Paulo: Instituto de Física; Universidade de São Paulo, 2021. 32p. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/829cc5f7-0f4f-40c4-9fb5-4689e26c3050/wri-o-estado-da-_qualidade-do-ar-no-brasil.pdf Acesso em: 18 mai. 2022.
- ARTAXO, Paulo *et al.* Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 168-22, 2006. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2006_Artaxo_et al_Efeitos_climaticos_RBM_DE3os.pdf Acesso: 21 mai. 2022.
- ARTAXO, Paulo *et al.* Aerosol particles in Amazonia: their composition, role in the radiation balance, cloud formation, and nutrient cycles. In: KELLER, Michael ; BUSTAMANTE, Mercedes; GASH, John ; DIAS, Pedro Silva (org.). **Amazonia and global change**. Washington, DC. : American Geophysical Union. 2009. p. 233-250. (Geophysical Monograph Series, n.186). Disponível em: https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/14_Partículas_de_Aerossóis.pdf Acesso em: 28 fev. 2022.
- ARTAXO, Paulo *et al.* Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA 49-1-LBA 49-14, 2002. Available in: <https://doi.org/10.1029/2001JD000666> Access: 10 mai. 2022.

BARCELLOS-ICICT-FIOCRUZ, Christovam *et al.* **Queimadas na Amazônia e seus impactos na saúde:** a incidência de doenças respiratórias no sul da Amazônia aumentou. Disponível em: https://climaesaude.icict.fiocruz.br/sites/climaesaude.icict.fiocruz.br/files/informe_observatorio_queimadas.pdf Acesso em: 18 abr. 2023.

BOCCATTO, Márcia. **Vigilância em saúde.** São Paulo: Unifesp, 2012. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/sms-sp/2011/sms-2790/sms-2790-2099.pdf> Acesso em: 12 mai. 2022.

BRABO, Lúcio Davi Moraes; MIYAGAWA, Lyanne Tie. Avaliação da saúde humana e qualidade do ar, e efeitos possíveis sobre a cidade de Belém. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014, Belo Horizonte. 2014. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/IV-002.pdf> Acesso em: 28 fev. 2022.

BRAGA, Alfesio *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n. 51, p. 58-71, set./nov. 2001. Disponível em: <file:///C:/Users/55919/Downloads/35099-Texto%20do%20artigo-41261-1-10-20120727.pdf> . Acesso em: 23 abr. 2022.

BREDER, Luiz André *et al.* A evolução do monitoramento da qualidade do ar e desafios para atendimento dos padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS). **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 3, n. 1, p. 128-146, 2020. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/1197> Acesso em: 04 mar. 2022.

BRITO, G. F. S.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V. O. Impacto do material particulado na qualidade do ar. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 05, p. 1335-1354, 2018. Data de publicação na Web: 30 de outubro de 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/GabrielBrito3/publication/328919041_Impact_of_Particiulate_Matter_on_Air_Quality/links/5c389d57299bf12be3bfcad6/Impact-of-Particulate-Matter-on-Air-Quality.pdf Acesso em: 24 abr. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 03**, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Pronar. Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção1, páginas 15937-15939. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=100 Acesso em: 06 mar. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 05**, de 15 de junho de 1989. Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar- Pronar, como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e melhoria da qualidade de vida. Publicada no DOU, 25/08/1989. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=81 Acesso em: 06 mar. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 18**, de 06 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores – Proconve. Publicada no DOU, de 17 de junho de 1986, Seção 1, páginas 8792-8795. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=41 Acesso em: 05 mar. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 491**, de 19 de novembro de 2018. Estabelece os padrões de qualidade do ar. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603 Acesso em: 28 fev. 2022.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938** de 31 de agosto de 1981. Ministério do Meio Ambiente _ MMA. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm Acesso em: 05 mar. 2022.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Programa de grande escala da biosfera** — atmosfera na Amazônia. 2009. Disponível em: <http://lba.cptec.inpe.br/lba/site>. Acesso em: 14 abr. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Resolução MS/CNS nº 588**, de 12 de julho de 2018. Fica instituída a Política Nacional de Vigilância em Saúde (PNVS), aprovada por meio desta resolução. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília (DF), 2018 ago 13; Seção 1:87. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/p/politica-nacional-de-vigilancia-em-saude-1> Acesso em: 12 mai. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASUS**: Departamento de Informática do SUS. Brasília, Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/mxcid10lm.htm> Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 1.378**, de 9 de julho de 2013. Regulamenta as responsabilidades e define diretrizes para execução e financiamento das ações de Vigilância em Saúde pela União, Estados, Distrito Federal e Municípios, relativos ao Sistema Nacional de Vigilância em Saúde e Sistema Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jul. 2013. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2013/prt1378_09_07_2013.html. Acesso em: 21 mai. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Doenças respiratórias crônicas**. Brasília,DF: Ministério da Saúde, 2010. 160 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). (Cadernos de Atenção Básica, n. 25). Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf Acesso em: 03 mai. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. Departamento de Gestão da Educação na Saúde. **Projeto de profissionalização dos trabalhadores da área de enfermagem**. 2. ed. rev., 1. reimpr. - Brasília,DF: Ministério da Saúde; Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/profae/pae_cad1.pdf Acesso em: 27 abr. 2022.

CARMO, Cleber Nascimento do *et al.* Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 27, p. 10-16, 2010. Disponível em: <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2010.v27n1/10-16/pt/> Acesso em: 24 fev. 2022.

CANÇADO, J. E.D. *et al.* The impact of sugar cane–burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, [S.l.], v. 114, n. 5, p. 725-729, 2006. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8485> Acesso em: 25 de març. 2022.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de gestão da qualidade do ar–abordagem preventiva e corretiva**. 2010. 252f. Tese (Doutorado) – UFRJ/COPPE/ Programa de Planejamento Energético. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/PaulinaMariaPortoSilvaCavalcanti.pdf Acesso em: 21 mai. 2022.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA VITÓRIA DE SANTO ANTÃO. **Tuberculose**. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/17-11-dia-nacional-de-combate-a-tuberculose/> Acesso em: 05 mai. 2022.

CESAR, A. C. G. *et al.* Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, p. 1209-1212, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/hJc4Htx57sLq74PTqTJbpVf/?format=html&lang=pt> Acesso em: 04 mai. 2022.

CHEN, Ziyue *et al.* Understanding meteorological influences on PM 2.5 concentrations across China: a temporal and spatial perspective. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, n. 8, p. 5343-5358, 2018. Disponível em: <https://acp.copernicus.org/articles/18/5343/2018/> Acesso em: 27 mar. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade do ar – poluentes**. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/> Acesso em: 26 mar. 2022.

COSTA, Alexandre Araújo *et al.* Aerossóis atmosféricos e nuvens 2024. In: PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS-PBMC. **Base científica das mudanças climáticas**: v.1- primeiro relatório de avaliação nacional. Rio de Janeiro: UFRJ/PBMC, p.209-236, 2014. 464p. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT1/GT1_volume_completo_cap6.pdf Acesso em: 23 abr. 2023.

CSAVINA, Janae *et al.* Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. **Science of the Total Environment**, v. 487, p. 82-90, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.138>. Acesso em: 24 abr. 2022.

DIAS, Fellipe Leonardo Torres *et al.* Doenças respiratórias no Triângulo Mineiro: análise epidemiológica e projetiva com a pandemia de COVID-19. **Journal of Health & Biological Sciences**, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unichristus.edu.br/jhbs/article/view/3219> Acesso: 25 abr. 2022.

ESCOLA PAULISTA DE ENFERMAGEM (UNIFESP). Departamento de Enfermagem na saúde da Mulher. **Pneumonia adquirida na comunidade**. Publicado: 12 de novembro de 2020. Disponível em: <https://sp.unifesp.br/epe/desm/noticias/dia-da-pneumonia> Acesso em: 06 mai. 2022.

FERNANDES, Matheus Augusto de Oliveira *et al.* Avoiding hospital admissions for respiratory system diseases by complying to the final Brazilian air quality standard: an estimate for Brazilian southeast capitals. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 35889-35907, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-07772-x> Acesso: 25 abr. 2023.

FORASTIERE, F. *et al.* Socioeconomic status, particulate air pollution, and daily mortality: differential exposure or differential susceptibility. **American journal of industrial medicine**, v. 50, n. 3, p. 208-216, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ajim.20368> Acesso em: 23 abr. 2022.

FRANCO, Guilherme *et al.* Vigilância em Saúde brasileira: reflexões e contribuição ao debate da 1 a Conferência Nacional de Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22(10) p. 3137-3148, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2017.v22n10/3137-3148/> Acesso em: 22 abr. 2022.

FREITAS, Wiviane Maria Torres D.M. *et al.* Perfil clínico-epidemiológico de pacientes portadores de tuberculose atendidos em uma unidade municipal de saúde de Belém, Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 7, n. 2, p. 6-6, 2016. Disponível em: <https://ojs.iec.gov.br/index.php/rpas/article/view/293> Acesso em: 21 jan. 2023.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - FIOCRUZ. **Doenças no Portal FioCruz _ Tuberculose**. [S.l.]: Ministério da Saúde e Agência Fiocruz de Notícias, texto revisado pela pesquisadora Valéria Rolla, do Instituto de Pesquisa Clínica Evandro Chagas (Ipec/Fiocruz). 2023. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/doenca/tuberculose> Acesso em: 20 jan. 2023.

GOMES, Henrique Guimarães *et al.* Perfil das internações hospitalares no Brasil no período de 2013 a 2017. **Revista Interdisciplinar**, v. 10, n. 4, p. 96-104, 2017.

GONÇALVES, Franciane Andreza Veloso dos Santos. **Avaliação de parâmetros físicos e químicos da qualidade do ar para uma biblioteca de uma instituição de ensino na cidade de Belém/PA**. 2020. 163 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental, Ribeirão Preto, 2020. Disponível em: <https://dspace.unaerp.br/handle/12345/379> Acesso em: 28 fev. 2022.

GUARNIERI M.; BALMES J.R. **Outdoor Air Pollution and Asthma**. The Lancet. Published: May 03, 2014. Volume 383, ISSUE 9928, P. 1581-1592. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6) Acesso em: 27 fev. 2022.

GURGATZ, Bruno Martins. **Avaliação de material particulado fino, fuligem e poluentes gasosos na região portuária de Paranaguá**. 2018. 102f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Territorial Sustentável) – Universidade Federal do Paraná – Setor Litoral, Matinhos – PR, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/55756> Acesso em: 20 mai 2022.

HACON, Sandra *et al.* Atmospheric mercury and trace elements in the region of Alta Floresta in the Amazon basin. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 80, n. 1, p. 273-283, 1995. Available in: <https://doi.org/10.1007/BF01189677> . Acesso em: 15 abr. 2022.

IGNOTTI, Eliane *et al.* Impactos na saúde humana de partículas emitidas por queimadas na Amazônia brasileira. **Revista de Saúde Pública**, v. 44, n. 1, p. 121-130, 2010. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rsp/article/view/32750> Acesso em: 15 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades e estados_Ibge.** Belém_Pa.[homepage]. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html> Acesso em: 23 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades_Ibge.** Belém_Pa.[homepage]. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/belem/panorama>. Acesso em: 23 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Frota Veicular_Ibge.** Belém_Pa.[homepage]. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/pesquisa/22/0> Acesso em: 04 mar. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Sistema de informações ambientais_Sisam.** Descrição de dados: Ficha técnica concentração MP 2,5. 2022. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/dados/descricao>. Acesso em: 25 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Sistema de informações ambientais_Sisam.** Descrição de dados: Ficha técnica temperatura. 2022b. Disponível em: [ficha_tecnica_temperatura_ar.pdf](#). Acesso 25/02/2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Sistema de informações ambientais_Sisam.** Descrição de dados: Ficha técnica vento. 2022c. Disponível em: [ficha_tecnica_vento.pdf](#). Acesso 25/02/2022.

KAWASHIMA, Ana Beatriz. **Desenvolvimento de um inventário de emissões atmosféricas por fontes fixas para o Brasil.** 2015. 104f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2015. Disponível em: [LD_PPGEA_M_Kawashima, Ana Beatriz_2015 \(utfpr.edu.br\)](#) Acesso em 07 mar. 2022.

KALIUI, I. **Pneumonia:** especialista esclarece sintomas e formas de prevenção. [S.l.]: Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). 2013. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/pneumonia-especialista-esclarece-sintomas-e-formas-de-prevencao#:~:text=O%20que%20pode%20causar%20a,a%20mudan%C3%A7as%20bruscas%20de%20temperatura> Acesso em: 07 mar. 2023.

LIMA, Sandra Souza *et al.* Análise espacial da tuberculose em Belém, estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 8, n. 2, p. 55-63, 2017. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?pid=S2176-62232017000200007&script=sci_arttext&tlng=es Acesso em: 07 mar. 2023.

MACHIN, Adrian Blanco; NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de saúde Pública**, v. 34, e00006617, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/PHTDFfhv4DFmNBXnGH4Q3tJ/> Acesso em: 26 abr. 2022.

MASCARENHAS, Márcio Dênis Medeiros *et al.* Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil-setembro, 2005. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 34, p. 42-46, 2008. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/VP5fHt7dKTqPyTJx5m84vsR/?lang=pt&format=html>
Acesso em: 25 abr. 2022.

MEIRELES, Hely Lopes. **Aspectos legais relacionados com a poluição do ar**. 1966. Disponível em: <https://pge.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=NTE%2CxNg%2C%2C>
Acesso em: 04 mar. 2022.

MORAES, Bergson Cavalcanti de *et al.* Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 207-214, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/3hcq8XkDqNqvqYFqTxxCXgB/abstract/?lang=pt> Acesso em: 03 fev. 2023.

MOREIRA, Fernanda da Silva de Andrade *et al.* Variabilidade espaço temporal da precipitação na Cidade de Belém-PA e sua relação com a incidência de Leptospirose. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 071-080, maio 2019. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234853/32115> 03 mai. 2022.

MOURA, Mauricio do Nascimento *et al.* Relação entre doenças respiratórias e condições ambientais: uma análise de séries temporais na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), v. 56, n. 3, pág. 398-412, 2021. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/1020 Acesso em: 03 jan. 2023

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE CLIMA E SAÚDE. Ministério da Saúde. Fundação Instituto Oswaldo Cruz- FIOCRUZ . **Análise de situação em clima e saúde**. Brasília,DF: outubro, pg. 40, 2017. Disponível em: https://climaesaude.icict.fiocruz.br/sites/climaesaude.icict.fiocruz.br/files/analisedesituacaoemsaudecursoopasfiocruzatualizado_0.pdf Acesso em: 10 jan. 2023.

OMRONBRASIL. Entenda tudo sobre as principais doenças respiratórias e como se livrar das crises. **Omron Healthcare** 06 jan., 2020. Disponível em: <https://conteudo.omronbrasil.com/doencas-respiratorias/> Acesso em: 04 mai. 2022.

ORGANIZAÇÃO PAN AMERICANA DE SAÚDE - OPAS. **Novas diretrizes globais de qualidade do ar da OMS visam salvar milhões de vidas da poluição atmosférica**. Site _ Notícias. 22 set 2021. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/22-9-2021-novas-diretrizes-globais-qualidade-do-ar-da-oms-visam-salvar-milhoes-vidas-da> Acesso em: 23 fev. 2022.

PACHECO, Marina Torres *et al.* A review of emissions and concentrations of particulate matter in the three major metropolitan areas of Brazil. **Journal of Transport & Health**, v. 4, p. 53-72, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214140516303541>. Acesso em: 23 Abr. 2023.

PECHIM, Lethicia. **Poluição pode causar doenças respiratórias**. Belo Horizonte: Saúde com ciência. Centro de Comunicação Social da Faculdade de Medicina da UFMG, 2020. Disponível em: <https://www.medicina.ufmg.br/poluicao-pode-causar-doencas-respiratorias/> Acesso em: 02 mai. 2022.

POLEZER, G. **Materiais antropogênicos suspensos na atmosfera de Curitiba**. 2015.146 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/41382>. Acesso em: 28 mar. 2022.

PRODI, Franco; TAMPIERI, Francesco. A remoção de material particulado da atmosfera: os mecanismos físicos. **Geofísica Pura e Aplicada**, v. 120, p. 286-325, 1982. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00877038> Acesso em: 24 fev. 2023.

RAO, X. *et al.* Effect of Particulate Matter Air Pollution on Cardiovascular Oxidative Stress Pathways. **Antioxid Redox Signal.**, v.28, n. 9, p.797-818, Mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7394.Epub>. Acesso em: 28 abr. 2022.

RECKTENWALDT, Micheli; JUNGES, José Roque. A organização e a prática da vigilância em saúde em municípios de pequeno porte. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 367-381, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/cpLsQ6RrbSxK54XLN3rtjyy/?lang=pt&format=html> Acesso em: 17 abr. 2022.

RIBEIRO, Wagner Alves. Tuberculose: um perfil epidemiológico dos municípios de Belém e Ananindeua-PA no período de 2006 a 2008. **Rev. Para. Med**, 2011. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-609160> Acesso em: 17 jan. 2023.

ROCHA, Vinícius Roggério da; YAMASOE, Marcia Akemi. Estudo da variabilidade espacial e temporal da profundidade óptica do aerossol obtida com o MODIS sobre a região amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 210-220, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/hNhGSprzzLPwQ7VhWQ9v8hP/abstract/?lang=pt> Acesso em: 17 abr. 2023.

RODRIGUES, Poliany Cristiny de Oliveira; IGNOTTI, Eliane; HACON, Sandra de Souza. Fatores socioeconômicos aumentam os efeitos nocivos da poluição atmosférica e da temperatura na mortalidade. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 22, e190011, 2019.

ROSA, Antonia Maria *et al.* Análise das internações por doenças respiratórias em Tangará da Serra-Amazônia Brasileira. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 34, p. 575-582, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/YLQp898BfynDF67RvYmxm6C/abstract/?lang=pt> Acesso em: 17 abr. 2022.

SANTOS, Ubiratan de Paula *et al.* Environmental air pollution: respiratory effects. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 47, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/Y8XSDqxcnfs3jphjFV6FmLD/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 24 fev. 2022.

SANTOS, Fábio Soares dos *et al.* Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP 2, 5) em Belo Horizonte, MG. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, p. 371-381, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/4kSVDKgVcYnwNFt5R6Yb5pp/abstract/?lang=pt> Acesso em 17 jan. 2023.

SANTOS, Haroldo Lima *et al.* Relação entre poluentes atmosféricos e suas consequências para a saúde. **Revista Científica Intr@ ciência**, v. 17, p. 01-24, 2019b. Disponível em: https://unesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20190312105045.pdf Acesso em: 17 jan. 2023.

SCHWARTZ, Joel. Air pollution and children's health. **Pediatrics**, v. 113, n. Supplement_3, p. 1037-1043, 2004. Disponível em: https://publications.aap.org/pediatrics/article-abstract/113/Supplement_3/1037/66815/Air-Pollution-and-Children-s-Health?redirectedFrom=fulltext Acesso em: 10 abr. 2022.

SECRETARIA DE SAÚDE PÚBLICA DO ESTADO DO PARÁ - SESPA. **Relatório de Gestão Ano 2021**. Nº 2022/ 426890. Publicado em 26/05/2022. Disponível em: <http://www.saude.pa.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/RELATORIO-DE-GESTAO-SESPA-2021.pdf> Acesso em: 30 mai. 2022.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE (SESMA). Plano Municipal de Saúde - PMS: Quadriênio 2018 – 2021. **Diário Oficial do Município de Belém**, 11 set. 2017. SESMA /Belém/ 2017. Disponível em: https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/37/Plano%20Municipal%20de%20Saude_2018-2021-%20SESMA%20BELEM-PA.pdf Acesso em: 12 abr. 2022.

VARELLA, Drauzio. **Pneumonia**. Publicado em: maio, 2011. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/pneumonia-5/> Acesso em: 04 mai. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Ambient (outdoor) air pollution** [homepage on the Internet]. Publisher : 22 September 2021. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) Acesso em: 28 fev. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Expert committee on environmental sanitation & World Health Organization**. 1958. Air pollution : fifth report of the Expert Committee on Environmental Sanitation [meeting held in Geneva from 18 to 23 November 1957]. World Health Organization. [04 de Mar. 2022]. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/40416> Disponível em: 04 mar. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Health_topics. Air pollution** [homepage on the Internet]. 2022. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em 28 fev. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Regional Office for Europe. 2006. **Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. World Health Organization. Regional Office for Europe. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823> Acesso em: 28 fev. 2022.

APÊNDICE A



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA

**Adesão de melhorias no plano de ação de vigilância a saúde em
relação ao material particulado e seu agravo às doenças
respiratórias no município de Belém/PA**

PRODUTO TÉCNICO DA PESQUISA

Discente: Josiane dos Santos Reis

Orientador: Prof.º Dr. Rafael da Silva Palácios

Belém-PA

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R375r Reis, Josiane dos Santos.
 Relação entre a concentração de material particulado e doenças
 respiratórias no município de Belém-PA / Josiane dos Santos Reis.
 — 2024.
 06 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão
 de Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2023

 1. Poluição atmosférica. 2. Doenças respiratórias. 3.
 Aerossol. 4. MP 2.5. I. Título.

CDD 551.5113



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA

Produto Técnico vinculado a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

VIGILÂNCIA DE POPULAÇÕES EXPOSTAS A MATERIAL PARTICULADO



Situação em Belém

- Se faz necessário estabelecer políticas públicas de monitoramento de qualidade de ar _ material particulado no município de Belém.
- Propor a criação de unidades sentinela para doenças como Pneumonia, Asma; implantá-las nas UPAS, reforça a necessidade de implementar ações diferenciadas, dirigidas a grupos específicos, para a prevenção e controle em agravos respiratórios mais suscetíveis a ação de material particulado seja de origem ambiental ou socioeconômica.
- Estabelecer monitoramento contínuo da evolução dessas doenças respiratórias, ano a ano, para analisar a tendência de crescimento.
- Monitoramento da umidade relativa (Podem ser estabelecidas parcerias entre instituições de pesquisa, órgãos governamentais, instituições financeiras, de assistência à saúde e educação).

Objetivos gerais

- Minimizar a incidência de agravos respiratórios provocados pela poluição do ar por MP.
- Atender as necessidades da população relativas à qualidade do ar em Belém/PA.
- Prever e atenuar as emissões prejudiciais de MP de fontes distintas.

Objetivos específicos

- Conhecer e avaliar a qualidade do ar no município de Belém.
- Identificar e georreferenciar as fontes geradoras de material particulado em Belém.
- Articular medidas de prevenção com parceiros públicos e privados.
- Acionar ações de emergência diante de episódios críticos de risco à saúde da população de Belém.

Dados das Principais Atividades a Serem Georreferenciadas responsáveis por Emissões de Material Particulado no Município de Belém/PA.

- indústrias de extração mineral
- curtumes
- siderúrgicas e metalúrgicas
- indústrias químicas, de bebidas
- marmorarias
- papel celulose
- quaisquer indústrias com emissões potencialmente prejudiciais

O documento de vigilância a saúde de populações expostas (bairros) ao material particulado deve ser enviado a SESMA/PA, como forma de contribuir com planejamento estratégico de atenção à saúde do município de Belém/PA, visando à prevenção e diminuição de internações por agravos de doenças respiratórias, com ações dirigidas a grupos específicos.

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é uma das maiores ameaças ambientais à saúde humana, juntamente com a mudança do clima. Melhorar a qualidade do ar pode ajudar os esforços de mitigação da mudança do clima, enquanto a redução das emissões, por sua vez, melhorará a qualidade do ar. Ao se esforçar para atingir esses níveis de diretrizes, os países estarão tanto protegendo a saúde quanto mitigando a mudança do clima em nível mundial (Opas, 2021).

Levando em consideração que a poluição do ar caminha proporcionalmente com aumento da urbanização, o município de Belém, capital do Estado do Pará, seguiu o mesmo panorama das outras metrópoles brasileiras. O crescimento horizontal desordenado e o processo de conurbação originaram a região metropolitana de Belém, onde a indústria principalmente a automobilística se desenvolveu fortemente (Brabo; Miyagawa, 2014).

Belém tem uma área de unidade territorial [2022] de 1.059,466 km², com população de acordo com último censo [2022] de 1.303.403 pessoas (Ibge, 2023). Sua frota veicular [2022] conta com 511.753 veículos (Ibge, 2023), o aumento do número de automóveis amplia significativamente as emissões de poluentes atmosféricos, causando o aparecimento de várias doenças, principalmente, as doenças que atingem o sistema respiratório.

Segundo Carmo *et al.* (2010), a Amazônia é a região com maior taxa de desmatamento. O desmatamento precede as queimadas, com fortes impactos sobre a saúde humana. Independente se em áreas remotas ou rurais, os poluentes das queimadas sejam gasosos ou materiais particulado finos apresentam efeitos diretos para o sistema respiratório, principalmente em grupos mais vulneráveis como idosos e crianças. Entretanto, os efeitos das queimadas sobre a saúde humana têm sido pouco estudados.

Dentre os diversos poluentes liberados na queima de biomassa na Amazônia, o material particulado ganhou destaque. As emissões de partículas finas decorrentes das queimadas representam cerca de 60% do material particulado emitido para a atmosfera (Brasil, 2009; Artaxo *et al.*, 2006; Hacon *et al.*, 1995; Carmo *et al.*, 2010).

Em seu trabalho Mascarenhas *et al.* (2008), corrobora que a poluição atmosférica na Amazônia devido principalmente a ação das queimadas, é uma fonte de produção de material particulado e gases tóxicos que prejudicam a qualidade do ar e atingem as populações mais vulneráveis como: crianças, idosos e adultos portadores de doenças prévias, incidindo em várias doenças respiratórias, consultas, internações e podendo levar até mesmo a óbito.

FINALIDADE

A Vigilância em Saúde constitui um processo contínuo e sistemático de coleta, consolidação, análise e disseminação de dados sobre eventos relacionados à saúde, visando o planejamento e a implementação de medidas de saúde pública para a proteção da saúde da população, a prevenção e controle de riscos, agravos e doenças, bem como para a promoção da saúde (Brasil, 2013; Recktenwaldt; Junges, 2017).

Conforme Boccato (2012) A Saúde Pública apresentou um processo dinâmico de transformação nos últimos anos, com sérias mudanças estruturais e a proposição de modelos inovadores de gestão, sempre objetivando a melhoria da qualidade dos serviços e da assistência destinados à população, em sintonia com os princípios do Sistema Único de Saúde (SUS).

O registro de dados de interesse sanitário e de casos de morbimortalidade, integrantes da base de dados da Vigilância em Saúde, hoje com variados graus de utilidade, seja pela sua qualidade e/ou cobertura, representam um patrimônio social e técnico do SUS. A necessária e adequada investigação dos casos, ameaças e problemas correlacionados com outras fontes de informação, incluindo necessariamente percepção, práticas e saberes da sociedade possibilita definir um cenário sanitário contextualizado à dinâmica dos respectivos territórios. A integração destas informações é o elemento fundante da organização de uma intervenção em favor da promoção e da proteção à saúde e da prevenção de agravos. A informação da Vigilância em Saúde é um bem público que necessita ser livremente disponibilizado e ser de fácil acesso a toda a sociedade (Franco *et al.*, 2017).

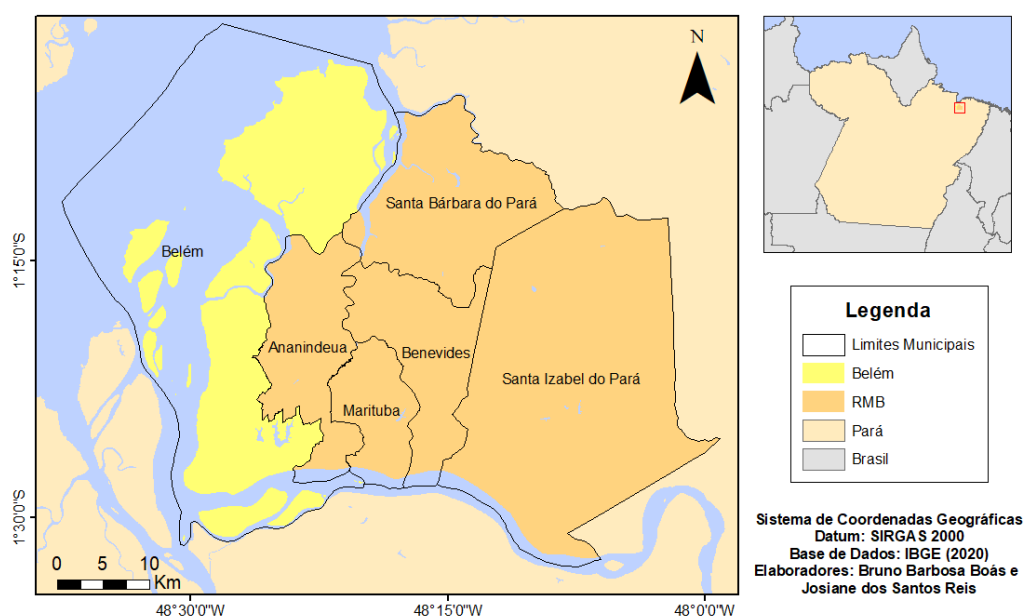
O Plano Municipal de Saúde (PMS) do Município de Belém, é o instrumento estratégico norteador do planejamento e programação das ações e serviços de saúde. A Secretaria Municipal de Saúde do Município de Belém-PA é a gestora plena do Sistema Único de Saúde (SUS), em âmbito Municipal, tendo a responsabilidade de promover, elaborar, executar,

monitorar e avaliar as Políticas Públicas de Saúde, descentralizadas, com cobertura nos oito distritos administrativos e articuladas intersetorialmente com os níveis de governo estadual e federal. A SESMA busca planejar e executar ações estratégicas para qualificação das práticas gerenciais do SUS para o fortalecimento da gestão e parcerias no desenvolvimento de ações integradas para o fortalecimento e potencialização das ações desempenhadas na Rede SUS Belém (Sesma, 2017).

SITUAÇÃO E CENARIOS DE RISCO

Belém é um município brasileiro, capital do Estado do Pará, pertencente à Mesorregião Metropolitana de Belém e à Microrregião de Belém. Com uma área de unidade territorial 1.059,466 km² [Ibge, 2022]. Com uma população de 1.303, 403 pessoas [Ibge, 2022] é a metrópole localizada mais ao norte do Brasil, possuindo também a segunda maior densidade demográfica da Região Norte [Ibge, 2022] 1.230,25 hab./km².

Figura – Caracterização da área de estudo, com destaque para a região metropolitana de Belém e rios adjacentes, no estado do Pará.



De acordo com Moreira *et al.* (2019), Belém apresenta grandes acumulados anuais de chuva, é cercada por rios e baías, sendo cortada por lagos e igarapés. Arelado a isto, tem uma urbanização intensa, que acarreta problemas como: diminuição de áreas verdes, ilhas de calor, além de frequentes alagamentos. Os altos índices de chuva contribuem com crescimento e migração de epidemias e doenças, diminuição de produtividade, aumenta gastos e cuidados com a saúde. Pode acarretar eventos extremos como: temporais, inundações e secas. Estes

problemas impactam diretamente à saúde da população, sendo no aparecimento de surtos por doenças transmissíveis ou provocando vítimas por acidente.

Os dados do material particulado (MP_{2.5}) foram extraídos do Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde_ SISAM (Inpe, 2022), que auxilia nos programas de saúde, permitindo estudos consistentes sobre os impactos das emissões de poluentes atmosféricos na saúde humana. Essa ferramenta permite o processamento e análise de uma variedade de parâmetros geofísicos obtidos de imagens de satélites e de análises numéricas.

Em relação às doenças respiratórias, foram elencadas para este estudo as Doenças Respiratórias Crônicas (DRCs) mais comuns e que aparecem com mais frequência nos dados de saúde: Pneumonia, Asma, Tuberculose, Bronquite (Aguda e Crônica/Enfisema).

O levantamento dos dados dessas doenças foi feito em registros gerais de casos na cidade de Belém, através da plataforma DATASUS, foram levados em consideração os fatores: de sexo, idades e faixa etária, entre adultos e crianças (< 9anos).

As alterações de temperatura, umidade e o regime de chuvas podem aumentar os efeitos das doenças respiratórias, assim como alterar as condições de exposição aos poluentes atmosféricos tanto em áreas de queima de biomassa quanto em regiões metropolitanas.

A cidade de Belém vem exibindo aumento da poluição atmosférica, visto que se encontra bastante urbanizada e sofre influências de atividades como: queima de biomassa, desmatamento, crescimento da frota veicular, aumento de instalações industriais. Sendo essas práticas e emissão de gases poluentes as principais fontes de material particulado.

As variáveis de temperatura e umidade relativa do ar são utilizadas para estudos climáticos e na saúde, principalmente a UR, pois sua variação pode interferir em nosso sistema respiratório e sensação térmica. Quando a umidade relativa do ar é muito alta, podem surgir fungos, mofo, bolores e ácaros (Inpe, 2022b). Quando a umidade relativa é muito baixa associa-se uma maior concentração de poluentes atmosféricos, podendo haver maior ocorrência de doenças respiratórias.

A variação sazonal da precipitação no estado do Pará é caracterizada por uma estação chuvosa, que na maioria das localidades compreende os meses de dezembro a maio, e por uma estação menos chuvosa que corresponde geralmente ao período de junho a novembro (Moraes *et al.*, 2005). A cidade de Belém se enquadra nesses períodos.

Fatores socioeconômicos também podem contribuir para os efeitos do material particulado na vida humana. Seu estudo demonstra como populações em condições de vida precárias são mais vulneráveis a problemas respiratórios, pois estão mais expostas a condições ambientais insalubres. A distribuição geográfica desigual das condições de vida e do trânsito urbano é outro fator fundamental a ser considerado, pois a exposição diferenciada contribui

para os efeitos do material particulado, podendo aumentar o risco de mortalidade por doenças respiratórias. Estudos mostram que impactos ambientais podem contribuir significativamente para a desigualdade social em escala local. Portanto, pessoas em precárias condições de vida têm acesso restrito à atenção básica à saúde (Rodrigues *et al.*, 2019; Forastiere *et al.*, 2007; Moura *et al.*, 2021).

Uma das características dominantes em Belém é a grande extensão de áreas carentes que não dispõem de serviços essenciais adequados, distribuídas de forma desordenada pelo Município (Lima *et al.*, 2017).