



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELOS DE DECISÃO E SAÚDE –  
DOUTORADO

**IMPACTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E FATORES CLIMÁTICOS NA  
OCORRÊNCIA DE ASMA**

Luciana Alves da Nóbrega

João Pessoa - PB

2022

Luciana Alves da Nóbrega

**IMPACTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E FATORES CLIMÁTICOS NA  
OCORRÊNCIA DE ASMA**

Tese de investigação Científica, submetido à Coordenação do Curso de Pós Graduação em Modelos de Decisão e Saúde – Nível Doutorado do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba.

**Linha de Pesquisa:** Modelos de Decisão

**Orientadores:**

Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento

Profa. Dra. Kátia Suely Queiroz Silva Ribeiro

Prof. Dr. Pedro Rafael D. Marinho

João Pessoa - PB

2022

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

N754i Nóbrega, Luciana Alves da.

Impacto da poluição atmosférica e fatores climáticos na ocorrência de asma / Luciana Alves da Nóbrega. - João Pessoa, 2022.  
130 f. : il.

Orientação: João Agnaldo do Nascimento, Kátia Suely Queiroz Silva Ribeiro, Pedro Rafael D. Marinho.  
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Asma. 2. Poluição atmosférica. 3. Fatores climáticos. 4. Modelos lineares generalizados. I. Nascimento, João Agnaldo do. II. Ribeiro, Kátia Suely Queiroz Silva. III. Marinho, Pedro Rafael D. IV. Título.

UFPB/BC

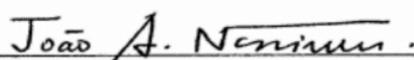
CDU 616.248(043)

LUCIANA ALVES DA NÓBREGA

**IMPACTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E FATORES CLIMÁTICOS NA  
OCORRÊNCIA DE ASMA**

João Pessoa, 06 de dezembro de 2022

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento  
Orientador – UFPB



Profa. Dra. Kátia Suely Queiroz Silva Ribeiro  
Orientadora - UFPB



Prof. Dr. Pedro Rafael D. Marinho  
Coorientador - UFPB

Prof. Dr. Luiz Medeiros de Araújo Lima Filho  
Membro Interno – UFPB

Profa. Dra. Caliandra Maria Bezerra Luna Lima  
Membro Interno – UFPB

Profa. Dra. Nataly Albuquerque dos Santos  
Membro Externo – UFPB

Prof. Dr. Ricardo José Ferreira  
Membro Externo - IFPB

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus pela força nos momentos de aflição.

Aos meus orientadores Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento, Profa. Dra. Kátia Suely Queiroz Silva Ribeiro e o Prof. Dr. Pedro Rafael D. Marinho, por ter compartilhado comigo seus conhecimentos e confiança depositava na minha proposta de projeto. Muito obrigada.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Modelo de Decisão e Saúde da Universidade Federal da Paraíba pelo apoio necessário para elaboração deste estudo.

Aos demais professores do Programa, pelos ensinamentos, em especial aos membros da banca pelas importantes sugestões que permitiram o aprimoramento deste trabalho.

A Empresa Cetrel pela contribuição de informações imprescindível para a construção dessa pesquisa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si três grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a super povoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre esses problemas, visto sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação.”*

*(Jacques Yves Cousteau, 1910-1997)*

## RESUMO

Nos últimos anos, muitos estudos têm sido realizados para mensurar o impacto da poluição do ar na saúde humana nos grandes centros urbanos. Desta forma, este estudo teve como objetivo desenvolver um modelo de tomada de decisão para avaliar o impacto dos principais poluentes atmosféricos e parâmetros climáticos sobre a incidência de asma em diferentes faixas etárias em uma cidade de grande porte. Para operacionalização do presente processo investigatório, foram utilizados os parâmetros empregados como indicadores da qualidade do ar previsto na Resolução n.º 491/2018, expedida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO) e parâmetros climáticos (temperatura e umidade relativa do ar), no período de outubro de 2010 a setembro de 2015. As informações relacionadas ao número de internações hospitalares por asma foram coletadas no Sistema de Informações Hospitalares do Sistema único de Saúde (SIHSUS). Para estimar o nível de associação existente entre os parâmetros ambientais e climáticos com os casos de notificação por asma na população de Salvador, utilizou-se o modelo de regressão de Poisson, mediante a utilização da linguagem de programação R. Nesse estudo foi considerado o nível de significância de 5% para a permanência da variável no modelo. De acordo com os resultados obtidos, as variáveis que apresentaram significância estatística ( $p$ -valor < 0,05) para os casos de internações por asma em crianças ( $\leq 9$  anos) foram: CO (RR = 5,04), MP<sub>10</sub> (RR = 1,02), Temperatura (RR = 0,86) e umidade (RR = 1,02). Com relação ao aumento de internações por asma em adolescentes, obtivemos: CO (RR = 5,26), MP<sub>10</sub> (RR = 1,03), NO<sub>2</sub> (RR = 1,06). Com relação aos idosos, apenas a variável CO (RR = 11,33) foi estatisticamente significativa. A partir dos resultados observados, concluiu-se que a exposição à poluição do ar na área urbana de Salvador, apresentou-se associada ao aumento de internações por asma em crianças, adolescentes e idosos. Por fim, através análise do ajuste e adequabilidade do modelo, observamos que o modelo de regressão de Poisson apresentou-se muito satisfatório na investigação da exposição aos poluentes atmosféricos e parâmetros climáticos aos casos de internações por asma, auxiliando, neste contexto, a tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Poluição atmosférica, fatores climáticos, modelos lineares generalizados, asma.

## ABSTRACT

In recent years, many studies have been carried out to measure the impact of air pollution on human health in large urban centers. Thus, this study aimed to develop a decision-making model to assess the impact of the main air pollutants and climatic parameters on the incidence of asthma in different age groups in a large city. To operationalize this investigative process, the parameters used as air quality indicators provided for in Resolution No. 491/2018, issued by the National Council for the Environment - CONAMA (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO) were used. and climate parameters (temperature and relative humidity), from October 2010 to September 2015. Information related to the number of hospitalizations for asthma was collected from the Hospital Information System of the Unified Health System. Health (SIHSUS). To estimate the level of association between environmental and climatic parameters and reported cases of asthma in the population of Salvador, the Poisson regression model was used, using the R programming language. the significance level of 5% for the permanence of the variable in the model. According to the results obtained, the variables that were statistically significant ( $p$ -value < 0.05) for cases of hospitalization for asthma in children ( $\leq 9$  years old) were: CO (RR = 5.04), MP10 (RR = 1.02), Temperature (RR = 0.86) and humidity (RR = 1.02). Regarding the increase in hospitalizations for asthma in adolescents, we obtained: CO (RR = 5.26), PM<sub>10</sub> (RR = 1.03), NO<sub>2</sub> (RR = 1.06). With regard to the elderly, only the CO variable (RR = 11.33) was statistically significant. Based on the observed results, it was concluded that exposure to air pollution in the urban area of Salvador was associated with an increase in hospitalizations for asthma in children, adolescents and the elderly. Finally, through analysis of the fit and suitability of the model, we observed that the Poisson regression model was very satisfactory in the investigation of exposure to atmospheric pollutants and climatic parameters in cases of hospitalization due to asthma, helping, in this context, to decision making.

**Keywords:** Atmospheric pollution, climatic factors, generalized linear models, asthma.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Região Metropolitana de Salvador (RMS) .....	48
<b>Figura 2</b> - Polo industrial de Camaçari.....	50
<b>Figura 3</b> - Gráfico do crescimento da frota de veículos em Salvador 2006-2018 .....	51
<b>Figura 4</b> - Mapa da cidade de Salvador, com a localização das cinco estações de monitoramento automática .....	52
<b>Figura 5</b> - Boxplot do número de casos de notificações por asma em diferentes faixas etárias.....	61
<b>Figura 6</b> - Variação mensal do número de notificações por asma no município de Salvador, outubro de 2010 a agosto de 2015.....	62
<b>Figura 7</b> - Boxplot do número de casos de notificações por asma no período chuvoso e não chuvoso .....	63
<b>Figura 8</b> - Gráfico da variação, média horária, da concentração do material particulado (MP <sub>10</sub> - µg/m <sup>3</sup> ), outubro de 2010 a agosto de 2015.....	66
<b>Figura 9</b> - Gráfico da variação, média horária, da concentração do monóxido de carbono (CO – ppm), outubro de 2010 a agosto de 2015 .....	67
<b>Figura 10</b> - Gráfico da variação, média horária, da concentração do dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> - µg/m <sup>3</sup> ), outubro de 2010 a agosto de 2015.....	68
<b>Figura 11</b> - Gráfico da variação, média horária, da concentração do dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> - µg/m <sup>3</sup> ), outubro de 2010 a agosto de 2015.....	70
<b>Figura 12</b> - Gráfico da variação, média horária, da concentração do ozônio (O <sub>3</sub> - µg/m <sup>3</sup> ), outubro de 2010 a agosto de 2015 .....	71
<b>Figura 13</b> - Gráfico da variação, média horária, da temperatura (° C), outubro de 2010 a agosto de 2015.....	72
<b>Figura 14</b> - Gráfico da variação, média horária, da umidade relativa do ar (%), outubro de 2010 a agosto de 2015.....	73
<b>Figura 15</b> - Gráfico normal de probabilidade referente ao modelo de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (a), adultos (b) e idosos (c) .....	84
<b>Figura 16</b> -Gráfico normal Q-Q referente ao modelo de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (a), adultos (b) e idosos (c).....	86

<b>Figura 17</b> - Gráficos das distâncias de Cook para o modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (a), adolescentes (b) e idosos (c).....	88
<b>Figura 18</b> - Gráficos dos resíduos versus valores ajustados para o modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (a), adolescentes (b) e idosos (c).....	90

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar .....	23
<b>Tabela 2</b> - Funções de ligação canônicas .....	41
<b>Tabela 3</b> - Posição das dez mais populosas regiões metropolitanas do Brasil.....	49
<b>Tabela 4</b> - Estações e os parâmetros monitorados.....	53
<b>Tabela 5</b> - Distribuição percentual de internações por asma em diferentes faixas etárias na rede pública de saúde, Salvador, Brasil, 10/2010 - 08/2015 .....	60
<b>Tabela 6</b> - Estatística descritiva das variáveis poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos, Salvador, 2010-2015 .....	65
<b>Tabela 7</b> - Matriz de correlação linear entre as variáveis Asmas, SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , MP <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , Temperatura e Umidade.....	74
<b>Tabela 8</b> - Variáveis significativas para o modelo de regressão de Poisson para os dados de notificações de amas em crianças .....	75
<b>Tabela 9</b> - Variáveis significativas para o modelo de regressão de Poisson para os dados de notificações de amas em adolescentes .....	79
<b>Tabela 10</b> - Variáveis significativas para o modelo de regressão de Poisson para os dados de notificações de amas em idosos .....	82

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIC	Akaike's Information Criterion
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo
CID	Classificação internacional de doenças
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
D/V	Direção do veto
EPA	Environmental Protection Agency
HC	Hidrocarboneto
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IQAr	Índice de Qualidade do Ar
MLG	Modelos Lineares Generalizados
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Material Particulado
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
NBR	Normas brasileiras
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Oxido de Nitrogênio
O <sub>3</sub>	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
Pb	Chumbo
PCPV	Plano de Controle de Poluição Veicular
PF	Padrões de Qualidade do Ar Final

PI	Padrões de Qualidade do Ar Intermediários
ppm	Parte por milhão
PROCONVE	Programa de Controle de Veículos Automotores
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PTS	Partículas totais em suspensão
RMS	Rede de Monitoramento de Salvador
RR	Risco relativo
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>x</sub>	Óxido de enxofre
T	Temperatura
UR	Umidade relativa do ar
V/V	Velocidade do vento
µg	micrograma

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	RELEVÂNCIA E INEDITISMO	16
1.2	ARGUMENTO DE TESE	17
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	18
2.1	OBEJTIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	19
3.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	19
<b>3.1.1</b>	<b>Considerações iniciais</b>	19
<b>3.1.2</b>	<b>Poluentes atmosféricos</b>	20
<b>3.1.3</b>	<b>Padrões de Qualidade do Ar</b>	21
3.2	POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SAÚDE	24
3.3	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E AS PRINCIPAIS EVIDÊNCIAS DOS SEU EFEITOS SOBRE A SAÚDE HUMANA	29
3.4	ASMA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	33
3.5	FATORES METEOROLÓGICOS E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	36
3.6	REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	37
3.7	MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO	38
<b>3.7.1</b>	<b>Considerações iniciais</b>	38
<b>3.7.2</b>	<b>Modelos Lineares Generalizados</b>	39
<b>3.7.3</b>	<b>Modelo de Regressão de Poisson</b>	41
<b>3.7.4</b>	<b>Critério para seleção do modelo</b>	42
<b>3.7.5</b>	<b>Avaliação do ajuste do modelo</b>	43
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	47
4.1	TIPOLOGIA DO ESTUDO	47
4.2	CENÁRIO DA PESQUISA	47
4.3	PROCEDIMENTO DE COLETA DOS DADOS	51
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	56
<b>4.4.1</b>	<b>Variáveis modeladas</b>	56
<b>4.4.2</b>	<b>Análise exploratória dos dados</b>	57
<b>4.4.3</b>	<b>Análise do ajuste do modelo para tomada de decisão</b>	57
<b>5</b>	<b>RESULTADOS: ANÁLISES E DISCUSSÃO</b>	59

5.1	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS .....	59
5.1.1	<b>Internações por asma</b> .....	59
5.1.2	<b>Poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos</b> .....	64
5.2	MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO .....	74
5.2.1	<b>Asma em Crianças (0 a 9 anos)</b> .....	75
5.2.2	<b>Asma em Adolescentes (10 a 19 anos)</b> .....	79
5.2.3	<b>Asma em Adultos (20 a 59 anos)</b> .....	81
5.2.4	<b>Asma em Idosos (igual ou maiores de 60 anos)</b> .....	82
5.3	ANÁLISE DA ADEQUABILIDADE DO MODELO .....	83
	<b>CONCLUSÕES</b> .....	92
	<b>PUBLICAÇÕES</b> .....	95
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	96
	<b>Apêndice A</b> – Carta de solicitação de dados para pesquisa.....	110
	<b>Apêndice B</b> – <i>Script</i> operado no <i>software</i> RStudio .....	112
	<b>Apêndice C</b> – Registro fotográfico da visita técnica à estação de monitoramento da qualidade do ar da Av. Paralela, Salvador - BA.....	120
	<b>Apêndice D</b> – Registro fotográfico da participação do evento SOPRAR Salvador: Poluição do ar e saúde, inovação em busca de uma Salvador resiliente (2018) .....	121
	<b>Apêndice E</b> – Registro fotográfico da participação do workshop poluição atmosférica e saúde humana (Salvador – BA) .....	122
	<b>Anexo A</b> – Obtenção dos dados da saúde no sistema do DATASUS.....	123
	<b>Anexo B</b> – Resolução CONAMA n.º 491/2018 que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar .....	125

## 1 INTRODUÇÃO

Diante do avanço da população e de suas demandas de consumo, a indústria cresceu consideravelmente em números, áreas de atuação e, principalmente, no desenvolvimento de uma grande variedade de produtos. Contudo, as preocupações ambientais não acompanharam esse crescimento e os problemas ambientais começaram a surgir em grande escala. (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008). Até meados da década de 1980, a poluição do ar nas áreas urbanas, causada principalmente por emissões industriais, classificada como fonte estacionária de poluição, porém, com o rápido crescimento urbano, os veículos automotores, que são vistos como fonte móvel de poluição, tornou-se um problema de grande magnitude. Observa-se hoje que uma das maiores fontes de poluição do ar nas áreas urbanas são os automóveis em circulação, devido ao número de veículos, ao estado de conservação dos motores e dos mecanismos de filtragem de gases e, em muitos casos, ao controle de a qualidade do combustível utilizado.

Os combustíveis derivados do petróleo são utilizados para os mais diversos fins energéticos, na geração de energia elétrica, indústria e transporte, e é um dos principais causadores de danos ao meio ambiente, gerando impactos ambientais de alcance global como o aumento da concentração de gases do efeito estufa, como regionais com as chuvas ácidas, aumento da concentração de poluentes tóxicos na atmosfera que vem afetando de maneira muito séria a saúde da população nos grandes centros urbanos.

No Brasil, essa questão e seu desenvolvimento estão sob responsabilidade do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Este órgão de revisão está diretamente ligado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), a quem compete tratar todos os assuntos relacionados à qualidade do ar. Portanto, tendo em vista o acelerado crescimento industrial e do número de veículos automotores no país e seus impactos negativos na sociedade, no meio ambiente e na economia, o Brasil desenvolveu programas relacionados à qualidade do ar, que vêm sendo estudados e atualizados desde 1980, tais como: PRONAR (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar) e PROCONVE (Programa de Controle da Poluição Aeronáutica). O primeiro dispositivo legal produzido pelo PRONAR foi a Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que instituiu o Padrão Nacional de Qualidade do

Ar, que foi efetivado em 2018 por meio da Resolução nº 491, de 19 de novembro de 1990.

Segundo a Resolução CONAMA n.º 491/2018, entende-se como poluentes atmosféricos qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com níveis estabelecidos, e que tornem ou passam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora, prejudicial à segurança, ao gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os padrões, apresentados na Resolução supracitada, que definem legalmente o limite máximo para a concentração de cada poluente na atmosfera, foram estabelecidos tomando como referência, os valores do Guia de Qualidade do Ar, recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 2021. Esses valores máximos acordados para cada poluente foram baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por cada um e fixados em níveis que possam garantir a proteção ao meio ambiente e à saúde humana.

Os mais importantes poluentes associados a esses efeitos são: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), material particulado (MP) e monóxido de carbono (CO). A poluição do ar, que possui como principal fonte de emissões o tráfego veicular e as indústrias, é um dos principais problemas mundiais da atualidade, não apenas pelo impacto que ela gera nas mudanças climáticas, mas também pela influência negativa que exerce sobre a saúde humana, atuando como um importante fator de risco no aumento da morbidade e mortalidade (SANTOS, et.al; 2021).

Nos últimos anos, muitos estudos foram realizados para medir os efeitos da poluição do ar na saúde. Vários pesquisa têm mostrado uma associação entre doenças respiratórias agudas e crônicas e poluição do ar, tornando a poluição do ar um tema crescente de preocupação global (FAJERSZTAJN et al., 2017; RAJAK; CHATTOPADHYAY, 2020).

Segundo o relatório Global Burden of Disease (2017), a poluição do ar é um dos principais fatores de risco para a saúde humana, responsável por 3,4 milhões de mortes prematuras em todo o mundo (STANAWAY, 2017). Achados de vários estudos ao redor do mundo mostram que a poluição do ar e os parâmetros climáticos estão positivamente associados ao aumento de internações por doenças respiratórias, incluindo a asma. (ALBALAWI et al., 2021; BYRWA-HILL et al., 2020; CHUNG, 2021;

DIAS et al., 2016; DIAS et al., 2020; GOZUBUYUK et al., 2017; HU et al., 2020; KUO et al., 2018; LIU et al., 2021; NEJJARI et al.; 2021; RODRIGUES; NATÁRIO, 2021; ÜNAL et al.; 2021; ZHANG et al., 2021; ZHAO et al.; 2021).

A asma é a doença respiratória crônica mais prevalente das vias aéreas, afetando aproximadamente 235 milhões de pessoas em todo o mundo (DĄBROWIECKI et al. 2022). No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS, 2019), a asma afeta aproximadamente 8,4 milhões de brasileiros com mais de 18 anos e é responsável por mais de 100 milhões de mortes. Sistema Único de Saúde (SUS) e identificado como um grande problema de saúde pública (Brasil. IBGE, 2019). Estudos têm demonstrado que a prevalência da asma, em particular nas crianças, tem aumentado nas últimas décadas (CHEN et al., 2016; BUTEAU et al., 2020). Em um estudo de 10 cidades europeias, 14% dos casos de asma infantil e 15% das exacerbações de asma infantil foram atribuídos à poluição do ar urbano.

Por ser considerada uma doença multifatorial clássica, a etiologia da asma é complexa e envolve fatores genéticos e ambientais. O aumento da prevalência de asma nas últimas décadas não pode ser simplesmente explicado a partir de uma perspectiva genética, pois as mudanças genéticas em uma população requerem várias gerações. Esse aumento pode ser em virtude de algumas mudanças nos fatores ambientais, como a poluição atmosférica (HUANG et al., 2015).

A urbanização é um importante contribuinte para asma e esta contribuição pode ser parcialmente atribuída ao aumento da poluição do ar em áreas urbanas. Apesar de existirem algumas evidências indicando a correlação entre exposição à poluição do ar com uma série de doenças respiratórias, pouco se sabe sobre a relação entre exposição à poluição atmosférica e fenótipos da asma (CUNHA et al., 2022).

Nesse sentido, o problema que se coloca neste estudo é a ausência de informações modeladas, com o intuito de mensurar a relação entre a exposição a poluentes atmosféricos e fatores meteorológicos, com o aumento no número de notificações por asma. A modelagem dessas informações possibilitará uma intervenção mais efetiva sobre as resultantes danosas desse processo de poluição do ar sobre a saúde humana.

## 1.1 RELEVÂNCIA E INEDITISMO

O estudo foi realizado na cidade de Salvador, terceira cidade mais populosa do país e sexta maior região metropolitana do Brasil com quase 3,3 milhões de habitantes, além de possuir a quarta maior frota do Brasil (DENATRAN, 2018), e o maior polo industrial do nordeste brasileiro.

Sabemos que os veículos automotores e as indústrias são os principais responsáveis pela degradação da qualidade do ar nos grandes centros urbanos, e é evidente a importância de controlar o lançamento de poluentes na atmosfera. Desta forma, Salvador busca implementar políticas públicas destinadas a desenvolver medidas para reduzir os danos que a poluição do ar tem causado ao meio ambiente e diversos prejuízos à saúde da população. Por esse motivo, pode-se declarar que, no Nordeste, Salvador ocupa a vanguarda no que se refere ao desejo de reduzir o impacto que a poluição atmosférica traz nos mais diversos aspectos. Porém, para isso, são necessárias informações e conhecimentos que auxiliem nessa tarefa.

Embora Salvador seja a única cidade do Nordeste a monitorar níveis de poluentes atmosféricos e parâmetros climáticos, permitindo a realização de estudos, vale ressaltar que não foram desenvolvidos estudos utilizando modelos estatísticos, para correlacionar essas informações com os casos de notificações em uma série de doenças respiratórias, entre elas, a asma.

Assim, a relevância e ineditismo deste estudo consistem na apresentação de um estudo avançado, por meio de Modelos Lineares Generalizados (MLG), entre os principais poluentes atmosféricos e os parâmetros meteorológicos, com os casos de notificações por asma. Deste modo, os resultados deste estudo possibilitarão avaliar o grau de influência que a poluição do ar e parâmetros climáticos exercem sobre impactos nas internações hospitalares por asma, bem como auxiliarão na determinação de Tomada de Decisão sobre ações governamentais para o controle das emissões dos poluentes e conseqüentemente, seus impactos negativos sobre a saúde.

## 1.2 ARGUMENTO DE TESE

Com base no exposto, levantou-se, nesse processo investigativo, a seguinte hipótese: a poluição atmosférica e fatores meteorológicos afetam diretamente nos casos de notificações por asma, em diferentes faixas etárias. Assim, este trabalho defende o argumento de tese de que o número de casos por asma é impactado pela poluição atmosférica, mesmo em concentrações abaixo dos níveis considerados seguros pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. Nesse sentido, os resultados obtidos neste estudo servirão de base para políticas públicas direcionadas à prevenção e planejamento de ações, tanto no campo do controle das emissões de poluentes no ar, quanto no campo da saúde, no sentido de atenuar os níveis de poluição e dos problemas de saúde daí oriundos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBEJTIVO GERAL

Construir um modelo de Tomada de Decisão para estimar a influência dos principais poluentes atmosféricos e os parâmetros climáticos na ocorrência de morbidades por asma, das pessoas residentes numa grande metrópole.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Examinar os níveis de concentrações de poluentes atmosféricos, conforme os valores estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde – OMS e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA;
- Identificar, no período de estudo, quais poluentes atmosféricos e parâmetros climáticos que estão diretamente relacionados ao aumento dos casos de notificações por asma;
- Avaliar se a poluição atmosférica, mesmo dentro dos níveis considerados seguros pelas agências de controle ambiental, está atuando como um importante fator de aumento da morbidade por asma;
- Definir um modelo de tomada de decisão para avaliar o impacto da poluição atmosférica nos casos de asma em crianças, adolescente, adultos e idosos.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

##### **3.1.1 Considerações iniciais**

Com o advento da industrialização iniciada na Inglaterra no século XVIII, novos processos produtivos foram descobertos para produzir produtos em maior quantidade e de melhor qualidade, sempre visando o lucro. No entanto, à medida que a população crescia e a demanda dos consumidores crescia, esse cenário iniciado no Reino Unido rapidamente se espalhou pelos continentes, impulsionando o crescimento econômico e abrindo perspectivas para uma maior geração de riqueza, que por sua vez levou à prosperidade e a um melhoramento da qualidade de vida (DIAS, 2019).

O problema é que o crescimento econômico desordenado foi acompanhado por um processo nunca antes visto pelo homem, no qual utilizavam grandes quantidades de energia e recursos naturais, culminando em consequências ambientais danosas das ações humanas nem sempre visíveis. (DIAS, 2019; LEAL; FARIAS; ARAÚJO, 2008).

Somente na segunda metade do século XX, com a intensificação do crescimento econômico mundial e o agravamento dos problemas ambientais, essas consequências começaram a se espalhar por amplos setores da população, especialmente nos países desenvolvidos, os primeiros a sofrer os efeitos da Revolução Industrial (DIAS, 2019).

É sabido que a industrialização trouxe diversos problemas ambientais como: alta concentração populacional em áreas urbanas, consumo excessivo de recursos naturais, degradação do ar, solo, água e desmatamento (DIAS, 2019).

O Brasil também vivenciou essa realidade e, entre as décadas de 1950 e 1990, a proporção da população brasileira que vivia nas áreas urbanas passou de 36% para 75%. Como centros de produção, essas cidades apresentaram saturação industrial em áreas restritas, não obstante, os evidentes desequilíbrios ambientais decorrentes desse processo, causando alguns problemas para o meio ambiente e seus habitantes (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008).

Destaca-se a poluição do ar, um dos maiores problemas ambientais que a humanidade enfrenta atualmente, um tipo de poluição originada principalmente nas cidades e centros industriais. Entre as causas relacionadas à poluição do ar, pode-se citar principalmente a queima de combustíveis fósseis para atender às necessidades humanas por diferentes fontes de energia; seja para fins industriais, de transporte ou de geração de energia (STEIN; 2018).

Nos anos de 1980, a poluição atmosférica nos centros urbanos era considerada advinda das industriais, classificadas como fontes estacionárias, mas o processo de urbanização tanto em países desenvolvidos quanto os em desenvolvimentos, fez com que os veículos automotores, classificados como fontes móveis de poluição, viessem a se tornar um problema para o meio ambiente com suas altas emissões (CRUZ, 2019).

### **3.1.2 Poluentes atmosféricos**

Conforme a NBR 8969, expedida em 1 de julho de 1985, poluição do ar significa “a presença de um ou mais poluentes atmosféricos” e poluente atmosférico “toda e qualquer forma de matéria e/ou energia que, segundo suas características, concentração e tempo de permanência no ar, possa causar ou venha a causar danos à saúde, aos materiais, à fauna e à flora e seja prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, à economia e ao bem-estar da comunidade. O mesmo significado que contaminante atmosférico” (ABNT, 1985).

Segundo Júnior (1998), na concepção europeia, levando em conta o conhecimento científico da época, poluição do ar é a presença de substâncias estranhas ou alterações significativas em sua composição com potencial para causar efeitos nocivos ou doenças.

A Resolução CONAMA n.º 419/2018, define poluentes atmosféricos como sendo qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem-estar público;
- Danoso aos materiais, à fauna e flora;

- Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade.

As emissões de poluentes na atmosfera podem ser provenientes de várias fontes e a suas origens podem ser naturais ou antropogênicas. As fontes naturais, englobam os fenômenos naturais como os vulcões, processos microbiológicos no solo, decomposição de matéria orgânica, queimadas de origem natural e entre outros, enquanto as fontes antropogênicas são as que resultam das atividades humanas com as emissões por indústrias, transportes, geração de energia, queimadas entre outras (GUIMARÃES et al., 2017).

Com relação às fontes antropogênicas de emissões, elas podem ser classificadas em:

- Fontes Fixas: as indústrias, incineradores de resíduos e as termoeletricas são as principais fontes dessas emissões;
- Fontes Móveis: as principais fontes de emissões de poluentes de origem móveis são os veículos automotores, aviões, trens e embarcações marítimas.

Com base no modo como os poluentes chegam à atmosfera, segundo Guimarães (2017) eles são classificados como:

Poluentes primários: são aqueles emitidos diretamente na atmosfera a partir de uma fonte identificável, tais como: monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (HC), material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

Poluentes secundários: são poluentes formados na atmosfera por meio de reações químicas que ocorrem na atmosfera entre poluentes primários, como o ozônio (O<sub>3</sub>) e o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

### **3.1.3 Padrões de Qualidade do Ar**

Existe grande preocupação da comunidade científica internacional em relação aos efeitos de alguns poluentes de caráter tóxico e extremamente reativos emitidos e formados na atmosfera. Dessa forma, iniciativas de vários órgãos internacionais e nacionais estão sendo tomadas para mitigar e controlar a emissão desses poluentes

diretamente na fonte (GUIMARÃES, 2017). Em países desenvolvidos observou-se que a qualidade do ar vem melhorando, porém, a poluição do ar está aumentando constantemente nos países em desenvolvimento (WHO, 2022).

Dados disponibilizados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) apontam que a cada dez (10) indivíduos, nove (09) respiram ar contendo níveis elevados de poluentes. Estima-se que 80% das pessoas que vivem em áreas urbanas, estão expostas a níveis de poluição do ar que excedem os limites das diretrizes estabelecidas pela OMS.

Os padrões de qualidade do ar definem o limite máximo para a concentração de cada poluente no ar visando à proteção da saúde e do meio ambiente. Nos Estados Unidos, o órgão responsável pela fixação de índices é a Environmental Protection Agency (EPA), que estabelece o National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). No Brasil, os padrões nacionais são determinados pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e regulamentados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) por meio da Resolução n.º 419/2018. Desta forma, a resolução supracitada estabelece padrões nacionais de qualidade do ar para com valores específicos, determinado com base em evidências científicas, de modo a proteger a saúde humana e o meio ambiente. O CONAMA estabeleceu padrões para seis poluentes atmosféricos mais presentes no ar, chamados de poluentes “critérios”, que são:

- Material particulado (MP);
- Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>);
- Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>);
- Ozônio (O<sub>3</sub>);
- Monóxido de carbono (CO);
- Chumbo (Pb).

Considerando os padrões nacionais de qualidade do ar e tomando como referência os valores guia de qualidade do ar, recomendados pela Organização Mundial de Saúde – OMS em 2021, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução n.º 419, de 19 de novembro de 2018, estabelece novos limites para cada poluente de forma que garanta a proteção a saúde da população e ao meio ambiente. Esses padrões e os seus respectivos limites estão apresentados na **Tabela 1** a seguir.

**Tabela 1** - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

Poluentes	Siga	Período de Referência	PI-1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PI-2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PI-3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ppm
Material	MP <sub>10</sub>	24 h	120	100	75	50	
Particulado		Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	
Material	MP <sub>2,5</sub>	24 h	60	50	37	25	
Particulado		Anual <sup>1</sup>	20	17	15	10	
Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	24 h	125	50	30	20	
		Anual <sup>1</sup>	40	30	20	-	
Dióxido de Nitrogênio	NO <sub>2</sub>	1 h <sup>2</sup>	260	240	220	200	
		Anual <sup>1</sup>	60	50	45	40	
Partículas Totais em Suspensão	PTS	24 h	-	-	-	240	
		Anual <sup>4</sup>	-	-	-	80	
Fumaça		24 h	120	100	75	50	
		Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	
Ozônio	O <sub>3</sub>	8 h <sup>3</sup>	140	130	120	100	
Monóxido de carbono	CO	8 h <sup>3</sup>	-	-	-	-	9
Chumbo	Pb	Anual <sup>1</sup>	-	-	-	0,5	

Fonte: BRASIL (2018).

1. Média aritmética anual
2. Média horária
3. Máxima média móvel obtida no dia
4. Média geométrica anual

Conforme apresentado na **Tabela 1**, adota-se como unidade de medida de concentração dos poluentes atmosféricos o micrograma por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) com exceção do Monóxido de Carbono, que é reportado como partes por milhão (ppm). Os Padrões de Qualidade do Ar definidos por essa Resolução serão adotados

sequencialmente, em quatro etapas. A primeira etapa, que entrou em vigor a partir da publicação da resolução CONAMA n.º 419/2018, compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1 apresentados na **Tabela 1**. Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários (PI-2, PI-3) e Final (PF) serão adotados, cada um, de forma subsequente, considerando os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente.

### 3.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SAÚDE

A poluição atmosférica pode ser definida como alterações na pureza e qualidade do ar causadas por emissões de substâncias químicas ou biológicas, sejam elas liberadas naturalmente, ou produzidas por fontes antropogênicas (FARINHA, et al., 2022). Em 2006, a Organização Mundial de Saúde (OMS) definiu poluição como sendo a contaminação do ambiente externo ou interno por qualquer agente químico, físico ou biológico que altera as características naturais da atmosfera.

A contribuição das emissões provenientes das atividades humanas (emissões antrópicas) excede os níveis de emissão, e vários estudos mostram cada vez mais que a exposição a curto ou longo prazo à poluição do ar em grandes centros urbanos tem consequências para a saúde humana (D'AMATO et al., 2016; BOWATTE et al., 2017, CLIFFORD et al., 2017; SHI et al., 2021).

Em geral, nas grandes metrópoles, os poluentes mais incidentes na atmosfera estão relacionados à emissão de gases, como o monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e material particulado (MP), principalmente pelas atividades humanas. Dentre esses, monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e partículas menores que 10 µm (MP<sub>10</sub>) são aqueles com maior evidência de efeitos na saúde (DE MELO CUNHA et al. 2022; DING et al., 2017; FAJERSZTAJN et al., 2017; HALPIN et al., 2019; HAZLEHURST et al., 2021; MENEZES et al., 2019; SONG et al., 2018; O'LENICK et al., 2017; SOLEIMANI et al., 2019; ÜNAL et al., 2021).

O monóxido de carbono (CO) destaca-se entre os principais poluentes produzidos durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis ou durante a

queima de biomassa. Na combustão, o volume de CO produzido está diretamente relacionado ao volume de oxigênio disponível para a combustão, ou seja, uma combustão com menos oxigênio tende a produzir mais monóxido de carbono. Esse gás é invisível, quase inodoro, mais leve que o ar, extremamente tóxico e em altas concentrações, leva o ser humano à morte, pois afeta diretamente no carreamento do oxigênio para as células do corpo (GUIMARÃES, 2017).

O monóxido de carbono tem uma afinidade muito maior pela hemoglobina do que o oxigênio. Sendo assim, a intoxicações graves podem ocorrer em pessoas expostas a altos níveis de monóxido de carbono por um longo período de tempo. Devido à perda de oxigênio como resultado da ligação competitiva do monóxido de carbono, observa-se hipóxia, isquemia e doença cardiovascular (MANISALIDIS et al., 2020).

Mesmo em baixas concentrações, esse poluente pode gerar problemas cardiovasculares, principalmente em cardiopatas (ASHBY, 2013). Além disso, o monóxido de carbono influencia na química da atmosfera, contribuindo para a depleção da camada de ozônio e, conseqüentemente, ocasionando o aquecimento global e a alteração do clima (BUCHMANN et al., 2016). Isso deve levar a um aumento nas temperaturas do solo e da água, e podem ocorrer condições climáticas extremas ou tempestades (EMBERSON et al., 2018).

Os compostos nitrogenados (NO e NO<sub>2</sub>) emitidos por fontes biogênicas na atmosfera, geralmente, estão na forma reduzida e na atmosfera sofrem oxidação. O nitrogênio (N) é o elemento químico mais abundante na natureza e possui grande capacidade de realizar ligações químicas, pois possui vários números de oxidação, variando de -III a +V. Os óxidos de nitrogênio, conhecidos como NO<sub>x</sub>, representam basicamente o somatório de NO + NO<sub>2</sub> (GUIMARÃES, 2017).

O óxido de nitrogênio é um poluente primário, lançado na atmosfera a partir da queima dos combustíveis derivados do petróleo. Os veículos automotores são responsáveis pela grande concentração desse poluente no meio ambiente (RICHMOND-BRYANT et al., 2017). Em elevadas concentrações os óxidos de nitrogênio podem provocar problemas respiratórios, especialmente em crianças. Pessoas asmáticas podem sofrer dificuldades respiratórias adicionais (ASHBY, 2013). Por apresentar baixa solubilidade, o NO<sub>2</sub> consegue de penetrar profundamente no sistema respiratório, podendo dar origem às nitrosaminas, compostos químicos cancerígenos (CAVALCANTI, 2010).

Assim, o  $\text{NO}_2$  é uma substância irritante do sistema respiratório, pois penetra profundamente no pulmão, induzindo doenças respiratórias, tosse, sibilos, dispneia, broncoespasmo e até edema pulmonar quando inalado em níveis elevados. Parece que concentrações acima de 0,2 ppm produzem esses efeitos adversos em humanos, enquanto concentrações acima de 2,0 ppm afetam os linfócitos T, particularmente as células  $\text{CD8}^+$  e células NK, células de defesa do sistema imune. Altos níveis de dióxido de nitrogênio podem ser responsáveis por doenças pulmonares crônicas, além prejudicar o olfato em caso de exposição prolongada (CHEN et al., 2007).

O dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) é um gás tóxico, incolor, emitido na atmosfera por fontes antrópicas ou naturais e é um dos principais poluentes atmosféricos oriundos da queima de combustíveis que contenham enxofre, como, por exemplo, o óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina (GUIMARÃES, 2017).

Em relação aos danos à saúde humana, por ser um poluente acidificante, em elevadas concentrações, pode provocar problemas no trato respiratório, especialmente em grupos sensíveis, como pessoas asmáticas (ASHBY, 2013).

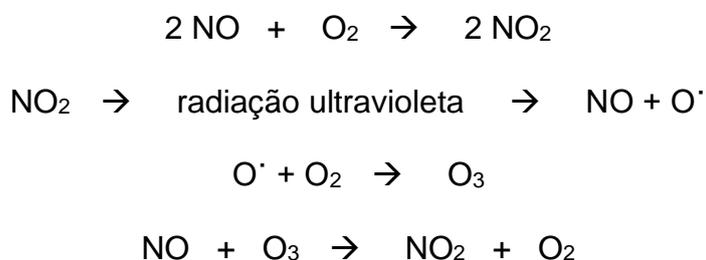
Os principais problemas de saúde associados às emissões de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) em áreas industrializadas e urbanas são irritação respiratória, bronquite, produção de muco e broncoespasmo, pois o  $\text{SO}_2$  atua como um irritante sensorial, penetrando profundamente no pulmão convertido em bissulfito e interagindo com receptores sensoriais, causando broncoconstrição, que caracteriza como sendo o estado no qual o músculo liso presente na parede brônquica se contrai levando a uma redução na passagem de ar pelas vias aéreas. Além disso, ocasiona também vermelhidão da pele, danos aos olhos (lacrimação e opacidade da córnea) e membranas mucosas, além de agravamento de doenças cardiovasculares pré-existentes (WHO, 2018).

O ozônio ( $\text{O}_3$ ) é um gás instável e um poderoso oxidante. Este poluente é uma variedade alotrópica do oxigênio, constituído por três átomos de oxigênio unidos por ligações covalentes simples e duplas, sendo um híbrido de ressonância. É um agente oxidante extremamente forte e reage mais rapidamente que o gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Pela sua alta reatividade, também é um gás extremamente tóxico (ASHBY, 2013; GUIMARÃES, 2017).

O ozônio troposférico é um poluente secundário, gerado na atmosfera por meio de reação fotoquímica, através da incidência de radiação solar, entre óxidos de nitrogênio e COVs, classificados como poluentes primários, emitidos de fontes naturais

e/ou após atividades antrópicas.

O processo de formação do ozônio através da reação fotoquímica se dá da seguinte forma:



As reações de decomposição do oxigênio e formação do ozônio são:



A radiação ultravioleta está associada a ondas eletromagnéticas com comprimento de onda inferior a 200 nm. Este átomo de oxigênio ( $\text{O}^\cdot$ ) reage com oxigênio ( $\text{O}_2$ ), geralmente na presença de óxidos de nitrogênio, para produzir ozônio.



A absorção de ozônio geralmente ocorre por inalação. Segundo Marschall e Greganti (2010), o ozônio é um poluente secundário com impactos significativos na saúde humana. Níveis elevados de ozônio podem levar a uma série de problemas, como redução da função pulmonar e aumento do risco de exacerbações em pessoas com asma. Estudos também demonstraram que aumentos de rinite, laringite, sinusite e ardor nos olhos estão associados a esse poluente secundário (GIODA; GIODA, 2006).

Globalmente, as emissões antrópicas representaram aproximadamente 37% do impacto do ozônio ( $\text{O}_3$ ) em 2015 (TIOU et al., 2020). Devido à sua baixa solubilidade em água, o  $\text{O}_3$  não é efetivamente depurado pelas vias aéreas superiores e tem a capacidade de penetrar profundamente na área pulmonar (MANISALIDIS et al., 2020).

Sabe-se que, quando inalado, o ozônio ( $\text{O}_3$ ) interage primeiro com antioxidantes no epitélio das vias aéreas. A proteína surfactante D é especialmente responsável pelas defesas pulmonares, regula a resposta ao  $\text{O}_3$  e parece ter importante variabilidade genética afetando a suscetibilidade individual (OBEIDAT et

al., 2017). Quando as doses de O<sub>3</sub> no trato respiratório excedem a capacidade protetora dos antioxidantes, efeitos adversos à saúde são prováveis. Como o ozônio O<sub>3</sub> é um poluente gasoso altamente reativo, ele pode ter efeitos inflamatórios no sistema respiratório e reduzir a função pulmonar em adultos com asma (NIU et al., 2018).

Podemos definir material particulado (MP) como um conjunto de partículas sólidas ou líquidas emitidas por fontes de poluição ou mesmo aquelas formadas na atmosfera. As partículas podem ter origem antrópica ou natural. As emissões antrópicas de MP derivam, principalmente da queima de combustíveis fósseis, dos processos industriais, obras de construção, mineração e queima de fogão a lenha. Com relação as fontes naturais, as erupções vulcânicas e queimadas. As principais fontes de MP nas áreas urbanas são o tráfego rodoviário, bem como a queima de combustíveis fósseis em centrais elétricas. Essas partículas variam consideravelmente em tamanho, morfologia, composição química e propriedades físicas e podem ser formadas por combinações de frações sólidas e/ou líquidas na atmosfera (GUIMARÃES, 2017).

O tamanho das partículas do material particulado (MP) é de suma importância, pois determina o grau de penetração deles no sistema respiratório humano, em grande parte, seu impacto na saúde respiratória. De acordo com o seu tamanho, o material particulado pode ser dividido em três categorias:

- MP<sub>10</sub>: classificadas como partículas grossas, com diâmetro variando de 2,5 a 10 µm;
- MP<sub>2,5</sub>: sendo as partículas finas, com diâmetro variando de 0,1 a 2,5 µm;
- MP<sub>0,1</sub>: são as partículas ultrafinas, com diâmetros menores de 0,1 µm.

O material particulado é um dos principais poluentes em termos de efeitos na saúde humana. As partículas finas (MP<sub>2,5</sub>) e ultrafinas (MP<sub>0,1</sub>) são as mais prejudiciais, pois devido ao seu tamanho, conseguem uma maior penetração pulmonar (MANISALIDIS et al., 2020; SOMPORNATTANAPHAN et al., 2020), podendo atingir os alvéolos pulmonares, órgão responsável pelas trocas gasosas com o sistema cardiovascular. Já o MP<sub>10</sub>, por serem partículas com diâmetros maiores, tendem a ficar retidas no sistema respiratório superior.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) recomendam um limite máximo, para média no período de 24 h,

de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para o  $\text{MP}_{10}$  e, 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para o  $\text{MP}_{2,5}$ . Apesar destes valores, diversas regiões no Brasil e mundo não conseguem respeitar os valores recomendados pela OMS e os órgãos regulamentadores.

Devido à sua composição química, o MP pode ter efeitos nocivos nos indivíduos. Alguns dos fatores que afetam o grau de dano de cada indivíduo são concentração, duração da exposição, toxicidade e suscetibilidade individual. A exposição humana a certos metais se deve à erosão natural dos minerais que os contêm, principalmente como resultado de atividades humanas como mineração, fundição, queima de combustíveis e aplicações industriais (GUIMARÃES, 2017).

Vários estudos epidemiológicos têm sido realizados para avaliar o impacto do MP na saúde humana. Existe uma associação positiva entre exposição de curto e longo prazo ao  $\text{MP}_{2,5}$  e nasofaringite aguda. Além disso, a exposição prolongada ao MP durante muitos anos tem sido associada a doenças cardiovasculares e mortalidade infantil (ZHANG et al., 2019).

Além disso, doenças respiratórias e afecções do sistema imunológico são registradas como efeitos crônicos de longo prazo. Vale ressaltar que pessoas com asma, pneumonia, diabetes e doenças respiratórias e cardiovasculares são especialmente suscetíveis e vulneráveis aos efeitos do material particulado (MP). O  $\text{MP}_{2,5}$ , seguido por  $\text{MP}_{10}$ , estão fortemente associados a diversas doenças do sistema respiratório, pois seu tamanho permite perfurar espaços interiores (MANISALIDIS, 2020).

### 3.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E AS PRINCIPAIS EVIDÊNCIAS DOS SEUS EFEITOS SOBRE A SAÚDE HUMANA

A poluição do ar urbano é um dos maiores problemas que assola a sociedade, não apenas em países industrializados, mas também nos países em desenvolvimento. Com o aumento das emissões atmosféricas nas últimas décadas, os seus impactos na saúde humana e no meio ambiente são notáveis, sendo os veículos automotores em circulação e as indústrias, as principais fontes de emissões de poluentes (SANTANA et al., 2017).

As consequências do impacto da poluição sobre a saúde se tornaram uma

grande preocupação para os grandes centros urbanos no mundo, pois as evidências científicas são cada vez maiores de que a exposição aos níveis de poluição do ar tem provocado efeitos danosos à saúde, que variam de mortalidade e morbidade em crianças, adultos e idosos (CHEN et al., 2016; D'AMATO et al., 2016; DHARMAGE; PERRET; CUSTOVIC, 2019; CHANG et al., 2020) e à impactos durante a gestação (SAGGIN; DE ANDRADE; DAGOSTINI, 2021).

Recentemente, vários estudos epidemiológicos relataram que a exposição à poluição atmosférica urbana está associada a um aumento do risco de doenças cardiovasculares, doenças respiratórias, como doença pulmonar obstrutiva crônicas (DPOC), asma, bronquite e câncer de pulmão (VIDALE et al., 2018; REQUIA et al., 2018; LANDRIGAN et al., 2017; HADLEY et al., 2018; MIHALTAN et al., 2016), mesmo em concentrações inferiores aos limites estabelecidos pelos órgãos regulamentadores (LOOMIS et al., 2013; MENDOLA, 2017). Lelieveld (2015), relatou que a poluição do ar provoca mais de 3 milhões de mortes prematuras em todo o mundo a cada ano, e só na China, esse valor corresponde a 1,36 milhões.

Na literatura, observou-se a existência de vários estudos epidemiológicos e observacionais demonstrando os efeitos negativos da poluição atmosférica sobre o sistema cardiovascular. Constatou-se que a exposição tanto a curto, como a longo prazo, aos principais poluentes atmosféricos, em especial ao material particulado (MP), acarreta vários problemas cardiovasculares como insuficiência cardíaca, isquemia miocárdica e infartos, derrames, arritmias e aumento da mortalidade.

Em um estudo realizado em áreas urbanizadas de Kuala Lumpur, Malásia, Tajudin et al. (2019) estimou, por meio da utilização do modelo aditivo generalizado baseado na regressão de Poisson, o risco relativo dos principais poluentes atmosféricos sobre a prevalência de doenças cardiovasculares. Neste estudo, observou-se que a exposição aos poluentes  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  teve impacto direto e imediato no número de internações hospitalares por doenças cardiovasculares. Já na cidade de Bangkok, Tailândia, Phosri et al. (2019) observaram, no período de 2006-2014, uma associação positiva entre a exposição a poluição atmosférica e o número diário por doenças cardiovasculares. O aumento em aproximadamente  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no nível de concentração do  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{MP}_{10}$  levou a um aumento nas admissões por doenças cardiovasculares em aproximadamente 0,14%, 1,28%, 8,42%, 1,04% respectivamente e, com relação ao  $\text{CO}$ , o aumento  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na sua concentração ocasionou um aumento de 6,69% nas admissões.

A mortalidade por doenças cardiovasculares resultantes da exposição à poluição atmosférica também foi investigada no Irã. Nesta região, estimou-se que o aumento da poluição do ar em aproximadamente  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  resultou no aumento em 0,5% no número de mortes por doenças cardiovasculares (Karimi et al. 2019). No estudo conduzido nos Estados Unidos por Powell et al. (2015), no período de 12 anos, foram encontradas evidências estatisticamente significativas de que a concentração de material particulado está associada aos casos de hospitalizações por doenças cardiovasculares em idosos com mais de 65 anos de idade.

A associação entre os principais poluentes atmosféricos, como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{MP}_{10}$  e doenças respiratórias e pulmonares e mortalidade por câncer de pulmão, foi investigada por Zhu et al., em 2019, na China. Neste estudo, estimou-se que o percentual de mortalidade por doenças respiratórias aumentou em aproximadamente 7,69%, 4,38% e 1,55% com um aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{MP}_{10}$ , respectivamente. O poluente  $\text{SO}_2$  foi o único poluente com associação significativamente por mortalidade por câncer de pulmão.

Respalhada nas fortes evidências científicas apresentadas em diversos estudos no mundo, a Organização Mundial de Saúde (OMS) declarou que a poluição atmosférica é considerada um cancerígeno humano, atuando como fator de risco no desenvolvimento de câncer de pulmão, nasofaringe, cabeça e pescoço.

Dentre os poluentes presentes na atmosfera, o material particulado fino é o que tem gerado maior impacto na saúde por serem facilmente inaladas pelas vias respiratórias (FALCON-RODRIGUEZ et al., 2016). Estima-se que cerca de 300 mil mortes por câncer de pulmão por ano em todo o mundo sejam ocasionadas pelo material particulado fino. Cerca de 7% do total de mortalidade resulta de câncer de pulmão devido à exposição ao  $\text{MP}_{2,5}$  (SHAHADIN et al. 2018).

Com o objetivo de avaliar a associação entre a exposição ao material particulado fino ( $\text{MP}_{2,5}$ ) com o câncer de pulmão, na França em 2015, Kulhánová et al. (2018) constaram que 3,6% dos casos diagnosticados com câncer foram atribuídos à exposição ao  $\text{MP}_{2,5}$ . Além disso, foi possível observar também que aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nos níveis de concentrações dos poluentes  $\text{MP}_{2,5}$ ,  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{SO}_2$  ocasionou um aumento em aproximadamente 6% na mortalidade por câncer de pulmão (WANG et al., 2019).

Em um estudo realizado na cidade de Pequim, China, observou-se que a exposição a curto prazo, aos poluentes atmosféricos em área urbana têm ocasionado

um aumento de admissões de hospitalares por doenças respiratórias (MA et al., 2018).

Em um estudo conduzido na cidade de Jinan, capital da província de Shandong, na República Popular da China, Liu et al. (2019), verificaram uma associação entre a poluição atmosférica por material particulado (MP<sub>2,5</sub>) e o número de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças com idade de 0 a 17 anos. No período de 2009 a 2015, Soleimania et al. (2019) verificaram uma correlação significativa entre a concentração de alguns dos contaminantes presentes na atmosfera (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Níveis de MP<sub>10</sub> e CO) e o número de pacientes notificados por problemas respiratórios na cidade de Shiraz, localizado no sul do Irã.

A exposição a óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) emitidos pela queima de combustíveis fósseis tem sido associada a doenças respiratórias. No Brasil, César, Carvalho e Nascimento (2015) observaram uma associação positiva entre a exposição ao poluente óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e a mortalidade por doenças respiratórias na população da cidade de Taubaté, localizado no estado de São Paulo. Almeida et al. (2020), verificaram em estudo, realizado no município de Uberaba, no estado de Minas Gerais, um aumento na morbidade respiratória em crianças, decorrente de vários poluentes atmosféricos.

Machin et al. (2019), verificaram, por meio do modelo de regressão de Poisson, uma associação positiva entre a exposição a material particulado (MP) e monóxido de carbono (CO) no número de internações por doenças respiratórias, em 2012, na população idosa da cidade de Cuiabá, localizado ao sul da Amazônia brasileira.

Por ser a maior cidade do Brasil, São Paulo apresenta altos níveis de poluição atmosférica e, conseqüentemente, diversos estudos associados à saúde. Gouveia et al. (2006) por exemplo, analisaram a associação entre a exposição à poluição atmosférica e internações hospitalares em indivíduos de diferentes faixas etárias. Nesse estudo, eles verificaram que o aumento de SO<sub>2</sub> e CO, prova aumento no número de internações por doenças respiratórias em crianças. Ainda em São Paulo, Freitas et al. em 2004, com o objetivo de investigar os efeitos a curto prazo de poluição atmosférica e morbidade por doenças respiratórias em menores de 15 anos, observaram uma grande incidência de doenças respiratórias em dia com níveis mais elevados de poluentes no ar.

Segundo Negrete et al. (2010), efeitos adversos de poluentes também podem ser observados em adultos jovens sem doenças pré-existentes. Estudos constataram que o aumento das concentrações de poluentes provocou alterações na pressão

arterial de controladores de trânsito de São Paulo, com boa saúde e idade entre 31 e 55 anos. Abe e Khouri Miraglia (2016) avaliaram o impacto da poluição do ar na saúde da população paulista e identificaram o material particulado e o ozônio como fatores associados à incidência de doenças respiratórias.

Darrow et al. (2014) verificaram em seu estudo realizado com crianças de 0 a 4 anos de idade, em Atlanta, capital do estado da Geórgia, nos EUA, uma associação entre os poluentes ozônio ( $O_3$ ), material particulado ( $MP_{2,5}$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) em relação ao aumento no número de notificações em pronto-socorro por pneumonia. Enquanto Hooper et al. (2018), observaram uma associação positiva entre a exposição a longo prazo por material particulado e dióxido de nitrogênio em casos de bronquite crônica em mulheres nos Estados Unidos- EUA.

As doenças pulmonares obstrutivas crônicas (DPOC), que incluem asma brônquica, bronquite crônica e enfisema, constituem uma das principais causas de morbidade e mortalidade. Estima-se que a DPOC ocasiona a morte de mais de 3,2 milhões pessoas por ano em todo o mundo (Balmes 2019). Arbex et al. (2009) examinaram a influência das concentrações dos principais poluentes atmosféricos no número de notificações por DPOC em São Paulo, Brasil. Nos seus resultados, observaram que o aumento do  $MP_{10}$  e  $SO_2$  em 28,3 e 7,8  $\mu g/m^3$  levam a um aumento de internações por DPOC em 16% e 19%, respectivamente. De forma semelhante, Hendryx et al. (2019) constatou que os principais poluentes atmosféricos, foram associados ao aumento do risco de DPOC (HENDRYX et al. 2019).

Deng et al. (2016) utilizaram vários modelos de regressão logística em seu estudo para avaliar a associação entre a exposição materna a poluição atmosférica durante a gestação e a incidência de asma e rinite alérgica em crianças com idade escolar de 3 a 6 anos, na China. Em seus resultados, foi verificado que a exposição materna ao poluente dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) durante a gravidez está associada a aumento do risco de desenvolver asma e rinite.

### 3.4 ASMA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A asma, também conhecida como bronquite asmática, é uma síndrome clínica heterogênea caracterizada por uma doença inflamatória crônica das vias aéreas

inferiores. O processo inflamatório é complexo e como resultado da inflamação, observa-se uma hiperresponsividade brônquica, ou seja, um aumento da sensibilidade das vias aéreas inferiores, ocasionando o estreitamento das vias aéreas em resposta a estímulos broncoconstritores, fazendo com que o fluxo aéreo seja comprometido.

Dentre as doenças não transmissíveis, a asma é considerada a mais prevalente, com estimativa entre 1 e 18% da população em diferentes países. Evidências apontam que a asma é uma das doenças infantis mais comum no mundo, com uma estimativa de 14% de prevalência (FERRANTE; LA GRUTTA, 2018; LAU et al., 2020). A poluição urbana tem gerado impacto negativo nos resultados de crianças e adultos com asma (GINAL, 2022). Em 2015, cerca de 358 milhões de indivíduos foram diagnosticados com asma em todo o mundo; correspondendo um aumento de 12,6% desde o ano de 1990, e é provável que até 2025 mais 100 mil possam ser afetados por esta doença (NETWORK, 2018).

Os padrões de incidência e prevalência de asma diferem entre crianças e adultos. Geralmente, a asma se inicia na infância, mas pode ocorrer em qualquer fase da vida, podendo, em alguns casos, ser desenvolvida pela primeira vez na idade adulta. Enquanto a incidência e prevalência de asma são maiores em crianças, o uso de serviços de saúde relacionados à asma e a mortalidade são maiores em adultos (DHARMAGE; PERRET; CUSTOVIC, 2019). Existe uma grande variação geográfica na prevalência, gravidade e mortalidade por asma. Embora a prevalência desta doença seja maior em países de alta renda, a maior parte da mortalidade relacionada à asma ocorre em países de baixa e média renda (CISNEROS, 2007).

Os fatores que afetam diretamente a ocorrência da asma são complexos e ainda estão em estudo. As atuais evidências apontam a asma como sendo um distúrbio multifatorial complexo e sua etiologia é cada vez mais atribuída a interações entre suscetibilidade genética, condições ambientais, poluição atmosférica e fatores climáticos (EDER, EGE, VON MUTIUS, 2006; TIAN et al., 2018; CHANG et al., 2020).

A poluição do ar em áreas urbanas é um gatilho estabelecido para exacerbações de asma. Vários poluentes atmosféricos são encontrados em altas concentrações nas áreas urbanas devido a grande quantidade de emissões dos veículos automotores, como também pela geração de energia e as fontes indústrias. Todos os principais poluentes atmosféricos podem induzir constrição das vias aéreas, além da inflamação das vias aéreas, dois aspectos-chave da asma patogênese (DABROWIECKI et al., 2022).

Alguns estudos têm demonstrado que a poluição atmosférica tem impactado de forma diferente sobre a prevalência de asma em crianças em diferentes regiões, devido às diferentes condições geográficas e climáticas apresentadas (O' LENICK et al., 2017). É importante destacar que as crianças, por apresentarem imaturidade do sistema imunológico, são mais vulneráveis aos efeitos da poluição atmosférica quando comparada com outras faixas etárias (DING et al., 2016; NAMVAR et al., 2020).

Vários estudos sobre o impacto da poluição do ar sobre a asma vêm sendo realizados até agora. O conhecimento preciso sobre os fatores que contribuem para causa da asma é de extrema importância, pois essa informação servirá de base para fundamentações políticas voltadas para prevenção e planejamento de ações na tentativa de reduzir a prevalência de asma em todos o mundo.

Uma meta-análise realizada recentemente por Huanf et al. em 2021 com 84 estudos, mostrou que o risco de exacerbações de asma aumentou com o aumento das concentrações dos poluentes  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $NO_2$  e  $SO_2$ . Em um estudo realizado por Ding et al. (2017) na cidade de Chongqing, na China com o objetivo de avaliar os efeitos avaliar os efeitos dos poluentes em crianças de 0 a 18 anos, através do modelo de regressão logística, descobriu que a exposição a curto prazo a  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$ , dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e monóxido de nitrogênio ( $NO$ ) estavam associados ao aumento de visitas hospitalares.

Guo e Chen (2018) apontaram em seu estudo que a exposição a curto prazo a poluentes atmosféricos, como  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  e  $MP_{2,5}$  foi significativamente associada ao aumento das visitas médicas de pacientes asmáticos na cidade de Xangai, China.

Greenberg et al. (2016) investigaram os efeitos da exposição a longo prazo aos poluentes atmosféricos, na gravidade da asma em adultos. Eles identificaram que a exposição aos poluentes atmosféricos  $SO_2$  e  $NO_2$  são responsáveis pelo o aumento do risco de ocorrência de asma. No Reino Unido, Khreis et al. (2019) constaram em seu estudo que a poluição do ar originada do tráfego de veicular é responsável por cerca de 12% dos casos de asma na cidade Bradford. Em Barcelona, Martínez-Rivera et al. (2019) verificaram uma associação do aumento de internações por e vistas à emergência em dias de baixa temperatura associado a concentrações elevadas de dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ).

Uma outra pesquisa analisou a incidência global de asma associada à poluição atmosférica. Em 2015 foram estimados 4 milhões de novos casos de asma,

correspondendo 13% da incidência global, associados à exposição ao dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) em crianças e jovens com idade inferior a 18 anos. Só no Brasil e Paraguai, somados, corresponderam a 150 mil casos (ACHAKULWISUT et al, 2019). Na Austrália, um estudo realizado em adultos, mostrou que indivíduos que moravam próximos as vias de tráfego por pelo menos 5 anos, expostos ao dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), tiveram um maior risco de desenvolvimento de asma e de declínio acentuado da função pulmonar (BOWATTE et al., 2017).

### 3.5 FATORES METEOROLÓGICOS E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

As condições meteorológicas são fatores importantes para a definição do nível de contaminação presente na atmosfera, por influenciarem o tempo de permanência dos poluentes no local emitidos. Isso ocorre devido ao seguinte fato, assim que o contaminante é lançado no ar, ele sofrerá a ação de variáveis, tais como: velocidade e direção do vento, precipitação pluviométrica, temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar. Todas essas variáveis atuando simultaneamente podem favorecer ou não a dispersão dos poluentes (GUERRA; MIRANDA, 2011).

Analisando de forma mais específica, outras características locais, tais como, topografia, a existência ou não de edifícios, o tipo de solo e a quantidade e espécie de vegetação existente, também irão determinar o comportamento dos poluentes presentes no ar (GUERRA; MIRANDA, 2011). Essas características locais apresentam um papel importante em relação à dispersão dos poluentes atmosféricos (MELLER, 2017).

A velocidade e direção do vento favorecem o transporte e a dispersão dos poluentes presentes na atmosfera, determinando sua trajetória e alcances. Em situações de calmaria, provoca a estagnação do ar, ocasionando um aumento nos níveis de concentrações de poluentes no local (INEA, 2020).

A precipitação pluviométrica apresenta uma grande importância em relação à limpeza do ar em centros urbanos. De fato, nas regiões que possuem uma precipitação moderada, essa varredura pela chuva é responsável pela remoção de 90% dos poluentes (MELLER, 2017). Além disso, o solo úmido evita a ressuspensão das partículas poluidoras para a atmosfera (SETESB, 2009).

A temperatura do ar, segundo Damilano e Jorge (2006), constitui um parâmetro de interesse para o estudo da dispersão de poluentes, uma vez que temperaturas mais elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), gerando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados (MELLER, 2017).

A umidade relativa do ar é outro fator que contribui para o tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. Este é um parâmetro meteorológico que caracteriza o tipo de massa do ar em uma região. Tem-se que a baixa umidade relativa do ar quando associada a baixa velocidade do vento, desfavorece à dispersão dos poluentes em uma região. Destacamos também que a ocorrência de baixa umidade do ar pode agravar doenças respiratórias e quadros clínicos da população (INEA, 2020; MELLER, 2017).

Outro parâmetro que influencia na qualidade do ar é a radiação solar, pois ela favorece a formação de oxidantes atmosféricos e poluentes secundários como o ozônio ( $O_3$ ), que são formados na atmosfera a partir de reações fotoquímicas com os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) na presença de luz solar (SHER, 1998)

### 3.6 REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A poluição do ar ocasiona vários impactos negativos no meio ambiente e na qualidade de vida da população. Controlar as emissões atmosféricas poderá gerar vários benefícios a sociedade, mas para isso, se faz necessário a obtenção de dados confiáveis que descrevam as condições existentes no local. Segundo Tomaz (2008) os principais objetivos do monitoramento de poluentes são:

- Avaliar a qualidade do ar para comparação com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental;
- Determinar as tendências a longo, médio e curto prazo, para identificação futuro episódios críticos de poluição atmosférica;
- Avaliar a eficiência das medidas de controles implementadas para redução da poluição atmosférica;
- Determinar e planejar o controle da poluição e seu acompanhamento;

- Informar a população sobre a qualidade do ar;
- Gerar dados para estudos sobre seus efeitos na saúde humana, materiais, flora e fauna;
- Outros - relatório de impacto sobre o meio ambiente, compreensão dos fenômenos de transporte meteorológico de dispersão, etc.

Para se monitorar uma região diretamente afetada pela poluição do ar, faz-se necessária a implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar que poderá ser instalada em grandes centros urbanos ou em áreas industriais que tenham alto potencial poluidor.

Uma rede de monitoramento é formada por várias estações e cada estação apresenta configurações e equipamentos específicos para monitorar os parâmetros previstos na legislação ambiental. Além dos equipamentos para a realização do monitoramento dos principais poluentes atmosféricos, algumas estações possuem também instrumentos para medições de parâmetros meteorológicos com a finalidade de complementar os estudos de dispersão dos poluentes monitorados na região e compreender melhor o comportamento dos poluentes no local.

Cada estação de monitoramento é formada por equipamentos como os analisadores contínuos para cada poluente, além de internet, computador para o armazenamento de dados e uma estação meteorológica. É importante destacar que os dados obtidos pelos equipamentos de medições são submetidos a uma triagem automática de acordo com critérios predefinidos, por meio de um software. Técnicas de verificação e validação desses dados são realizadas durante e logo após as atividades de coleta de dados. Essas técnicas são usadas para aceitar, rejeitar ou qualificar os dados de forma objetiva e consistente (GUIMARÃES, 2017).

## 3.7 MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO

### 3.7.1 Considerações iniciais

Por muitos anos, modelos lineares normais têm sido utilizados para tentar

descrever a maioria dos fenômenos aleatórios (PAULA, 2013). Mesmo que o fenômeno em estudo não sugira uma resposta razoável à suposição de normalidade, sugere-se alguma transformação para alcançar a normalidade buscada. No entanto, com o desenvolvimento da tecnologia computacional em meados da década de 1970, alguns modelos que exigiam o uso de um processo iterativo para estimação de parâmetros começaram a encontrar mais uso. No entanto, em 1972, Nelder e Wedderburn propuseram modelos lineares generalizados (MLG), a proposta mais inovadora sobre o assunto na época.

A ideia principal é abrir o leque de opções para que a distribuição da variável resposta pertença à família das distribuições exponenciais de um parâmetro e proporcionar mais flexibilidade na relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear.

### 3.7.2 Modelos Lineares Generalizados

Para Cordeiro e Demétrio (2013), a seleção do modelo é um passo importante em toda pesquisa de modelagem estatística, pois envolve encontrar o modelo mais simples possível que descreva bem o processo de geração de observações.

Nelder e Wedderburn em 1972 afirmaram que um conjunto de técnicas estatísticas, usualmente estudadas separadamente, podem ser formuladas de forma unificada como uma classe de modelos de regressão. Essa teoria unificada de modelagem estatística é uma extensão do modelo de regressão clássico, conhecido como modelo linear generalizado (MLG).

Segundo Casella e Berger (2021), esses modelos são definidos por distribuições de probabilidade, membros da família exponencial de distribuições, e podem ser utilizados quando envolvem uma única variável aleatória  $Y$  associada a um conjunto de variáveis explanatórias  $x_1, \dots, x_p$ . Para uma amostra de  $n$  observações  $(y_i, x_i)$ , em que  $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})^T$  é o vetor coluna de  $p$  variáveis explanatórias, de dimensão  $n \times 1$ . O MLG envolve os três componentes:

- i) O componente aleatório: representado por um conjunto de variáveis aleatórias independentes  $Y_1, \dots, Y_n$  obtidas de uma mesma distribuição pertencente à família exponencial, podendo englobar as distribuições normal, gama e normal inversa para dados contínuos; binomial para proporções; Poisson e binomial negativa para contagens, com médias  $\mu_1, \dots, \mu_n$ , ou seja,

$$E(Y_i) = \mu_i, i = 1, \dots, n;$$

- ii) Componente sistemático: constituído pelas variáveis explanatórias que entram na forma de uma estrutura linear,

$$\eta_i = \sum_{r=1}^p x_{ir} \beta_r = x_i^T \beta \text{ ou } \eta = X\beta,$$

em que  $X = (x_1, \dots, x_n)^T$  é a matriz do modelo,  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)^T$  o vetor de parâmetros a ser estimado e  $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_n)^T$  o preditor linear;

- iii) Função de ligação: uma função que relaciona o componente aleatório ao componente sistemático, ou seja, conecta a média da variável resposta ( $\mu_i$ ) e a estrutura linear, definida nos MLG por

$$g(\mu_i) = \eta_i,$$

em que  $\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$  e  $g(\mu_i)$  uma função monótona e diferenciável. O coeficiente de regressão  $\beta$  representa o vetor de parâmetros a serem estimados. As funções de ligação canônica para as principais distribuições estão apresentadas no **Tabela 2**.

**Tabela 2 – Funções de ligação canônicas**

Distribuição	Função de ligação canônica ( $\eta$ )
Normal	Identidade: $\eta = \mu$
Poisson	Logarítmica: $\eta = \ln(\mu)$
Binomial	Logística: $\eta = \ln\left\{\frac{\mu}{1-\mu}\right\}$
Gamma	Recíproca: $\eta = \mu^{-1}$
Gaussiana Inversa	Recíproca do quadrado: $\eta = \mu^{-2}$

Fonte: CORDEIRO (2010).

Cordeiro (2013) enfatizou que a função de ligação canônica traz propriedades estatísticas desejáveis ao modelo, principalmente no caso de amostras pequenas. No entanto, não há razão a priori para que os efeitos sistemáticos do modelo devam ser somados nas escalas especificadas por essas funções.

### 3.7.3 Modelo de Regressão de Poisson

Dentre as distribuições que compõem o componente aleatório dos modelos lineares generalizados, a distribuição de Poisson é a mais utilizada para analisar a associação entre dados de saúde e poluição do ar. Isso se deve à natureza das variáveis de resposta que compõem as contagens de eventos.

Suponha que,  $Y_i$  seja uma variável aleatória com distribuição de Poisson, com parâmetro  $\mu_i > 0$ , denotada por  $Y_i \sim P(\mu_i)$ . A sua função de probabilidades pode ser escrita na forma

$$f(y_i; \mu_i) = \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!}, y_i \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

sendo a média e a variância de  $Y_i$  dadas, respectivamente, por

$$E(Y_i) = \mu_i$$
$$Var(Y_i) = \mu_i.$$

O uso de uma distribuição de Poisson pressupõe que os dados tenham expectativas e variâncias iguais. No entanto, essa suposição às vezes é violada e os dados podem ser superdispersos ou subdispersos quando a variância é maior ou menor que a média, como em estudos que relacionam poluição do ar e dados de saúde. Nesses casos, ainda é possível aplicar um modelo de regressão de Poisson com alguns ajustes, ou utilizar outro modelo de distribuição de probabilidade mais adequado (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2010).

#### 3.7.4 Critério para seleção do modelo

Segundo Cordeiro (2010), nem sempre é fácil chegar a uma estratégia geral para o processo de seleção de um MLG para ajustar a um vetor de observação. Em geral, os algoritmos de ajuste não podem ser aplicados a MLG isolados, mas a alguns modelos em um conjunto muito grande, que deve ser realmente relevante para a natureza das observações que se pretende analisar. Se o procedimento for aplicado a um único modelo sem considerar possíveis modelos alternativos, corre-se o risco de não se obter um dos modelos que melhor se ajusta aos dados.

Existem vários procedimentos para a seleção de modelos de regressão, dentre eles, temos o método proposto por Akaike em 1974, muito utilizado no caso dos Modelos Lineares Generalizados. O critério de informação de Akaike (AIC) é aplicado a modelos encaixados cujos os parâmetros são estimados pelo método de máxima verossimilhança, para decidir qual o modelo mais adequado quando se utiliza vários modelos com quantidades diferentes de parâmetros. Segundo Paula (2013) a ideia básica desse critério é selecionar o modelo que esteja bem ajustado e tenha um número reduzido de parâmetros.

Como o logaritmo da função de verossimilhança  $L(\hat{\beta})$  cresce com o aumento do número de parâmetros do modelo, uma proposta razoável seria encontrarmos o modelo com menor valor para a função. De acordo com Hilbe (2011), o AIC pode ser

dado por:

$$AIC = -2l(\hat{\mu}; y) + 2K,$$

em que  $K$  denota o número de parâmetros do modelo,  $l(\hat{\mu}; y)$  é o logaritmo da função de verossimilhança visto, avaliada na estimativa de máxima verossimilhança de  $\mu$  e  $n$  é o número de observações.

Na estatística, em especial na área da teoria da informação, diversas metodologias são utilizadas para mensurar o grau de ajustamento de um modelo. Essas estatísticas permitem comparar diversos modelos concorrentes para podermos decidir, entre eles, o que melhor ajustou ao conjunto de dados. Bozdogan (2000) decorre sobre a ideia básica do Akaike's (1993) information criterion bem como sobre outras estatísticas de adequação bastante utilizadas em modelagem estatística.

Outro critério muito útil para comparações entre modelos é o pseudo- $R^2$ . Essa estatística, similar ao coeficiente de determinação nos modelos lineares clássicos, é definida por

$$R^2 = 1 - \frac{D_c}{D_0},$$

em que  $D_c$  é o desvio do modelo corrente e  $D_0$  é o desvio do modelo nulo. Ela mede a redução no “deviance” devido à inclusão das variáveis regressoras (RIBEIRO, 2006). O seu valor varia de 0 a 1, indicando que o modelo é bem ajustado e explicativo quanto maior for o seu valor.

Cordeiro (2010) ressalta que é importante eliminar modelos medíocres a priori e observar a estrutura dos dados por meio de análise exploratória gráfica. Ao escolher um modelo, há sempre um equilíbrio entre a complexidade do modelo e a qualidade do ajuste.

### 3.7.5 Avaliação do ajuste do modelo

A análise diagnóstica é uma etapa fundamental na avaliação do ajuste do

modelo de regressão, pois é capaz de verificar os possíveis afastamentos das suposições realizadas para o modelo, especialmente para o componente aleatório e para a parte sistemática do modelo, assim como a existência de observações discrepantes com alguma interferência desproporcional ou inferencial nos resultados do ajuste (PAULA, 2013).

Uma das principais ferramentas na análise diagnóstica e uma importante etapa no processo de escolha do modelo estatístico é a análise residual. Gráficos dos resíduos de Pearson ou resíduos do desvio, são úteis para detectar a falta de ajuste do modelo ou detectar outliers. Dentre os resíduos mais comuns nos Modelos Lineares Generalizados, temos o resíduo de Person que é definido por:

$$r_i = \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sqrt{\hat{v}_i}}$$

em que  $\hat{\mu}_i$  é a média ajustada e  $\hat{v}_i$  é a estimativa da variância de  $y_i$ . Para o modelo de regressão de Poisson, o resíduo de Person é dado com  $v_i = \mu_i$  (CORDEIRO; NETO, 2006).

Um método informal para a verificação da qualidade do ajuste do modelo é por meio da representação gráfica. Segundo Paula (2013), dentre os principais gráficos de resíduos, utilizados para se diagnosticar o ajuste do modelo, temos:

- i. Gráficos de resíduos versus valores ajustados ( $\hat{\eta}$ ): este gráfico permite verificar a função de variância. Para um modelo bem ajustado, o padrão do gráfico é uma distribuição aleatória de resíduos, centrada em zero e com variância constante;
- ii. Gráfico normal de probabilidade com envelope: este gráfico permite, além de verificar a suposição sobre a distribuição da componente sistemática está sendo violada, identificar de valores que se destacam dentro do conjunto de observações. Para um modelo bem ajustado, o padrão desse gráfico corresponde ao alinhamento dos pontos na reta que representa a identidade dos quantis amostrais e teóricos;
- iii. Gráficos de resíduos versus variáveis incluídas no modelo: deve-se observar se os resíduos estão aleatoriamente dispersos em torno de zero. A presença de algum padrão sistemático indica que a variável em questão não foi adequadamente incluída no modelo;

- iv. Gráfico da variável ajustada ( $z_i$ ) versus o preditor linear  $\hat{\eta}_i$ : este gráfico permite avaliar a adequação da função de ligação. Nesta representação gráfica indica que a função de ligação está adequada.

### Interpretação dos parâmetros estimados

O risco relativo (RR), também conhecido como razão de chances (Odd Ratio), é uma medida da associação, utilizado para estimar a magnitude da associação entre estima a magnitude da associação entre a exposição ao fator de risco  $x$  (concentrações dos poluentes atmosféricos) e o desfecho  $y$  (internações por asma) (EVERITT, 2003). De forma mais específica, a função de risco relativo (RR) no nível  $x$  da variável independente é definido por (BAXTER et al., 1997):

$$RR(x) = \frac{E(Y|x)}{E(Y|x = 0)},$$

em que  $E(Y|x)$  é o valor esperado. O risco relativo, para o modelo de regressão de Poisson, é dado por:

$$RR(x) = e^{\beta x}$$

em que o  $\beta$  é o coeficiente de regressão obtido do modelo de regressão de Poisson. Esse resultado indica, por exemplo, que o risco de uma pessoa exposta a uma concentração de poluente ( $x$ ) adquirir uma doença específica é  $RR(x)$  vezes maior que uma pessoa que não foi exposta a esta concentração (TANADO; UGAYA; FRANCO, 2009).

Quanto maior o  $RR(x)$ , maior a força da associação entre a exposição ao fator de risco e o efeito da exposição. Podemos interpretar este risco relativo da seguinte maneira (WAGNER E CALLEGARI-JACQUES, 1998):

- $RR < 1$ : indica que o fator de associação teria uma ação protetora, e não constitui um risco à saúde;
- $RR = 1$ : indica que não há associação entre o fator de estudo e o risco do resultado;

- $RR > 1$ : a associação indica que o fator estudado é um fator de risco.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 TIPOLOGIA DO ESTUDO

Trata-se de um estudo epidemiológico, observacional, não experimental, do tipo ecológico, interpretativo, analítico e inferencial, desenvolvido a partir de métodos quantitativos que podem generalizar alguns dados e aprofundar a compreensão de fenômenos e/ou conceitos.

Segundo Castro (2003), estudos epidemiológicos com diferentes metodologias têm sido utilizados para observar a associação entre a exposição à poluição do ar e seus efeitos na saúde. Uma das grandes vantagens desses estudos para essa situação é que, além de examinar os efeitos dessa exposição em uma população representativa, eles também medem as exposições ambientais às quais estamos realmente expostos.

Os métodos qualitativos diferem em princípio dos métodos quantitativos porque não utilizam ferramentas estatísticas como base para o processo analítico. Este método é usado para descrever a complexidade de um determinado problema e não envolve manipulação de variáveis e estudos experimentais. A análise simultânea de métodos quantitativos e qualitativos é baseada na possibilidade de cruzamento de informações para construir uma compreensão abrangente do objeto de pesquisa.

A natureza inferencial deste estudo significa que é possível construir afirmações sobre a população a partir da amostra e tomar decisões com base nisso. Segundo Arango (2009), o motivo da aplicação do método de inferência é que é impossível fazer uma afirmação de toda a população por ser desconhecida, incontável ou infinita.

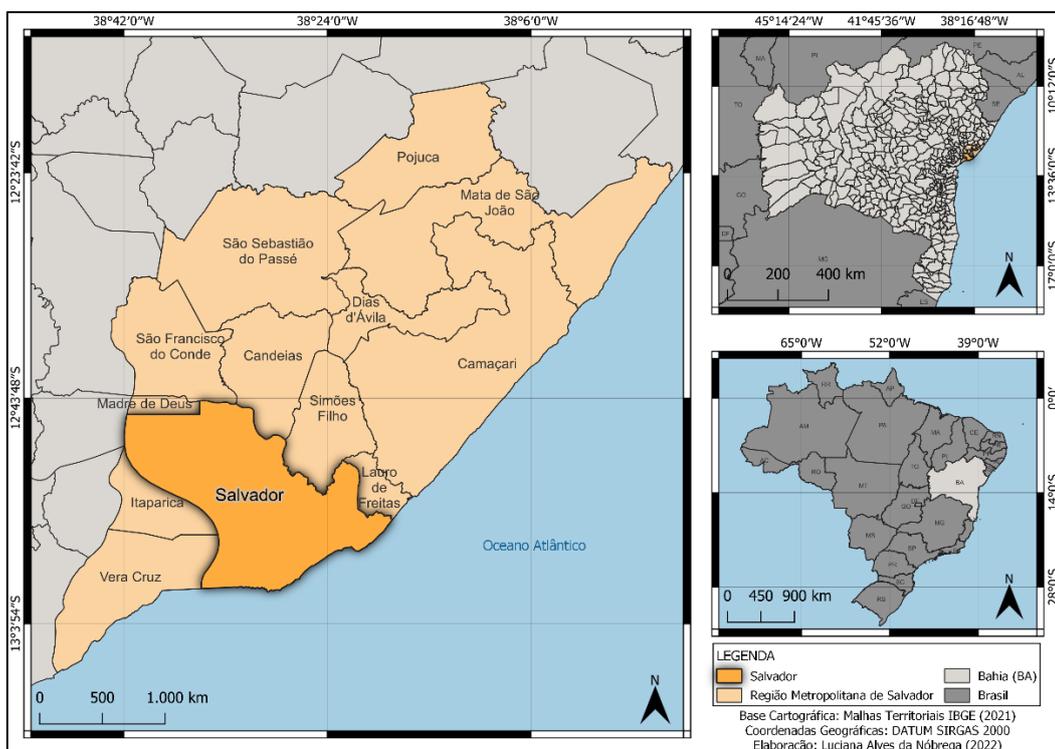
### 4.2 CENÁRIO DA PESQUISA

Esse estudo foi realizado na cidade de Salvador, capital do estado da Bahia, localizado na latitude 12°58'16" S e longitude 38°30'39" W. Segundo dados disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020), a

população de Salvador está estimada em 2.886.698 milhões de habitantes, configurando assim a terceira cidade mais populosa do país.

A Região Metropolitana de Salvador (RMS), apresentada da **Figura 1**, é formada por treze municípios que, além de Salvador, inclui: Camaçari, Candeia, Dias D'ávila, Itaparica, Lauro de Freitas, Madre de Deus, Mata de São João, Pojuca, São Francisco do Conde, São Sebastião do Passé, Simões Filho e Vera Cruz, conforme apresentado na **Figura 1**.

**Figura 1 - Região Metropolitana de Salvador (RMS)**



Fonte: Elaborada pela autora.

Com 3.957.123 milhões de habitantes, a Região Metropolitana de Salvador ocupa a oitava posição em relação cenário nacional, conforme apresentado na **Tabela 3**.

**Tabela 3** - Posição das dez mais populosas regiões metropolitanas do Brasil

<b>Posição</b>	<b>RMS</b>	<b>População</b>
1 <sup>a</sup>	RM de São Paulo	21.734.682
2 <sup>a</sup>	RM do Rio de Janeiro	12.763.459
3 <sup>a</sup>	RM de Belo Horizonte	5.961.895
4 <sup>a</sup>	RIDE do Distrito Federal e Entorno	4.27.771
5 <sup>a</sup>	RM de Porto Alegre	4.340.733
6 <sup>a</sup>	RM de Fortaleza	4.106.245
7 <sup>a</sup>	RM do Recife	4.079.575
8 <sup>a</sup>	RM de Salvador	3.929.209
9 <sup>a</sup>	RM de Curitiba	3.654.960
10 <sup>a</sup>	RM de Campinas	3.264.915

Fonte: IBGE (2021).

A cidade de Salvador cresceu lentamente durante mais de quatro séculos, concentrando suas atividades ao sul da península e a partir da década de 1970, a cidade expandiu-se para o norte, ocupando intensivamente o território municipal, reduzindo significativamente a vegetação e resultando em densidades mais altas ao sul.

Com clima quente e úmido, Salvador é uma cidade tipicamente tropical, com cerca de 2.466 h anuais de sol, ventilada (ventos anuais com velocidade média de 2,2 m/s) e uma temperatura média anual de 25 °C (76 F). É considerada uma das cidades mais ensolaradas do mundo, com umidade relativa média anual da ordem de 81%, tendo a vantagem de ser cercada pelo mar em três de seus lados. Estas condições climáticas são ideais para a atração turística.

É importante destacar que, a RMS recebe a influência do Polo Industrial de Camaçari, que configura como sendo o maior complexo produtivo do Nordeste

brasileiro, além de possuir o maior polo petroquímico do hemisfério Sul. Com implantação no início da década de 1970 e localizado a 41 km de Salvador, atualmente o polo abriga mais de 100 fábricas e que muitas delas, emitem em sua atividade produtiva, poluentes no meio ambiente, contribuindo para o aumento da poluição atmosférica na região. A **Figura 2** apresenta a fotografia do polo industrial de Camaçari.

**Figura 2** - Polo industrial de Camaçari



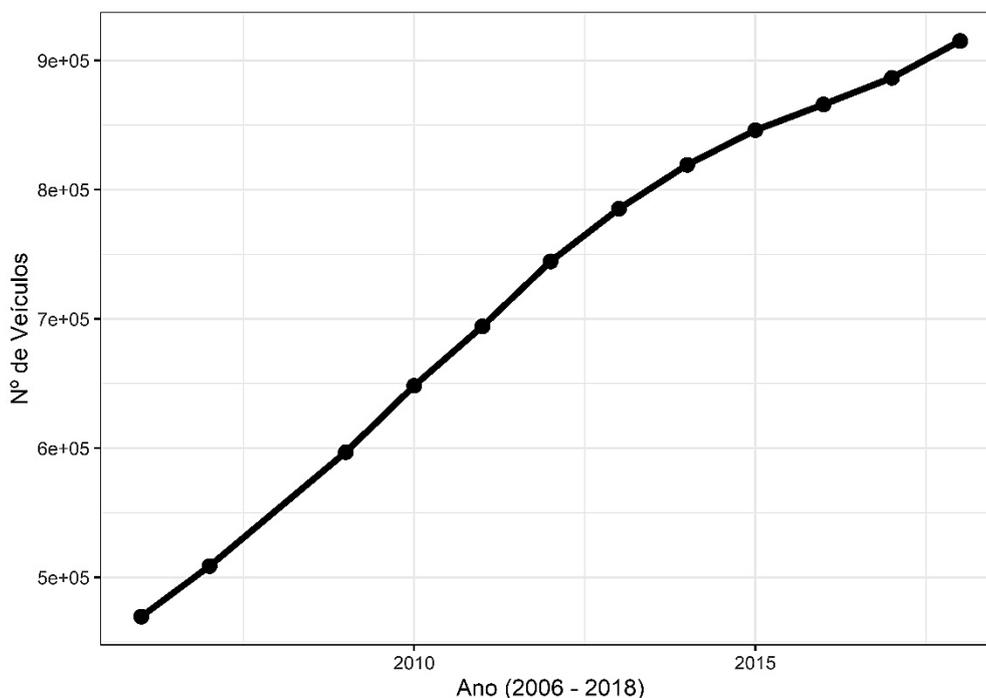
Fonte: Souza (2019).

Até meados de 1980, a poluição atmosférica nos grandes centros urbanos brasileiros era atribuída basicamente às emissões industriais, no entanto, com o rápido crescimento nessas áreas, os veículos automotores, classificados como fontes móveis, se tornaram um problema de grande magnitude. Hoje observa-se que um dos maiores geradores de poluição do ar em áreas urbanas são os veículos automotores em circulação, em virtude do número de veículos e motos, ao estado de conservação dos motores e mecanismo de filtragem dos gases e muitas vezes, a ausência no controle quanto à qualidade do combustível utilizado.

Tomando por base dados disponibilizados pelo Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN, em doze anos, o crescimento da frota de veículos automotores no município de Salvador dobrou, passando de 469.714 em 2006, para 915.186 em 2018, o que representa uma evolução de 95%. Com relação a RMS passou, em 2006,

de 562.313 para 1.222.252 milhões de veículos em 2018, representando um aumento em 117,4%. A **Figura 3**, apresenta o gráfico do crescimento da frota de veículos automotores, ano a ano, no município de Salvador.

**Figura 3** - Gráfico do crescimento da frota de veículos em Salvador 2006-2018



Fonte: IBGE (2021).

#### 4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DOS DADOS

##### Dados da qualidade do ar e meteorológicos

Para operacionalização do presente processo de investigação, utilizamos os parâmetros empregados como indicadores da qualidade do ar previsto na Resolução n.º 491, expedida em 2018 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Os indicadores ambientais (MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO) e meteorológicos (velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar) têm medições diárias nas estações de monitoramento de Salvador. Essas informações foram obtidas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA e a empresa Cetrel S/A para



Essas estações operam de forma contínua com analisadores que fazem a coleta e análise de cada poluente e parâmetros meteorológicos simultaneamente. Cada estação que compõe a rede de monitoramento mede os seguintes parâmetros: material particulado (MP<sub>10</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>), umidade relativa do ar (UR), temperatura (T), velocidade do vento (V/V), direção do vento (D/V) e precipitação pluviométrica, conforme apresentado na **Tabela 4**.

**Tabela 4** - Estações e os parâmetros monitorados

<b>Estações</b>	<b>Poluentes</b>	<b>Parâmetros meteorológicos</b>
Pirajá	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , MP, NO, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	V/V, D/V, T, UR, Precipitação
Paralela	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , MP, NO, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	V/V, D/V, T, UR, Precipitação
Dique do Tororó	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , MP, NO, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	V/V, D/V, T, UR, Precipitação
Campo Grande	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , MP, NO, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	V/V, D/V, T, UR, Precipitação
Rio Vermelho	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , MP, NO, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	V/V, D/V, T, UR, Precipitação

Fonte: Cetrel (2020).

Os resultados obtidos através do monitoramento foram armazenados em um sistema de banco de dados, por meio de médias horárias para cada parâmetro analisado. Após o armazenamento dessas informações, eles passam por um processo de avaliação técnica para, posteriormente, serem disponibilizados.

Para avaliar os efeitos entre a exposição aos poluentes atmosférico e os casos de notificações por asma, para esse estudo, em relação aos parâmetros de qualidade do ar, foram considerados apenas os regulamentados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Resolução n.º 419/2018), que são:

- Material Particulado: MP<sub>10</sub>;
- Dióxido de enxofre: SO<sub>2</sub>;
- Dióxido de nitrogênio: NO<sub>2</sub>;
- Ozônio: O<sub>3</sub>;

- Monóxido de carbono: CO.

As condições meteorológicas predominantes em uma determinada região, constitui fatores importantes para a definição dos níveis de concentração de poluentes na atmosfera. Dessa forma, para avaliar a relação entre os níveis de concentração dos poluentes presentes no ar e fatores meteorológicos, e identificar entre estes, os que estão diretamente interferindo na concentração dos poluentes, serão considerados os seguintes parâmetros meteorológicos:

- Velocidade do vento (V/V);
- Direção do vento (D/V);
- Umidade relativa do ar (UR);
- Temperatura;
- Precipitação pluviométrica.

Embora a rede de monitoramento da qualidade do ar na área urbana de Salvador seja composta por 05 (cinco) estações fixas, para fins deste estudo, como fonte de informação, optou-se por utilizar os dados obtidos pela estação de monitoramento da qualidade do ar localizada na Avenida Paralela. Esta escolha foi feita porque esta estação está localizada em uma das principais áreas de tráfego da região da cidade de Salvador, além de possuir o maior número de informações sobre a qualidade do ar.

### **Dados da saúde**

As informações disponibilizadas do Departamento de Informações do Sistema Único de Saúde – DATASUS, do Ministério da Saúde são de suma importância para o desenvolvimento de estudos epidemiológicos. Como esse estudo objetivou relacionar os efeitos da poluição atmosférica e fatores meteorológico com a saúde humana, os eventos que representam danos à saúde foram coletados junto ao Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIHSUS), disponível no site do DATSUS <<https://datasus.saude.gov.br/transferencia-de-arquivos/#>>.

As doenças e problemas de saúde disponibilizadas pelo DATASUS são catalogados e padronizados, conforme com a Classificação Internacional de Doenças (CID-10), estabelecida pela Organização Mundial de Saúde (OMS). De acordo com os

índices do CID-10, as informações são organizadas em vinte e dois (22) capítulos, que agrupam as doenças com suas características e semelhanças.

As doenças relacionadas ao sistema respiratório (J00-J99) encontram-se no Capítulo X do CID-10. E estão organizadas, conforme os índices, da seguinte forma:

- Faringite aguda e amigdalite aguda: J02 - J03;
- Laringite e traqueíte agudas: J04;
- Outras infecções agudas das vias aéreas superiores: J00 - J01, J05 - J06;
- Influenza (gripe): J09 - J11;
- Pneumonia: J12 - J18;
- Bronquite aguda e bronquiolite aguda: J20 - J21;
- Sinusite crônica: J32;
- Outras doenças do nariz e dos seios paranasais: J30 - J31, J33 - J34;
- Doenças crônicas das amígdalas e das adenóides: J35;
- Outras doenças do trato respiratório superior: J36 - J39;
- Bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas: J40 - J44;
- Asma: J45 - J46;
- Bronquiectasia: J47;
- Pneumoconiose: J60 - J65;
- Outras doenças do aparelho respiratório: J22, J66 - J99.

Como esse estudo deseja relacionar os efeitos da poluição atmosférica e fatores meteorológico com o número de hospitalizações por asma (J45-J46), enquadrados como doenças do aparelho respiratório, do Capítulo X do CID-10, esses danos à saúde foram coletados e agrupados por mês, para o período da investigação.

As informações de notificações por asma foram organizadas em planilha eletrônica em diferentes faixas etárias para cada mês em estudo. Para a organização das informações, de acordo com as faixas etárias, foram considerados a classificação e os limites cronológicos estabelecidos pela OMS, que compreende as seguintes fases:

- Crianças - 0 a 9 anos;
- Adolescente - 10 a 19 anos;
- Adultos - 20 a 59 anos;

- Idosos - igual ou maiores 60 anos.

## **Aspectos éticos**

De acordo com a Resolução n.º 510/2016, as pesquisas que envolvem seres humanos devem ser submetidas à apreciação de um Comitê de Ética em Pesquisa – CEP. Porém, os estudos envolvendo apenas dados de domínio público que não identifiquem os participantes da pesquisa, ou pesquisas de revisão bibliográfica, sem envolvimento de seres humanos, não necessitam aprovação do Sistema CEP/CONEP.

Desta forma, o projeto de pesquisa deste estudo não foi submetido à apreciação do Comitê de Ética e Pesquisa do Centro de Ciências e Saúde da Universidade Federal da Paraíba, visto que foram utilizados dados de domínio público disponibilizados pelo Departamento de Informações do Sistema Único de Saúde - DATASUS.

## **4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS**

### **4.4.1 Variáveis modeladas**

Para avaliar a associação entre a exposição aos principais poluentes atmosféricos e alguns parâmetros meteorológicos com casos de notificações por asma em diferentes faixas etárias, foram consideradas como variáveis dependentes o número de casos do J45-J46 do capítulo X do CID-10. As variáveis meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar) e os poluentes atmosféricos (MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e CO) que serão as variáveis independentes ou explicativas para o modelo.

#### 4.4.2 Análise exploratória dos dados

Após a organização das informações coletadas nas planilhas eletrônicas, a primeira fase do estudo consistiu em uma análise interpretativa dos dados, utilizando medidas de tendência central e de dispersão, como média, mediana, desvio-padrão e coeficiente de correlação, além da utilização de gráficos e tabelas com a finalidade de caracterizar e compreender melhor os eventos em questão. Além disso, foram elaborados gráficos de dispersão para observar o comportamento da variável resposta, além de analisar a relação entre as variáveis preditoras.

#### 4.4.3 Análise do ajuste do modelo para tomada de decisão

Para estimar o nível de associação existente entre os fatores meteorológicos e poluentes atmosféricos com os casos de notificação por asma na população de Salvador - BA, foi realizada a análise estatística dos dados por meio da utilização dos modelos lineares generalizados. Dentre as distribuições que pertencem aos MLG, a distribuição utilizada foi a de Poisson, tendo em vista a natureza da variável dependente que configura como evento de contagem, além de ter sido a distribuição que melhor se ajustou ao conjunto de dados em uma análise prévia realizada com outras distribuições, utilizando a linguagem de programação R (TEAM, 2022).

Para essa análise, utilizou-se o método backward na seleção das variáveis, em que começou com todos os preditores incluídos de uma só vez na equação e, depois, foram removidas um a um, até que se identificassem os melhores preditores. Nesse estudo foi levado em consideração um nível de significância de 5% para a permanência da variável no modelo. Sendo assim, o modelo final foi constituído de todas as variáveis independentes consideradas significativas para o desfecho ( $P \leq 0,05$ ), ou seja, um modelo com todas as variáveis com p-valor menor que 0,05.

A seleção do modelo mais adequado para esse estudo foi realizada mediante a utilização do pseudo- $R^2$  e o Critério de Informação de Akaike (AIC), além da análise gráfica dos resíduos.

Após o ajuste e seleção do modelo, para que os resultados obtidos fossem válidos, foi necessário verificar as suposições inicialmente descritas pelo modelo. Sendo assim, foi realizada a Análise de Resíduos para avaliar a adequabilidade do modelo. Esta etapa foi realizada mediante a utilização de um conjunto de critérios de adequação e ferramentas gráficas. Além da análise residual, foi realizada uma verificação da colinearidade e multicolinearidade entre as variáveis de entrada, pois as relações existentes entre elas podem interferir nos resultados, causando interferência errôneas ou pouco confiáveis para o estudo.

## 5 RESULTADOS: ANÁLISES E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos neste estudo e suas discussões. Para melhor compreensão, este tópico está organizado nas seguintes seções: análise exploratória dos dados, especificação do modelo de Regressão de Poisson e análise da adequabilidade do modelo.

### 5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

#### 5.1.1 Internações por asma

A asma é uma das doenças crônicas mais comum entre crianças e adultos em todo o mundo, com prevalência crescente. Em 2016, estima-se que cerca de 340 milhões de pessoas sofrem de asma no mundo (DAȔBROWIECKI et al., 2022).

Na rede pública de saúde no município de Salvador, o quantitativo de notificações por asma, durante o período de estudo, foi de 2.607 casos, dos quais 79,67% correspondem aos casos de notificações em crianças com idade de 0 a 9 anos, 7,02% correspondem à adolescentes com idade de 10 a 19 anos, 7,52% correspondem à adultos, entre 20 e 59 anos e 5,79% a idosos com idade igual ou superior a 60 anos, conforme dados disponibilizados pelo DATASUS e apresentados na **Tabela 5**.

Com 2.077 casos, as crianças (0 a 9 anos) ocupam posição de destaque no município de Salvador em relação ao número de notificações por asma. Esse valor expressivo se deve ao fato deste grupo ser mais vulnerável aos efeitos da poluição do ar. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a asma é uma das doenças crônicas mais frequente entre crianças em todo o mundo.

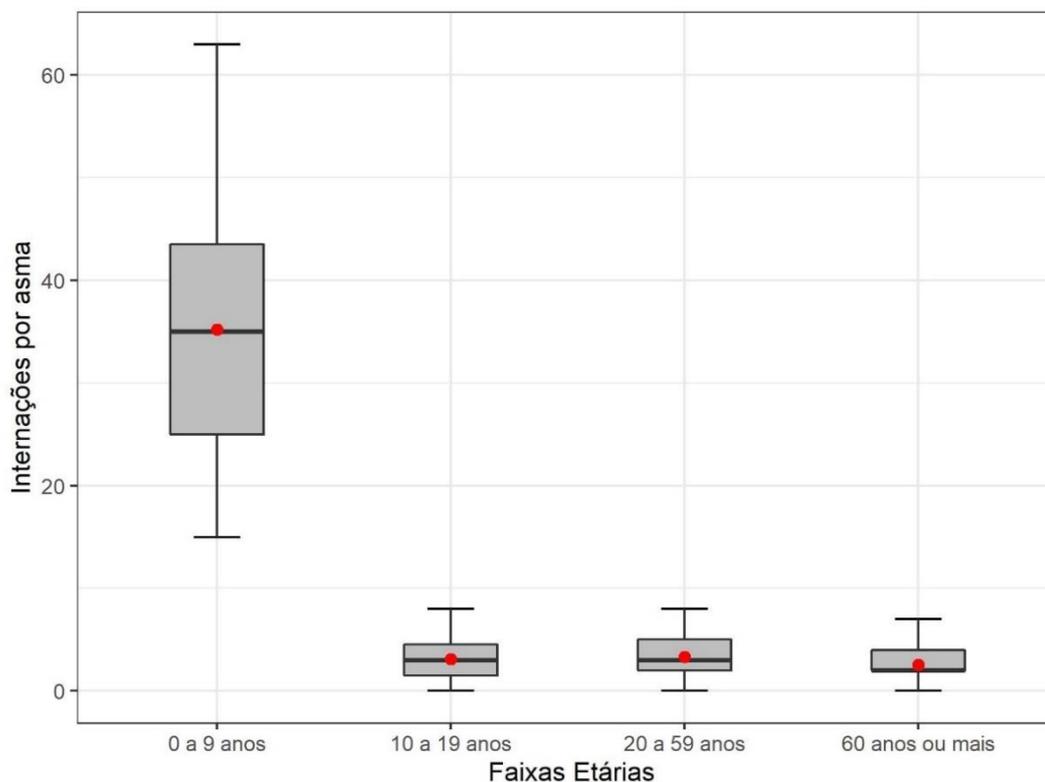
**Tabela 5** - Distribuição percentual de internações por asma em diferentes faixas etárias na rede pública de saúde, Salvador, Brasil, 10/2010 - 08/2015

Ano (meses)	Total		Crianças		Adolescente		Adulto		Idosos	
	<i>n</i>		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
<b>2010 (10-12)</b>	138		103	74,64	16	11,59	11	7,97	8	5,80
<b>2011 (01-12)</b>	613		494	80,59	44	7,7	38	6,20	37	6,04
<b>2012 (01-12)</b>	622		496	79,74	48	7,72	42	6,75	36	5,79
<b>2013 (01-12)</b>	460		370	80,43	24	5,22	39	8,48	27	5,87
<b>2014 (01-12)</b>	487		376	77,21	37	7,60	47	9,65	27	5,54
<b>2015 (01-08)</b>	287		238	82,93	14	4,88	19	6,62	16	5,57
<b>TOTAL</b>	<b>2.607</b>		<b>2.077</b>	<b>79,67</b>	<b>183</b>	<b>7,02</b>	<b>196</b>	<b>7,52</b>	<b>151</b>	<b>5,79</b>

Fonte: DATASUS (2021).

A **Figura 5** apresenta os gráficos de Boxplot do número mensal de notificações por asma em crianças, adolescentes, adultos e idoso, no período de estudo, outubro de 2010 a agosto de 2015. Observa-se que a faixa etária de 0 a 9 anos apresenta maior média mensal de notificações por asma, com valor de 35,20. Já as faixas etárias, adolescentes, adultos e idosos apresentam, respectivamente 3,10; 3,30 e 2,56 de média para o período de estudo.

**Figura 5** - Boxplot do número de casos de notificações por asma em diferentes faixas etárias



Fonte: Dados da pesquisa. Salvador – BA, 2010-2015.

Semelhante a este estudo, Cardoso et al. (2017) identificaram a prevalência de asma em todas as faixas etárias e um índice maior em crianças com idade escolar. Pedraza e Araújo (2017) identificaram a asma como a principal causa de internações em crianças no Brasil. No mesmo estudo, eles também destacaram a dificuldade de controle da doença devido à falta de políticas nacionais voltadas para a prevenção e ao tratamento prévio da asma.

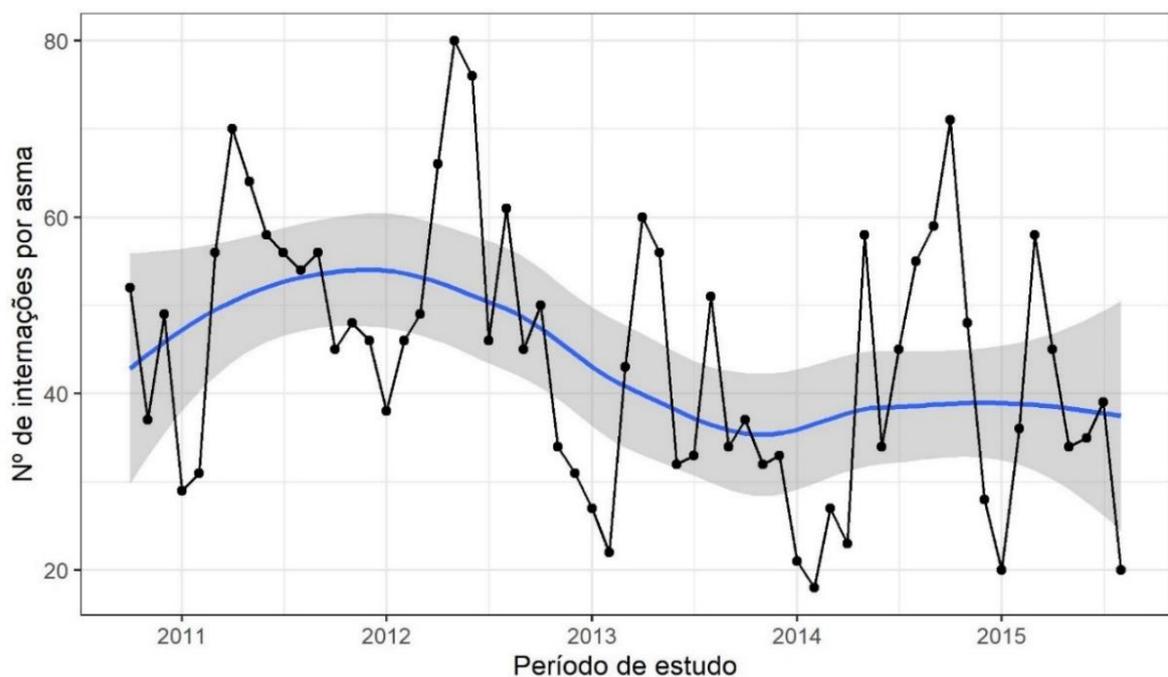
Em relação à distribuição das internações por asma no Brasil, Cardoso et al. (2017) encontraram as maiores taxas de internações e óbitos por asma nas regiões Norte e Nordeste, sendo que os estados do Pará e da Bahia apresentaram as maiores taxas de internações por 100.000 habitantes. Em estudos mais recentes, Marques et al. (2022) observaram durante o período de 2016 a 2020, que a região Nordeste ocupou posição de destaque em relação ao número de internações por asma, com 159.788 casos, seguido pelo Sudeste, com 108.597 casos de internações, região sul com 63.240, região norte com 43.079 e região Centro-Oeste com 28.431 casos de

internações por asma. No mesmo estudo, também foi encontrado maior número de relatos de asma em crianças e adolescentes.

Visto que o território brasileiro é muito diversificado em termos de condições climáticas e diversos outros fatores, como níveis de emissões de poluentes, que podem atuar como potencializadores no aumento do risco de desenvolvimento de doenças respiratórias, observa-se uma escassez de estudos regionalizados (OLIVEIRA et al., 2018).

Através do gráfico da variação mensal do número de notificações de asma, para o período de estudo conforme apresentando na **Figura 6**, observou-se uma variação sazonal, com valores maiores para a estação chuvosa, que corresponde aos meses de abril, maio junho e julho. Verificou-se também em outubro de 2014 um valor elevado para o número de internações por asma, que pode ser atribuído a outros fatores ambientais, como poluição atmosférica associada a parâmetros climáticos.

**Figura 6** - Variação mensal do número de notificações por asma no município de Salvador, outubro de 2010 a agosto de 2015

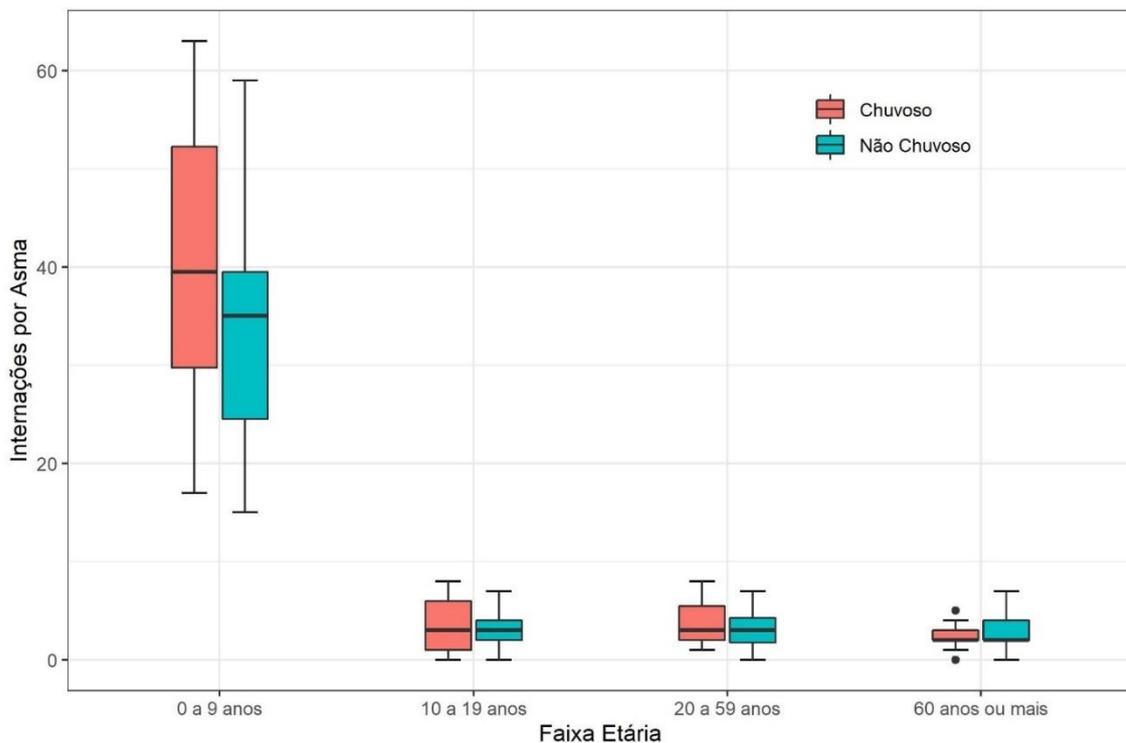


Fonte: Elaborada pela autora. DATASUS (2020).

A Figura 7 apresenta o gráfico da variação do número de casos de internações por asma para o período chuvoso e não chuvoso, segundo as faixas etárias. Através do Boxplot observa-se valores maiores para o número de casos notificados por asma em crianças, adolescentes e adultos, com destaque maior em crianças. Em relação aos idosos, contatou-se dois valores extremos (outliers) para o período chuvoso.

A sazonalidade pode estar associada a um aumento nas exacerbações de doenças respiratórias e, portanto, ocasionado o aumento nas internações hospitalares (ZILLMER et al., 2014). As mudanças climáticas favorecem a propagação de doenças infecciosas, principalmente em período frio e com alta úmido. Dias et al. (2020) observaram em seu estudo um incremento nas hospitalizações por asma com aumento da umidade relativa do ar em período mais chuvoso. De forma semelhante, na região norte do Brasil, Alfaia et al. (2018) encontraram associação entre as variáveis climáticas com o aumento de internações por asma.

**Figura 7** - Boxplot do número de casos de notificações por asma no período chuvoso e não chuvoso



Fonte: Dados da pesquisa. Salvador – BA, 2010-2015.

### 5.1.2 Poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos

A qualidade do ar é constantemente afetada pelo lançamento diário de poluentes de origem industrial e veicular. Este último desempenha um papel de destaque nos grandes centros urbanos, à medida que as indústrias afetam negativamente a qualidade do ar em regiões mais específicas, como as áreas industriais (CETESB, 2020).

Na região Metropolitana de Salvador é possível evidenciar regiões com maiores índices de poluição atmosférica, como o município de Salvador, com a poluentes oriundos dos veículos automotores e do polo industrial de Camaçari.

Através do monitoramento da qualidade do ar, por intermédio das estações de monitoramento, é possível avaliar continuamente e em tempo real, o nível da concentração de cada poluente presente na atmosfera, além da avaliação dos parâmetros meteorológicos. É importante ressaltar a importância dos fatores meteorológicos na determinação da qualidade do ar, pois estes podem favorecer ou não a dispersão dos poluentes.

A determinação da qualidade do ar está limitada a um grupo de poluentes consagrado universalmente como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar. A razão da escolha desses indicadores está relacionada à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que eles provocam à saúde humana e ao meio ambiente (CETESB, 2020).

A **Tabela 6** apresenta a estatística descritiva dos dados de monitoramento diário dos principais indicadores da qualidade do ar, previstos na Resolução CONAMA n.º 419/2018, que são: material particulado (MP<sub>10</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>), além de alguns parâmetros meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar (UR). Nessa Tabela está apresentado o valor mínimo, primeiro quartil (Q<sub>1/4</sub>), mediana, terceiro quartil (Q<sub>3/4</sub>), o valor máximo, o coeficiente de variação (CV), média ( $\bar{x}$ ) e o desvio-padrão ( $s$ ) para os dados.

**Tabela 6** - Estatística descritiva das variáveis poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos, Salvador, 2010-2015

	<b>Unid.</b>	$\bar{x} \pm s$	<b>Mínimo</b>	<b>Q<sub>1/4</sub></b>	<b>Mediana</b>	<b>Q<sub>3/4</sub></b>	<b>Máximo</b>	<b>CV</b>
MP <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	23,30 ± 15,20	<0,01	14,00	21,40	29,60	278,70	0,65
CO	ppm	0,40 ± 0,25	<0,01	0,24	0,39	0,55	2,77	0,61
NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	20,53 ± 10,28	<0,01	13,74	19,12	25,50	104,33	0,50
SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	1,07 ± 1,36	<0,01	<0,01	0,79	1,57	28,26	1,27
O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	17,79 ± 9,44	0,58	11,26	16,51	22,72	99,24	0,53
Temp	°C	25,73 ± 3,00	19,20	24,30	25,70	27,10	32,80	0,12
UR	%	74,71 ± 10,68	48,00	69,00	75,00	82,00	100,00	0,14

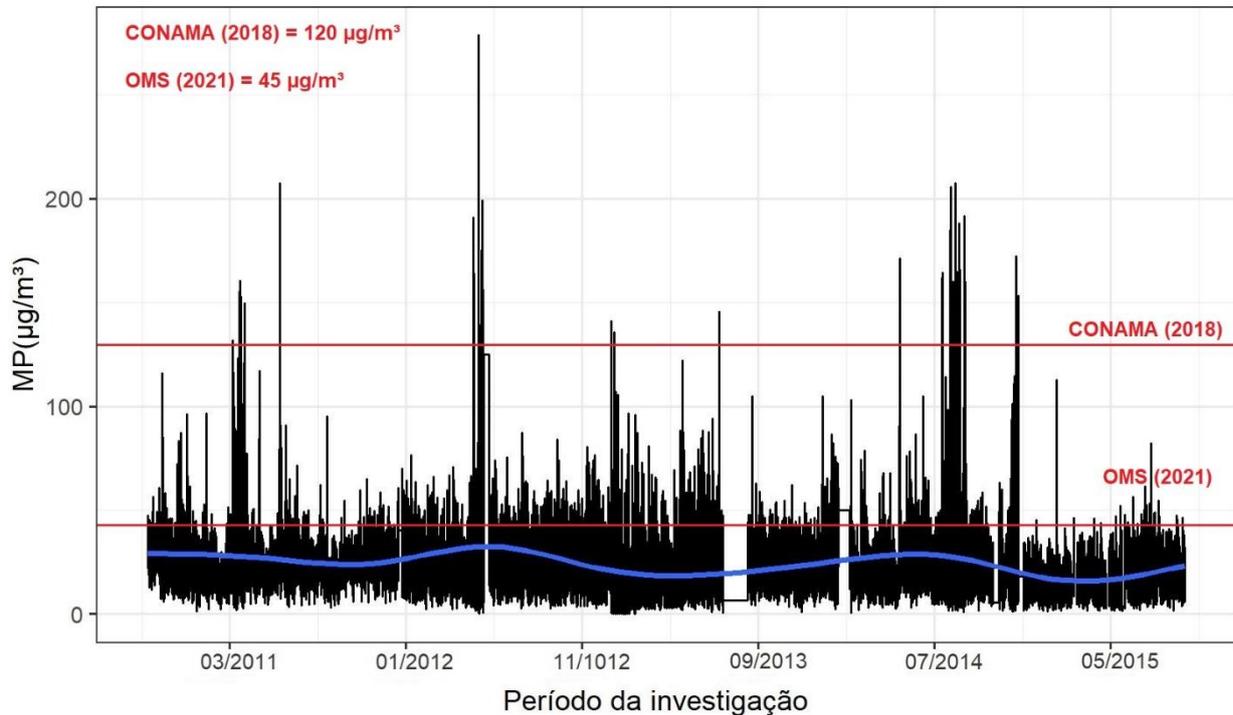
Fonte: Dados da pesquisa. Salvador – BA, 2010-2015.

Com base nos resultados apresentados na **Tabela 6**, verificou-se que o valor médio da concentração para o material particulado (MP<sub>10</sub>), durante o período de estudo, outubro de 2010 a agosto de 2015, correspondeu à 23,30 µg/m<sup>3</sup>, com valor mínimo e máximo de 27,53 µg/m<sup>3</sup> e 278,70 µg/m<sup>3</sup> respectivamente.

No gráfico da **Figura 8** é possível avaliar a variação da concentração do material particulado (MP<sub>10</sub>) para o período de estudo. Comparando os resultados apresentados com os limites máximos estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução n.º 419/18, verifica-se que em numerosos momentos a concentração do material particulado (MP<sub>10</sub>) ultrapassa o valor de referência estabelecido na primeira etapa das metas progressivas a ser atingida (PI-1 – Padrão de Qualidade do Ar intermediária) que corresponde a 120 µg/m<sup>3</sup> e os valores do Guia de Qualidade do Ar, recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que é de 45 µg/m<sup>3</sup> para este poluente. É importante destacar o valor máximo estabelecido pelo CONAMA para a última etapa das metas progressivas (PF) é de 50 µg/m<sup>3</sup>.

Através da linha de tendência, é possível observar um comportamento sazonal para o material particulado (MP<sub>10</sub>) que apresentam valores mais elevados no inverno, período em que as condições climáticas são mais desfavoráveis para a dispersão dos poluentes primários.

**Figura 8** - Gráfico da variação, média horária, da concentração do material particulado ( $MP_{10}$  -  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), outubro de 2010 a agosto de 2015



Fonte: Dados da pesquisa e elaborada pela autora. Salvador - BA, 2010-2015.

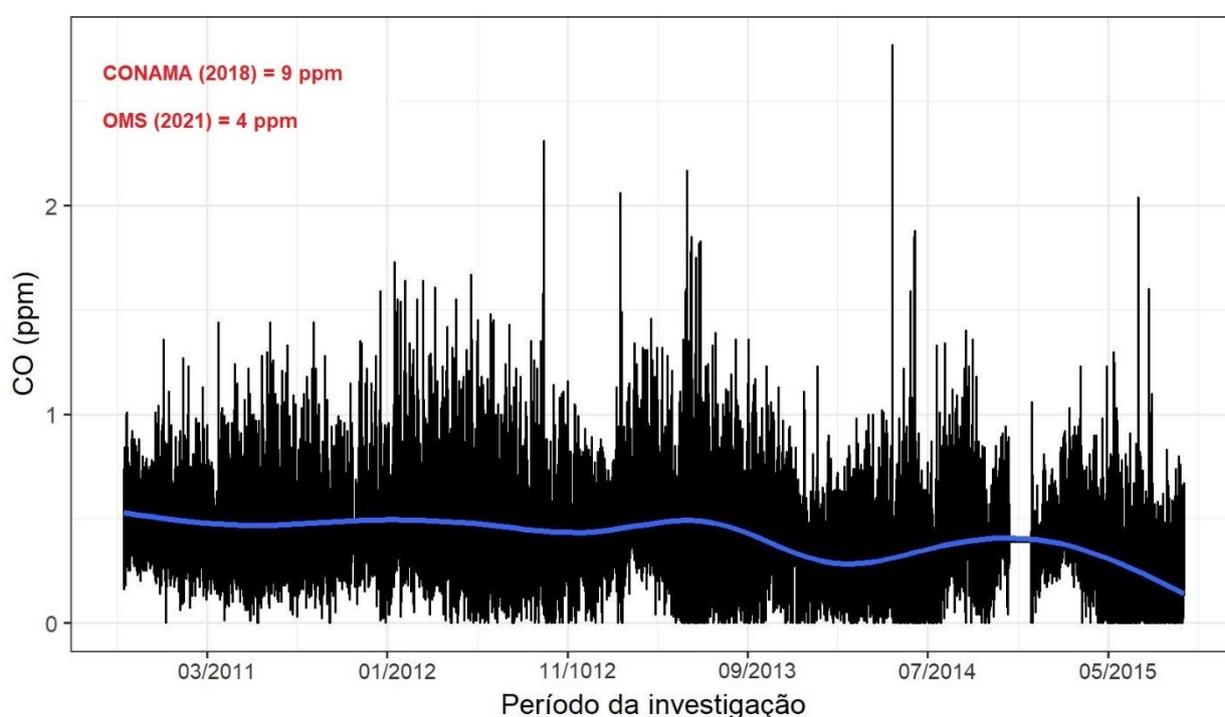
Na análise do monóxido de carbono (CO), verifica-se, por meio dos resultados apresentados na **Tabela 6**, que o valor médio para a concentração, no período de estudo, foi de 0,4 ppm. A **Figura 9** apresenta o gráfico da série temporal para concentração da média horária do monóxido de carbono (CO). Por meio deste, observou-se uma baixa variação na concentração, com valores que oscilando entre <0,01 e 2,77 ppm. De acordo com as diretrizes de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial de Saúde – OMS em 2021, o limite máximo para o CO é de 4 ppm, enquanto o valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 419/18 é de 9 ppm. Portanto, pode-se observar que este poluente atende aos valores previstos pela legislação brasileira e pelas diretrizes da OMS.

Situação semelhante também ocorreu no estado de São Paulo. Com base nas informações apresentadas pela CETESB (2020), observou-se que, desde 2008, nenhuma das estações de monitoramento da qualidade do ar ultrapassou o padrão de qualidade do ar de 8 horas para o monóxido de carbono (9 ppm). Verificou-se também que a qualidade do ar foi classificada, de acordo com Índice de Qualidade do Ar (IQA),

como BOA em todas as medições realizadas em 2020 nas 15 estações que monitoramento da qualidade do ar.

A CETESB (2020) informou que as concentrações de monóxido de carbono (CO) vêm diminuindo ao longo dos anos. Isso se deve à renovação da frota veicular existente, pois os novos veículos emitem menos poluentes devido aos novos avanços tecnológicos relacionadas à combustão e controle de emissões.

**Figura 9** - Gráfico da variação, média horária, da concentração do monóxido de carbono (CO – ppm), outubro de 2010 a agosto de 2015



Fonte: Dados da pesquisa. Salvador - BA, 2010-2015.

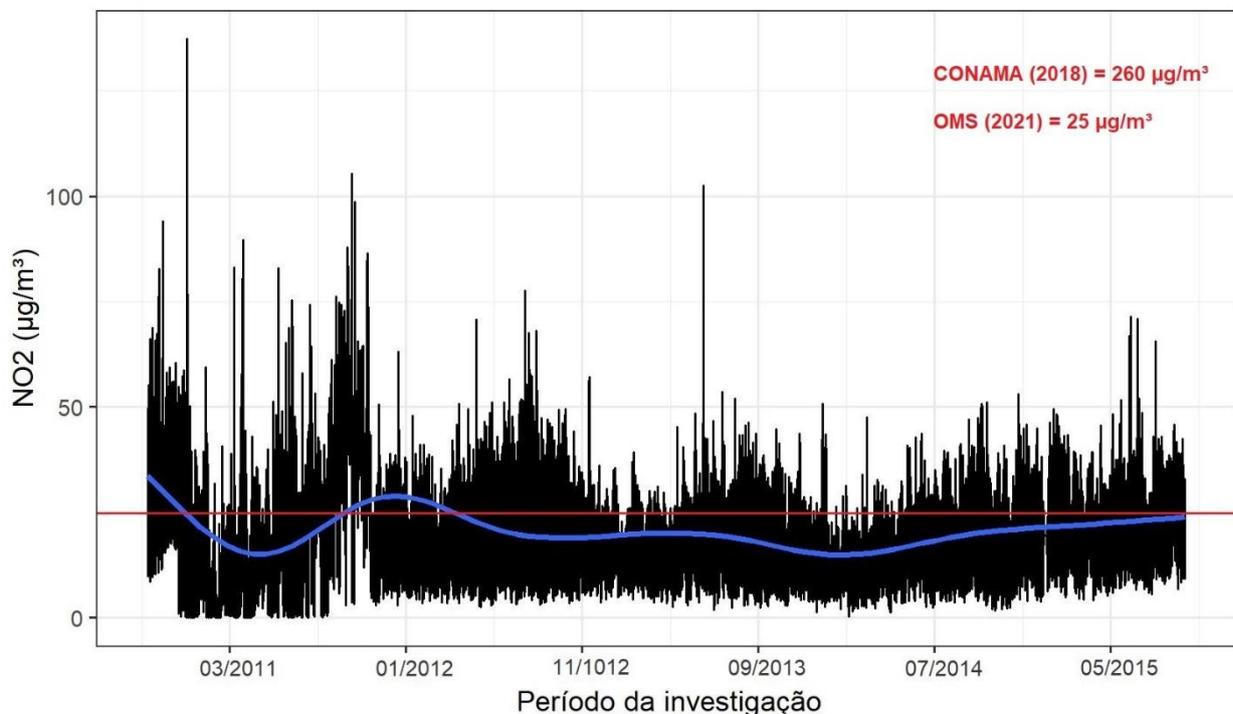
O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece na primeira etapa das metas progressivas (PI-1), para o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), um limite máximo, para média horária, de 260 µg/m<sup>3</sup>, e para médias anuais, valor de 60 µg/m<sup>3</sup>. Para este mesmo poluente, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece um limite máximo de 25 µg/m<sup>3</sup> para um período de 24 h e um limite máximo de 10 µg/m<sup>3</sup> para média anual.

Avaliando os resultados apresentando na **Tabela 6** para o NO<sub>2</sub> e a sua variação da concentração através do gráfico de séries temporais apresentado na **Figura 10**,

observou-se que os níveis de concentração de  $\text{NO}_2$  durante o período de estudo não ultrapassaram o limite máximo estabelecido pelo CONAMA para concentração média horária e concentração média anual. Com relação aos limites estabelecidos nas diretrizes da OMS para a qualidade do ar, verificou-se que este poluente ultrapassou os valores estabelecidos para o período de 24 h e a média anual.

De acordo com os resultados apresentados no relatório anual de monitoramento da qualidade do ar do estado de São Paulo, as medições de dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) mostraram que, em 2020, não ultrapassaram o limite máximo estabelecido pelo CONAMA, registrando uma máxima de  $226 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em uma de suas estações (CETESB, 2020). Da mesma forma, o último relatório de monitoramento da qualidade do ar para a região metropolitana do Rio de Janeiro fornecido pelo INEA em 2020 mostra que todas as estações atendem aos limites estabelecidos pelo CONAMA 419/18 para curto prazo (média horária), apontando uma máxima de  $247 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (INEA, 2020).

**Figura 10** - Gráfico da variação, média horária, da concentração do dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2 - \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), outubro de 2010 a agosto de 2015



Fonte: Dados da pesquisa. Salvador - BA, 2010-2015.

No gráfico da variação da concentração do  $\text{NO}_2$  (**Figura 10**), a linha de

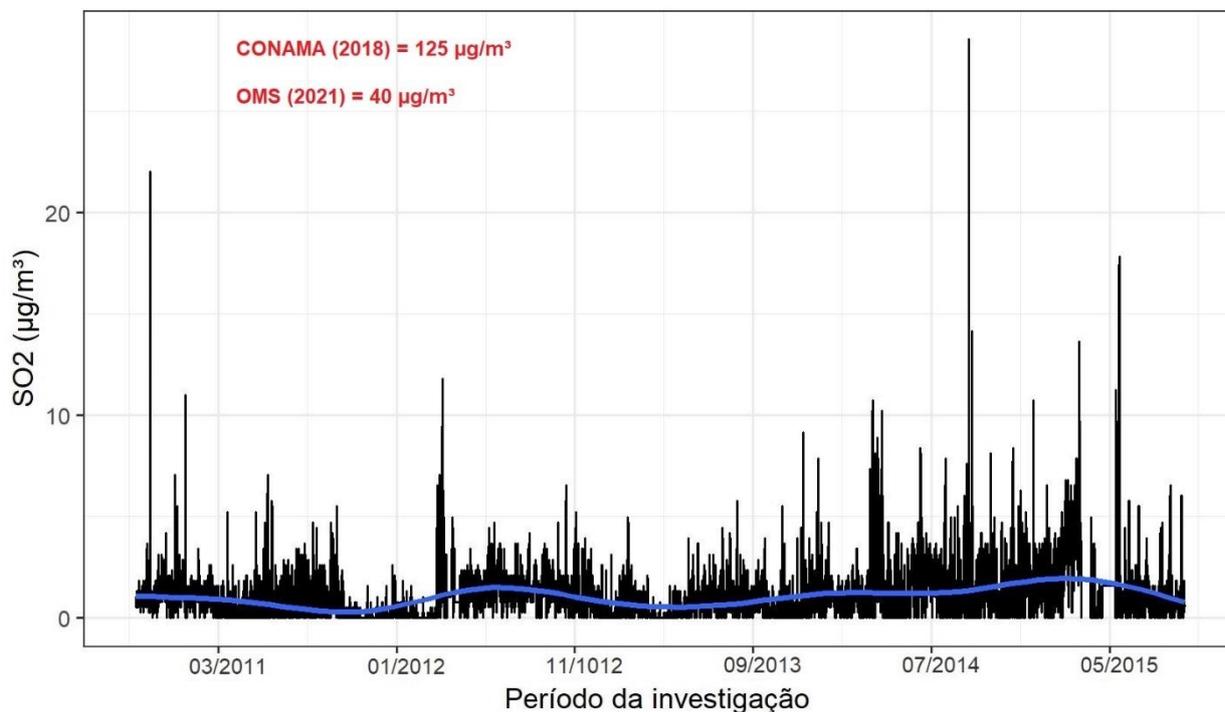
tendência mostra um comportamento sazonal com menores concentrações no inverno (março a agosto). É importante ressaltar que os parâmetros climáticos são fundamentais na determinação do comportamento dos poluentes no ar. No inverno, por exemplo, a precipitação pluviométrica além remover os poluentes da atmosfera que foram incorporados à água da chuva, promove também um aumento da instabilidade na atmosfera, favorecendo a difusão dos poluentes e reduzindo assim sua concentração na atmosfera (CETESB, 2020).

Na avaliação do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), conforme verificado pela **Tabela 6**, a concentração desse poluente apresentou valor mínimo próximo a zero (<0,010) e valor máximo de 28,26 µg/m<sup>3</sup> no período de estudo. Através do gráfico de séries temporais (**Figura 11**), pode-se verificar o comportamento da variação dos níveis de concentrações deste poluente. Comparando os resultados apresentando com o limite máximo previsto na primeira meta (PI - 1) estabelecida na Resolução CONAMA 419/18, verificou-se que o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) não descumpriu com o que preconiza a legislação brasileira que estabelece como valor de referência máximo de 125 µg/m<sup>3</sup>. Contudo, comparando com o valor estabelecido na etapa final (PF), desta mesma Resolução, que é de 20 µg/m<sup>3</sup>, verificou-se uma ultrapassagem no mês de outubro de 2010 e outra em agosto de 2014. Observou-se também que para o período de estudo, este poluente não ultrapassou os valores do Guia de Qualidade do Ar, recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que é de 40 µg/m<sup>3</sup>.

Ao avaliar outras regiões do Brasil, o relatório apresentando pela CETESB (2020) confirmou que os níveis de concentrações para dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) no estado de São Paulo não ultrapassaram os limites máximos previstos pelos padrões de qualidade do ar (PQAr) diário e anual. No mesmo documento, verifica-se ainda que o nível deste poluente vem diminuindo ao longo dos anos. Essa mitigação se deve principalmente ao maior controle exercido sobre as fontes estacionárias de emissões, além da melhoria da qualidade dos combustíveis derivados do petróleo por meio da redução do teor de enxofre presente neles.

Já na região metropolitana do Rio de Janeiro, foi possível verificar no último relatório de qualidade do ar divulgado pelo INEA em 2020, foi possível verificar a qualidade do ar de treze (13) estações de monitoramento, das quais apenas uma verificou concentrações acima dos valores de referência estabelecidos pela legislação para o meio ambiente.

**Figura 11** - Gráfico da variação, média horária, da concentração do dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$  -  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), outubro de 2010 a agosto de 2015



Fonte: Dados da pesquisa e elaborada pela autora. Salvador - BA, 2010-2015.

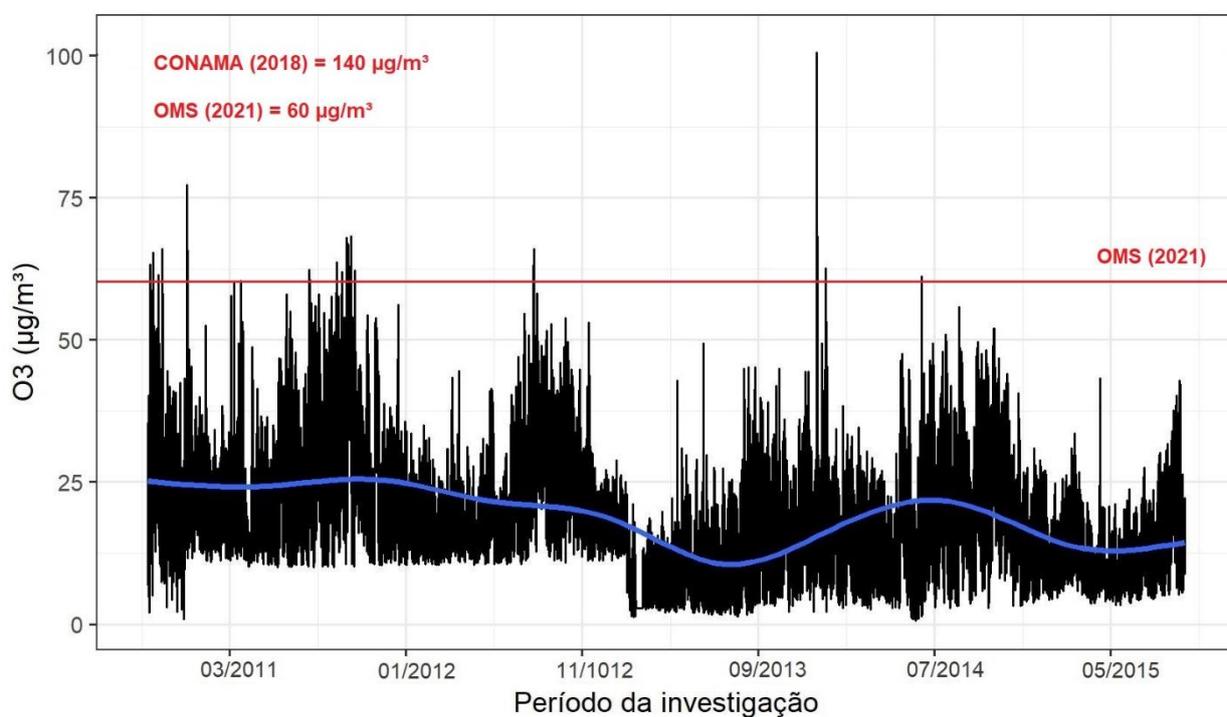
Em relação ao ozônio ( $\text{O}_3$ ), durante o período de estudo, observou-se o valor mínimo e máximo observado foi 0,58 e 102,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, com valor médio de 17,70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e coeficiente de variação de 0,53, conforme **Tabela 6**. É possível verificar através do gráfico de séries temporais (**Figura 12**) que não há registros de valores acima do limite máximo previsto na primeira etapa das metas progressivas (PI-1) contida na Resolução CONAMA 419/2018, que é de 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Já com relação aos valores do Guia de Qualidade do Ar, recomendados pela OMS em 2021, é possível observar que, no período de estudo, a concentração do ozônio ( $\text{O}_3$ ) ultrapassou o valor de referência que é de 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Um padrão sazonal também é observado no gráfico da variação média horária do ozônio ( $\text{O}_3$ ) mostrado na **Figura 12**, com valores maiores durante os períodos mais quentes. Segundo a CETESB (2020), isso ocorre porque o ozônio se comporta de maneira diferente dos principais poluentes, pois é formado na atmosfera por meio de reações fotoquímicas que dependem da radiação solar e de alguns outros fatores. Com isso, as concentrações de ozônio tendem a ocorrer com maior periodicidade nos

períodos mais quentes, onde a incidência de radiação solar é maior e, assim, favorece a formação de ozônio.

É importante ressaltar que compostos orgânicos voláteis (VOCs) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) são precursores da formação de ozônio durante processos fotoquímicos. Portanto, controlar as emissões desses poluentes primários (VOC e NO<sub>x</sub>) reduz a formação de poluentes secundários como o ozônio (O<sub>3</sub>).

**Figura 12** - Gráfico da variação, média horária, da concentração do ozônio (O<sub>3</sub> - µg/m<sup>3</sup>), outubro de 2010 a agosto de 2015



Fonte: Dados da pesquisa. Salvador - BA, 2010-2015.

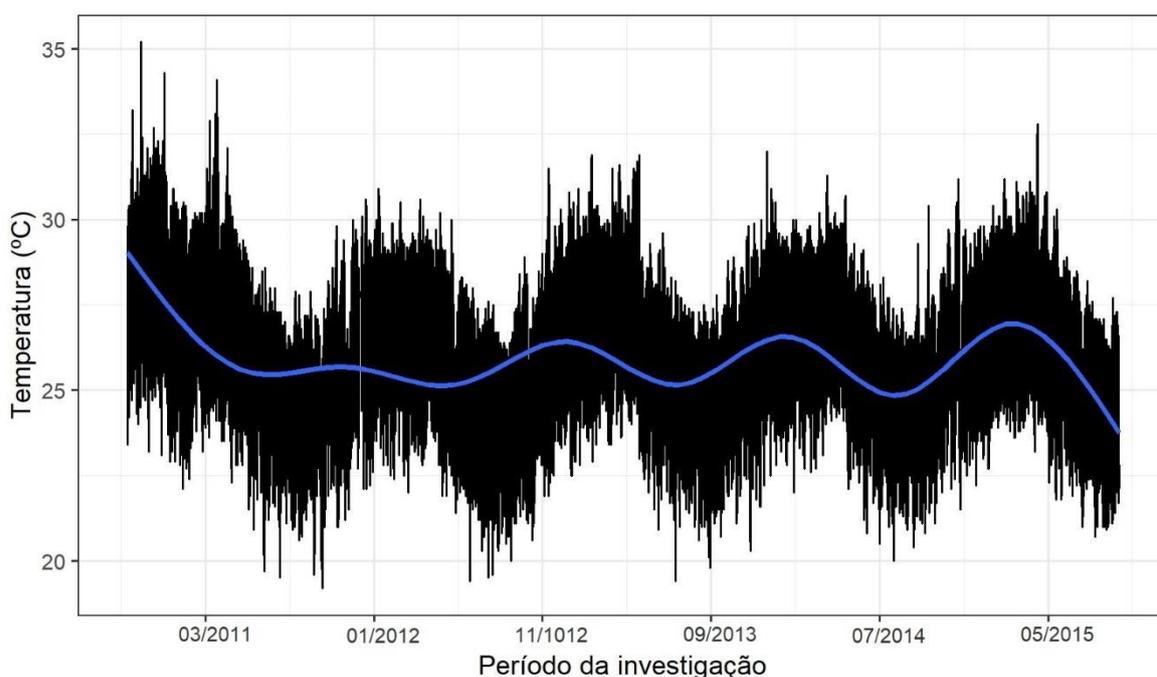
Analisando a estatística descrita para as variáveis climáticas, temperatura e umidade relativa do ar na **Tabela 6**, é possível observar que o desvio-padrão (s), o coeficiente de variação (CV) e a diferença entre os valores máximos e mínimos não apresentam grande variabilidade.

Em relação aos valores médios mensais de temperatura durante o período de estudo, a **Tabela 6** mostra um valor mínimo e máximo de 19,20 °C e 32,20 °C, respectivamente, com média de 25,73 °C e coeficiente de variação de 0,12. Observou-se que Salvador apresenta temperaturas relativamente altas e com poucas variações.

No gráfico da variação média horária, apresentado na **Figura 13**, para o período

de outubro de 2010 a agosto de 2015, observa-se um padrão sazonal com temperaturas mais amenas no inverno, que compreende ao período de junho a setembro, e temperatura mais elevadas nos meses de dezembro a março, que corresponde o verão.

**Figura 13** - Gráfico da variação, média horária, da temperatura ( $^{\circ}$  C), outubro de 2010 a agosto de 2015



Fonte: Dados da pesquisa. Salvador - BA, 2010-2015.

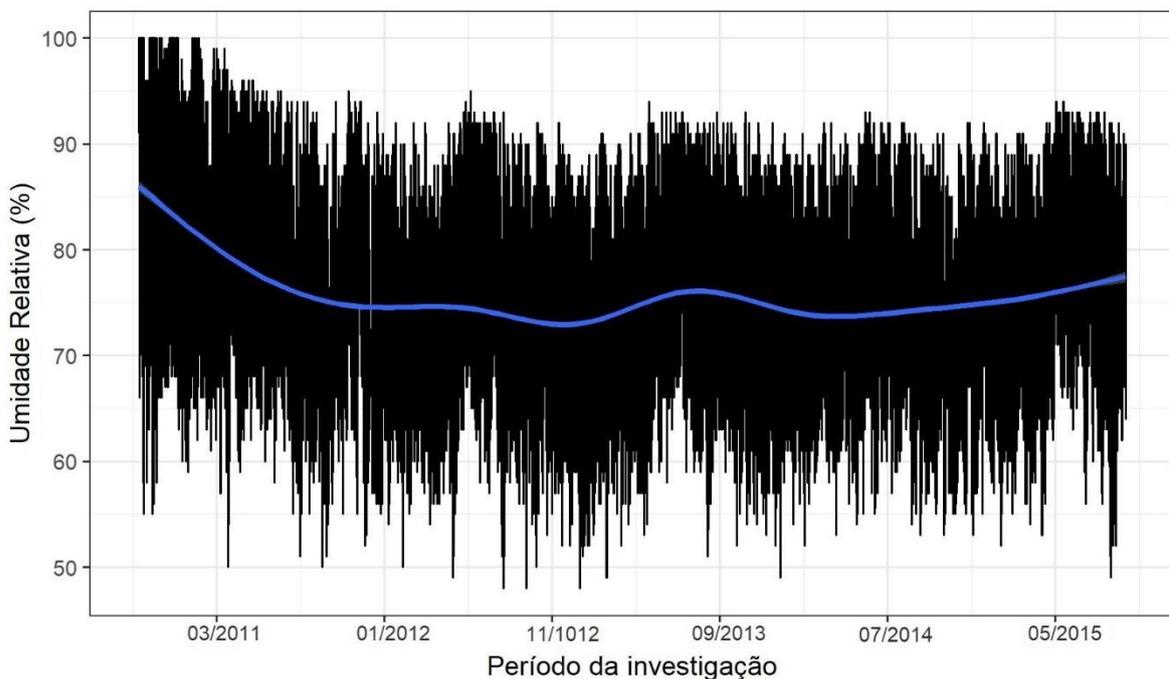
Comparando os gráficos das **Figuras 5 e 13**, observa-se que existe uma relação entre o número de notificações por asma e a temperatura. Pode-se observar que o número de casos por asma em Salvador é maior no período de temperaturas mais baixas. Para o estudo desenvolvido por Dias et al. (2020), em crianças e adolescentes na cidade de Belo Horizonte, MG, observou-se um aumento nas internações por asma com o aumento da umidade do ar, ocasionado pelo período chuvoso.

Embora Salvador seja considerada uma cidade quente, com temperatura média anual em torno de  $25^{\circ}$  C e com pouca variação ao longo do ano, o gráfico da **Figura 14** mostra que a umidade relativa do ar é elevada, apresentando valor mínimo e máximo de 48 e 95% respectivamente e valor médio de 74,71% conforme mostra a **Tabela 6**.

Alguns estudos mostraram uma relação entre as mudanças sazonais e o

aumento de casos por problemas respiratórios. Parâmetros meteorológicos como umidade relativa, temperatura e precipitação associados a poluentes atmosféricos são os principais fatores que aumentam o risco de hospitalização e morte por doenças respiratórias em todo o mundo (LAM, et al., 2016; LEE, JIN, LEE, 2016; ISLAM, CHAUSSALET, KOIZUMI, 2017; O'LENICK, et al.; 2017; MORAES, et al., 2019; THAM, et al., 2017).

**Figura 14** - Gráfico da variação, média horária, da umidade relativa do ar (%), outubro de 2010 a agosto de 2015



Fonte: Dados da pesquisa. Salvador - BA, 2010-2015.

A **Tabela 7** mostra as correlações calculadas entre as variáveis número de notificações por asma e as concentrações das médias mensais de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{MP}$ ,  $\text{NO}_2$ , temperatura e umidade relativa do ar. Observa-se que, conforme esperado, a variável Asma se correlaciona positivamente com as covariáveis  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{MP}$ ,  $\text{NO}_2$  e Umidade relativa do ar. Em relação à temperatura, verificou-se uma correlação negativa com o número de casos de notificações por asma, ou seja, a diminuição da temperatura provoca um aumento de casos por asma. Na pesquisa conduzida por Dias et al. (2020), com a finalidade de analisar o impacto dos fatores climáticos na internação por asma, verificaram que o número de casos por asma aumenta com o aumento da umidade relativa do ar e a diminuição da temperatura. Embora tenha

havido uma relação positiva entre as covariáveis estudadas, posteriormente foi verificado pela análise de regressão que não houve problemas relacionados à multicolinearidade.

**Tabela 7** - Matriz de correlação linear entre as variáveis Asmas, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, MP<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, Temperatura e Umidade.

<b>Parâmetros</b>	<b>Asma</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>MP</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Temp</b>	<b>Umid.</b>
Asma	1,000	-0,058	0,386	0,380	0,398	0,235	-0,275	0,110
SO <sub>2</sub>	-	1,000	-0,232	-0,089	-0,121	0,148	0,068	-0,051
CO	-	-	1,000	0,250	0,180	0,101	0,173	0,091
O <sub>3</sub>	-	-	-	1,000	0,374	0,451	-0,372	0,019
MP	-	-	-	-	1,000	0,044	-0,085	0,238
NO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	1,000	-0,351	0,124
Temp	-	-	-	-	-	-	1,000	0,217
Umid	-	-	-	-	-	-	-	1,000

Fonte: Dados da pesquisa. Salvador – BA, 2010-2015.

## 5.2 MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO

Neste subtópico, apresentamos os resultados obtidos a partir do ajuste do modelo de regressão de Poisson aos dados da pesquisa. Os métodos empregados neste estudo são semelhantes aos aplicados em outros estudos nacionais e internacionais que avaliam os efeitos da poluição atmosférica e parâmetros climáticos na incidência de doenças respiratórias, incluindo a asma (CÉSAR, et al., 2016; CHEN, et al., 2016; DIAS, et al., 2016; DING; et al. 2017; NASCIMENTO et al., 2017; MACHIN, BOUAZZ, 2018; COSTA, 2018; KUO et al.; 2018; MENEZES, KUO et al., 2019; PAVANITTO; NASCIMENTO, 2019; HU, et al., 2020, ALBALAWI et al.; 2021; ÇAPRAZ;

DENIZ, 2021, HAZLEHURST, et al., 2021; MORPHEW, et al., 2021; NADALI et al., 2021; PINI et al., 2021; DEARBORN, 2022; HU et al. 2022).

### 5.2.1 Asma em Crianças (0 a 9 anos)

Em um estudo de modelagem, variáveis independentes devem ser adicionadas ao modelo final apenas se forem estatisticamente significativas para o comportamento das variáveis explicativas. Portanto, neste estudo, para garantir que apenas variáveis importantes fossem incluídas no modelo, testes de seleção de variáveis foram realizados a um nível de significância de 5%. A partir dos resultados apresentados na **Tabela 8**, as variáveis que se mostraram estatisticamente significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) no modelo de regressão de Poisson ajustado para dados de notificação de asma em crianças ( $\leq 9$  anos) foram: monóxido de carbono (CO), material particulado (MP<sub>10</sub>), temperatura e umidade relativa.

**Tabela 8** - Variáveis significativas para o modelo de regressão de Poisson para os dados de notificações de asma em crianças

Variáveis	Parâmetros Estimados	Erro Padrão	p-valor	RR
Intercepto	4,870745	0,649480	$< 0,001$	-
CO	1,617063	0,284306	$< 0,001$	5,03827
MP <sub>10</sub>	0,014982	0,003121	$< 0,001$	1,01509
Temperatura	-0,150224	0,022200	$< 0,001$	0,86052
Umidade	0,018776	0,007775	0,0157	1,01895

Pseudo-R<sup>2</sup> = 0,60

AIC = 360,87

Fonte: Dados da pesquisa. Salvador – BA, 2010-2015.

Conforme os resultados na **Tabela 8**, obteve-se o seguinte modelo de regressão para auxiliar a tomada de decisão quanto aos casos de notificações por asma em crianças:

$$\log(\hat{y}) = 4,871 + 1,617 \text{ CO} + 0,015MP_{10} - 0,150 \text{ Temperatura} + 0,019 \text{ Umidade}$$

O coeficiente de determinação ajustado (pseudo-R<sup>2</sup> ou pseudo R-squared) é uma importante medida de ajuste, utilizado para comparação entre diferentes modelos que se baseia no mesmo banco de dados. Através dele é possível verificar quantos porcentos da variação dos dados pode ser explicado pelas variáveis preditoras. Neste estudo, para os casos de notificações por asma em crianças, observou-se um pseudo-R<sup>2</sup> = 0,60. Isso significa que as variáveis preditoras explicam aproximadamente 60% da variabilidade dos casos de notificações por asma em crianças e, portanto, representando um bom resultado.

As estimativas encontradas para o modelo final de regressão de Poisson foram interpretadas pelo Risco Relativo (RR). Os resultados dos cálculos estão apresentados na **Tabela 8**.

Analisando a estimativa encontrada para o monóxido de carbono (CO) aos casos de notificações por asma em criança, no ajuste do modelo de regressão de Poisson, tem-se:  $\exp(\beta_{CO}) = \exp(1,617063) = 5,03827$ . Isso significa que, mantidos fixos os valores das demais variáveis, o aumento de 1 ppm na concentração do CO ocasiona o aumento em 5,04 na chance de uma criança ser hospitalizada por asma.

Embora o monóxido de carbono (CO) não tenha ultrapassado os limites estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme indicado pela análise exploratória, esse poluente tem sido associado ao aumento de internações por asma em crianças, adolescentes e idosos, conforme resultados das **Tabelas 8, 9 e 10**, respectivamente. Deve-se destacar que o impacto da poluição do ar na saúde humana depende não apenas do nível de concentração dos poluentes, mas também do tempo de exposição. Vale ressaltar que crianças, idosos e pessoas com asma ou doenças crônicas são os grupos mais vulneráveis à poluição do ar.

As evidências sobre os efeitos do monóxido de carbono (CO) e a exacerbação por asma são limitadas. Algumas revisões sistemáticas e estudos de meta-análises mostraram que o poluente CO está associado positivamente com o aumento

prevalência e taxas de hospitalizações por asma em crianças (ZHANG, et al. 2016; ORELLANO et al., 2017; HAN; PAK; CHUNG, 2021). No estudo realizado em Xangai, cidade costeira no centro da China, foi observada associação entre monóxido de carbono (CO) e visitas hospitalares em crianças com asma (LIU et al., 2021). De forma semelhante, em Delhi, na Índia, com o nível de concentração abaixo do valor de referência estabelecido que Organização Mundial de Saúde (OMS) para o CO, Yadav et al. (2021) observaram que a exposição a esse poluente foi associada ao aumento das visitas diárias ao pronto-socorro em crianças com sintomas respiratórios agudos.

Com relação à estimativa encontrada para o material particulado ( $MP_{10}$ ), tem-se:  $\exp(\beta_{MP_{10}}) = \exp(0.014982) = 1,01509$ . Isso significa que, mantendo constantes os valores das demais variáveis analisadas, a cada  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aumento na concentração de material particulado, a chance de uma criança ser hospitalizada por asma aumentava em 2%.

Na literatura, foram encontrados vários estudos com achados semelhantes ao presente estudo (NEJJARI et al.; 2021; RODRIGUES; NATÁRIO, 2021; ÜNAL et al.; 2021; ZHANG et al., 2021; ZHAO et al.; 2021;). Em uma revisão realizada por Jang, Jun e Park (2016), observou-se que a exposição ao material particulado ( $MP_{10}$ ) aumentou significativamente as internações hospitalares por várias doenças respiratórias, incluindo asma, rinite alérgica e doenças das vias aéreas superiores e inferiores.

Din et al. (2017), em seu estudo na cidade de Chongqing, no sudoeste da China, que teve como objetivo avaliar o impacto da poluição do ar no aumento de visitas hospitalares por asma entre crianças, descobriram que a exposição de curto prazo ao material particulado (MP) levou a um aumento nas hospitalizações por asma. O mesmo foi observado no norte da Itália por meio do estudo de Pini et al. (2021) que verificou, no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, 1.050 registros clínicos de admissões por exacerbação por asma para avaliar sua associação com a poluição atmosférica. Ao final do estudo, através do modelo de regressão de Poisson, concluiu-se de que a exposição a curto prazo ao material partícula (MP) desempenhou um papel crítico na indução de eventos de exacerbação da asma, o que aumentou as internações em pronto-socorro.

Em um estudo realizado na cidade de Casablanca, na região oeste de Marrocos, Nejjari et al. (2021) objetivou avaliar os efeitos a curto prazo dos principais poluentes atmosféricos na população exposta. Usando o modelo de regressão de Poisson, eles

identificaram associação entre o material particulado (MP<sub>10</sub>) e aumento nas admissões no pronto-socorro por doenças respiratórias e cardíacas e um aumento nas consultas de asma (12% em crianças menores de 5 anos e 2% em crianças acima de 5 anos e adultos).

Rodrigues, Natário e Martins (2021) propuseram avaliar os efeitos das variáveis ambientais em relação ao número de internações por asma na região metropolitana de Lisboa, Portugal, utilizando o modelo aditivo generalizado (MAG) com distribuição de Poisson, para o período de 2009 a 2015. Ao final do estudo, eles observaram que o material particulado (MP<sub>10</sub>) estava associado a um aumento de 2% (RR = 1,02) no risco de hospitalização.

Em relação a variável climática Temperatura, analisando a estimativa encontrada,  $\exp(\beta_{Temperatura}) = \exp(-0,150224) = 0,86052$ , verificou-se que a diminuição em 1 °C na temperatura de Salvador pode provocar o aumento em 14% no número de internações por asma em crianças, quando mantido fixos os valores das demais variáveis explicativas.

Verificando a estimativa encontrada para a variável Umidade, tem-se:  $\exp(\beta_{Umidade}) = \exp(0,018776) = 1,01895$ . Esse resultado significa que, mantendo as outras variáveis constantes, o aumento em 1% na umidade relativa do ar leva a um aumento de 2% no número de interações em crianças por asma.

Estudos recentes têm evidenciado uma associação entre a exposição a riscos ambientais, como parâmetros climáticos e poluição atmosférica, ao aumento de exacerbação por asma na infância (CHEN et al., 2016; KUO et al., 2018; LI et al., 2016; ORELLANO et al., 2017; PAN et al., 2019; WEI et al., 2020; WISNIEWSKI et al., 2016; ZHANG et al., 2020, RODRIGUES, NATÁRIO, MARTINS; 2021). Alguns estudos realizados internacionalmente e no Brasil identificaram os fatores ambientais como os principais desencadeadores da asma infantil (DIAS et al., 2016).

Em estudo anterior, realizado por Lam et al. (2016) na cidade Hong Kong, na costa sul da China, encontraram associação entre temperatura e internações por asma em crianças e adultos. Pan e col. (2020) e Wei et al. (2020) descobriram recentemente que alguns parâmetros climáticos, como temperatura e umidade relativa do ar, aumentam o risco de hospitalizações por asma em crianças. Da mesma forma, Hu et al. (2020) observaram associações entre parâmetros climáticos e exacerbações de asma em crianças em Xangai, China, usando um modelo de regressão de Poisson. Na região metropolitana de Lisboa, observou-se um aumento de 4% (RR = 1,04) no

risco de internações por asma em crianças no período chuvoso, quando a umidade relativa do ar é maior (RODRIGUES, NATÁRIO, MARTINS, 2021).

### 5.2.2 Asma em Adolescentes (10 a 19 anos)

Conforme demonstrado na **Tabela 9**, as variáveis que apresentaram significância estatística ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) para o modelo de regressão de Poisson ajustado os dados sobre notificações por asma em adolescentes (10 a 19 anos) foram: monóxido de carbono (CO), Material Particulado (MP<sub>10</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>).

Comparando os diferentes modelos, verificou-se através do modelo de Regressão de Poisson um melhor coeficiente de determinação (pseudo-R<sup>2</sup>) com valor igual a 0,58. Isso quer dizer que o modelo explica cerca de 58% da variância da variável dependente (casos de notificações por asma em adolescentes) a partir das variáveis independentes incluídas no modelo.

**Tabela 9** - Variáveis significativas para o modelo de regressão de Poisson para os dados de notificações de asma em adolescentes

Variáveis	Parâmetros Estimados	Erro Padrão	p-valor	RR
Intercepto	-0,942367	0,448075	0,03545	-
CO	1,659390	0,911508	0,06868	5,256104
MP <sub>10</sub>	0,028801	0,008917	0,00124	1,029219
NO <sub>2</sub>	0,056315	0,017944	0,00170	1,057931

Pseudo-R<sup>2</sup> = 0,58

AIC = 229,88

Fonte: Dados da pesquisa. Salvador – BA, 2010-2015.

Quanto aos casos de notificações por asma em adolescentes, conforme os

resultados apresentados na **Tabela 9**, obteve-se o seguinte modelo:

$$\log(\hat{y}) = -0,942 + 1,659 \text{ CO} + 0,029 \text{ MP}_{10} + 0,056 \text{ NO}_2$$

Ao calcularmos o Risco Relativo (RR) das variáveis para o modelo de Regressão de Poisson, em relação aos casos de notificações por asma, em adolescentes, obtivemos os resultados apresentados na **Tabela 9**.

Ao analisar os valores estimados para o monóxido de carbono (CO), constatou-se que, mantendo-se constantes os valores das demais variáveis estudadas, o aumento em 1 ppm na concentração deste poluente, aumenta em 5,26 vezes as chances de internações por asma em adolescentes no município de Salvador, conforme apresentado nos resultados da **Tabela 9** ( $\exp(\beta_{CO}) = \exp(1,659390) = 5,256104$ ).

Estudos mais recentes evidenciam que a poluição atmosférica está associada ao aumento da incidência de asma, principalmente em crianças e adolescentes (DIN et al., 2017; THURSTON, et al., 2017; Nejjari et al., 2021; PINI, et al., 2021; RODRIGUES, NATÁRIO, MARTINS, 2021). Embora os efeitos adversos do CO em relação a asma tenham sido observados em alguns estudos, ainda existe uma limitação de pesquisa abordando este tema. Zhang et al. (2016) realizaram uma meta-análise levando em consideração 26 estudos. Ao final do estudo, eles constataram que a exposição de curto prazo à poluição atmosférica estava associada ao risco de hospitalização por asma em crianças e adolescentes (ORs igual a 1,01 para  $\text{MP}_{10}$  e igual a 1,14 para CO).

Avaliando a estimativa encontrada para o poluente material particulado ( $\text{MP}_{10}$ ), observou-se o valor do risco relativo (RR) de 1,029219 ( $\exp(\beta_{\text{MP}_{10}}) = \exp(0,028801) = 1,029219$ ) para o ajuste do modelo de regressão de Poisson para os casos internações por asma em adolescentes. Assim, o aumento de 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração do  $\text{MP}_{10}$ , aumenta em 3% a chance de internações por asma em adolescentes do município de Salvador. Este resultado corrobora com os estudos de Chen et al. (2016) e Orellano et al. (2017) que identificaram associação entre o material particulado ( $\text{MP}_{10}$ ) e exacerbações de asma em crianças e adolescentes de 0 a 17 anos.

Também foi observado que o dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) resultou em um aumento de 6% na chance de internações por asma em adolescentes ( $\exp(\beta_{\text{NO}_2}) = \exp(0,056315) = 1,057931$ ), quando conservado os valores das demais variáveis do modelo final. Resultados semelhantes foram observados no estudo realizado entre

2015 e 2016 em Hefei, capital da província de Anhui, China, por Zhang et al. (2019), para avaliar os efeitos da exposição de curto prazo à poluição do ar na hospitalização por asma em crianças e adolescentes. Através do modelo de regressão de Poisson, observou-se que o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) apresentou-se associado ao aumento de internações por asma em crianças. Da mesma forma, na cidade de Bursa, na região noroeste da Turquia, Ünal et al. (2021) constatou em sua pesquisa que o aumento das concentrações de dióxido de nitrogênio e material particulado estava associado ao aumento de hospitalizações por asma entre crianças e adolescentes de 0 a 18 anos.

De forma semelhante, um estudo mais recente conduzido por Dabrowiecki et al. (2022) nas três maiores aglomerações urbanas da Polónia, verificou que a exposição aos poluentes material particulado (MP<sub>10</sub>) e ao dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) foram associados a um aumento do risco de visita ao pronto-socorro devido à asma.

### **5.2.3 Asma em Adultos (20 a 59 anos)**

Neste estudo, não foi identificada uma associação da poluição do ar e parâmetros climáticos em relação aos casos de internações por asma em adultos, na cidade de Salvador – BA no período de estudo. É preciso ressaltar que crianças, adolescentes e idosos são mais vulneráveis aos efeitos da poluição. De acordo com o Global Burden of Disease Study, a asma representou aproximadamente 2,29% do total global entre crianças de 5 a 14 anos em 2019 (MURRAY et al., 2020).

Contraopondo aos achados do presente trabalho, Byrwa-Hill et al. (2020) examinaram a relação entre a poluição do ar e o risco de hospitalizações relacionadas à asma em crianças e adultos em Pittsburgh, Pensilvânia, de 2008 a 2013. Ao final do estudo, observaram que o monóxido de carbono (CO) foi estatisticamente significativo para adultos, com idades acima de 18 anos. É importante destacar que o monóxido de carbono (CO) está associado a diminuição da função pulmonar em adultos com asma (GOZUBUYUK et al., 2017; HALPIN et al., 2019).

### 5.2.4 Asma em Idosos (igual ou maiores de 60 anos)

A partir dos resultados apresentados na **Tabela 10**, para o modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados sobre notificações por asma em idosos ( $\geq 60$  anos), verifica-se que apenas a variável monóxido de carbono (CO) foi estatisticamente significativa ao nível exploratório de 5%. Comparando diferentes modelo, o melhor coeficiente determinação (pseudo- $R^2$ ) foi de 0,55, significando desta forma que o modelo explica cerca de 55% da variância no número de casos de notificações por asma em idosos a partir das variáveis independentes adicionadas ao modelo.

**Tabela 10** - Variáveis significativas para o modelo de regressão de Poisson para os dados de notificações de amas em idosos

Variáveis	Parâmetros Estimados	Erro Padrão	p-valor	RR
Intercepto	-0,1244	0,4316	0,7732	-
CO	2,4271	0,9729	0,0126	11,32599

Pseudo- $R^2 = 0,55$

AIC = 197,72

Fonte: Dados da pesquisa. Salvador – BA, 2010-2015.

Com base nos dados apresentados na **Tabela 10**, obteve-se o seguinte modelo de regressão para contribuir na tomada de decisão quanto aos casos de notificações por asmas em idosos:

$$\log(\hat{y}) = -0,1244 + 2,4271 \text{ CO}$$

Ao calcularmos o Risco Relativo (RR) das variáveis para o modelo de Regressão de Poisson em relação aos casos de notificações por asma em idosos, obtivemos os resultados apresentados na **Tabela 10**.

Analisando as estimativas encontradas no ajuste do modelo de regressão (**Tabela 10**), observou-se que o aumento de 1ppm nos níveis do monóxido de carbono (CO) provoca um aumento em 11,33 vezes nas chances de hospitalização por asma em idosos ( $\exp(\beta_{CO}) = \exp(2,4271) = 11,32599$ ).

Em Gyeonggi-do, Coreia do Sul, localizada na região noroeste do país, foi realizado um estudo entre 2007 e 2018 para avaliar o impacto da poluição do ar em pacientes com doença pulmonar crônica e asma usando um modelo aditivo generalizado com distribuição de Poisson. Da mesma forma, observou-se nos resultados que o aumento das concentrações de monóxido de carbono (CO) aumentou o risco de hospitalização, com associações mais fortes em idosos com 65 anos ou mais (HAN; PAK; CHUNG, 2021).

### 5.3 ANÁLISE DA ADEQUABILIDADE DO MODELO

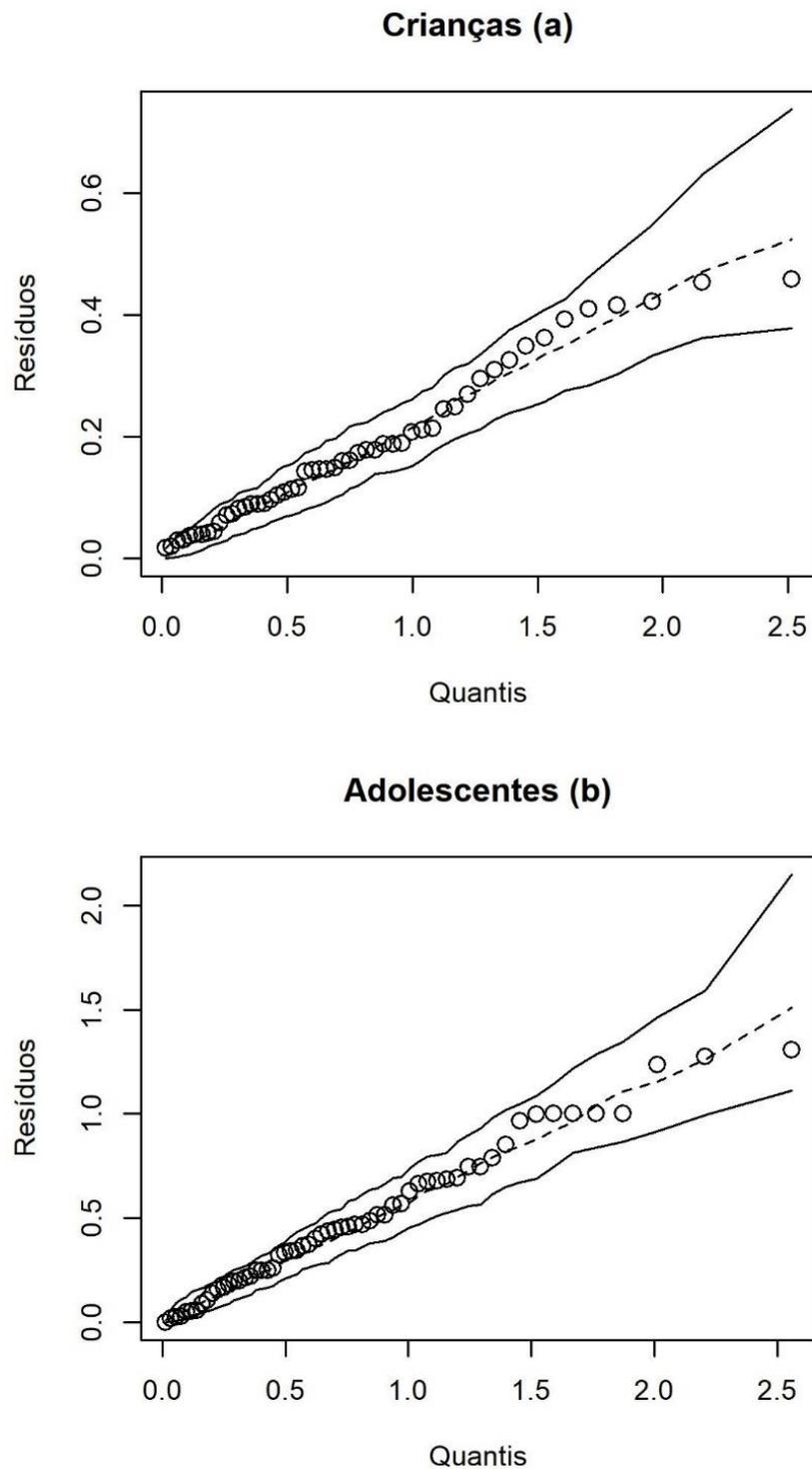
Na modelagem estatística, a análise diagnóstica dos resíduos compreende uma valiosa etapa na construção dos modelos de regressão, pois é através desta etapa que é possível verificar se as suposições feitas inicialmente sobre o modelo estão corretas, principalmente para o componente aleatório e para a parte sistemática do modelo, além de ser possível verificar a existência de observações discrepantes com alguma interferência desproporcional ou inferencial nos resultados do ajuste (PAULA, 2013).

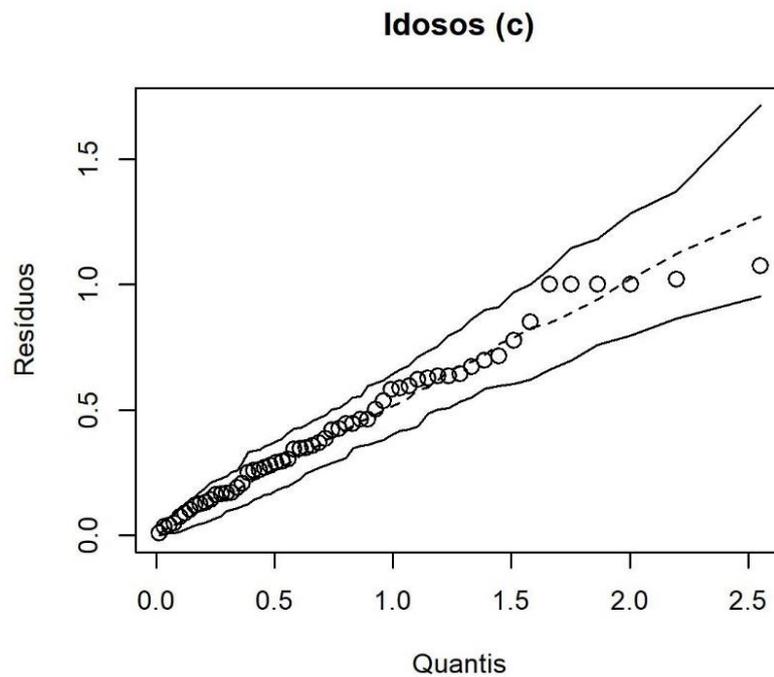
O gráfico de probabilidade normal com envelope simulado permite avaliar a adequação do modelo. Nesse tipo de representação gráfica, o padrão esperado para um modelo bem ajustado representa os resíduos distribuídos aleatoriamente entre as bandas de confiança. A presença de pontos fora do envelope ou de pontos internos apresentando algum padrão sistemático, podem indicar problemas no ajuste do modelo.

Na **Figura 15** está representando o gráfico normal de probabilidade referente ao modelo de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (**Figura 15 - a**), adultos (**Figura 15 - b**) e idosos (**Figura 15 - c**). De acordo com os gráficos, observa-se que não apresenta indícios de desvio da suposição de distribuição de Poisson para os casos de notificações por asma nas três faixas etárias, pois os

resíduos apresentam-se distribuídos de forma aleatória, sem aparente padrão sistemático, dentro das bandas de confiança, apresentando indicações de que o modelo está bem ajustado.

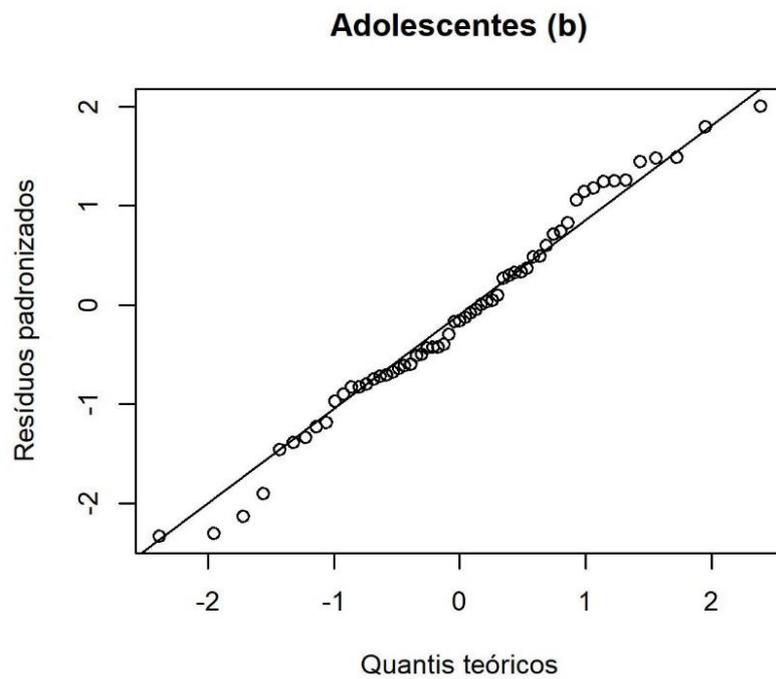
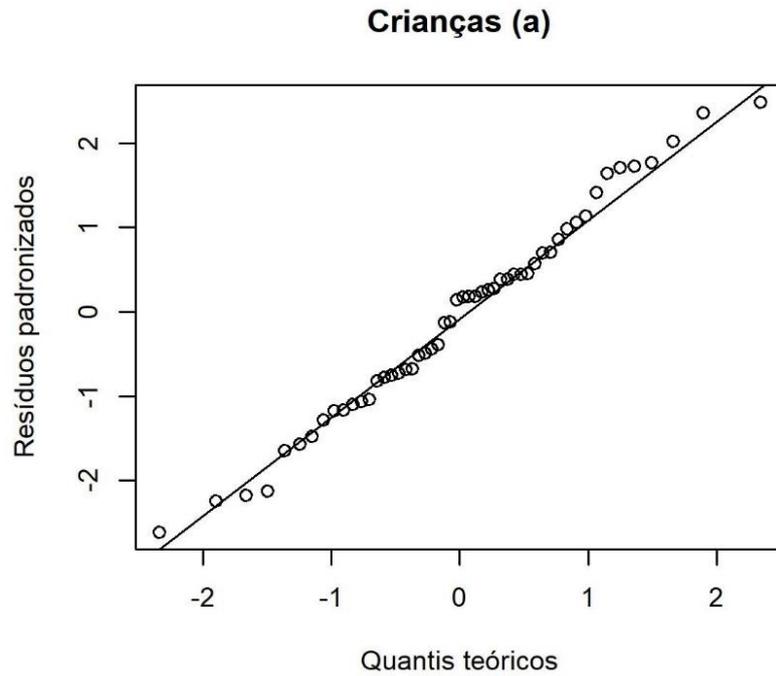
**Figura 15** - Gráfico normal de probabilidade referente ao modelo de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (a), adultos (b) e idosos (c)

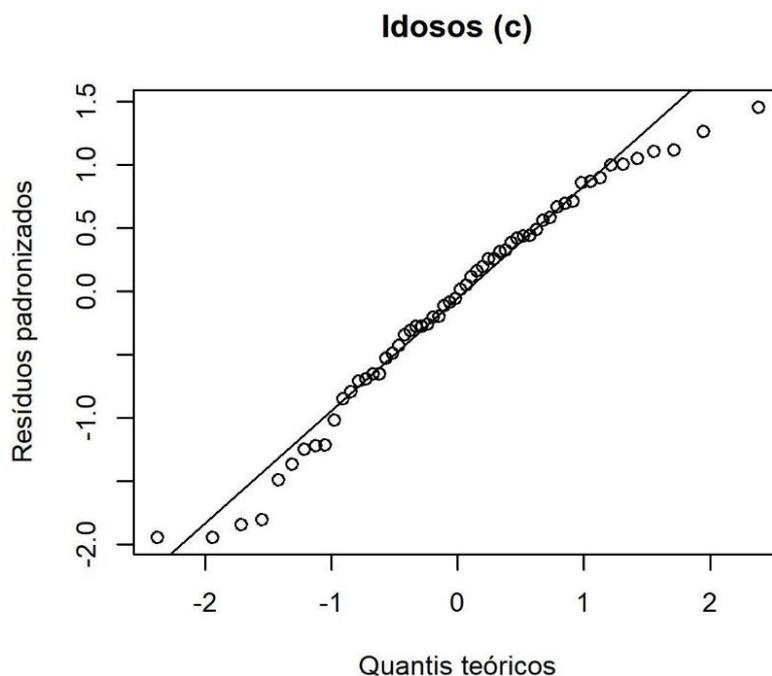




O gráfico normal Q-Q é utilizado para avaliar a pressuposição de normalidade dos resíduos e, caso não havendo normalidade, permite avaliar a forma da distribuição, além de indicar possíveis outliers. Neste tipo de representação gráfica, pontos bem próximos à reta e dispersos aleatoriamente, indicam a favor da suposição de normalidade. Na **Figura 16 (a), (b) e (c)**, através dos gráficos normais Q-Q, observam-se indícios de normalidade para os casos de notificações por asma em crianças, adolescente e idosos.

**Figura 16** - Gráfico normal Q-Q referente ao modelo de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (a), adultos (b) e idosos (c)



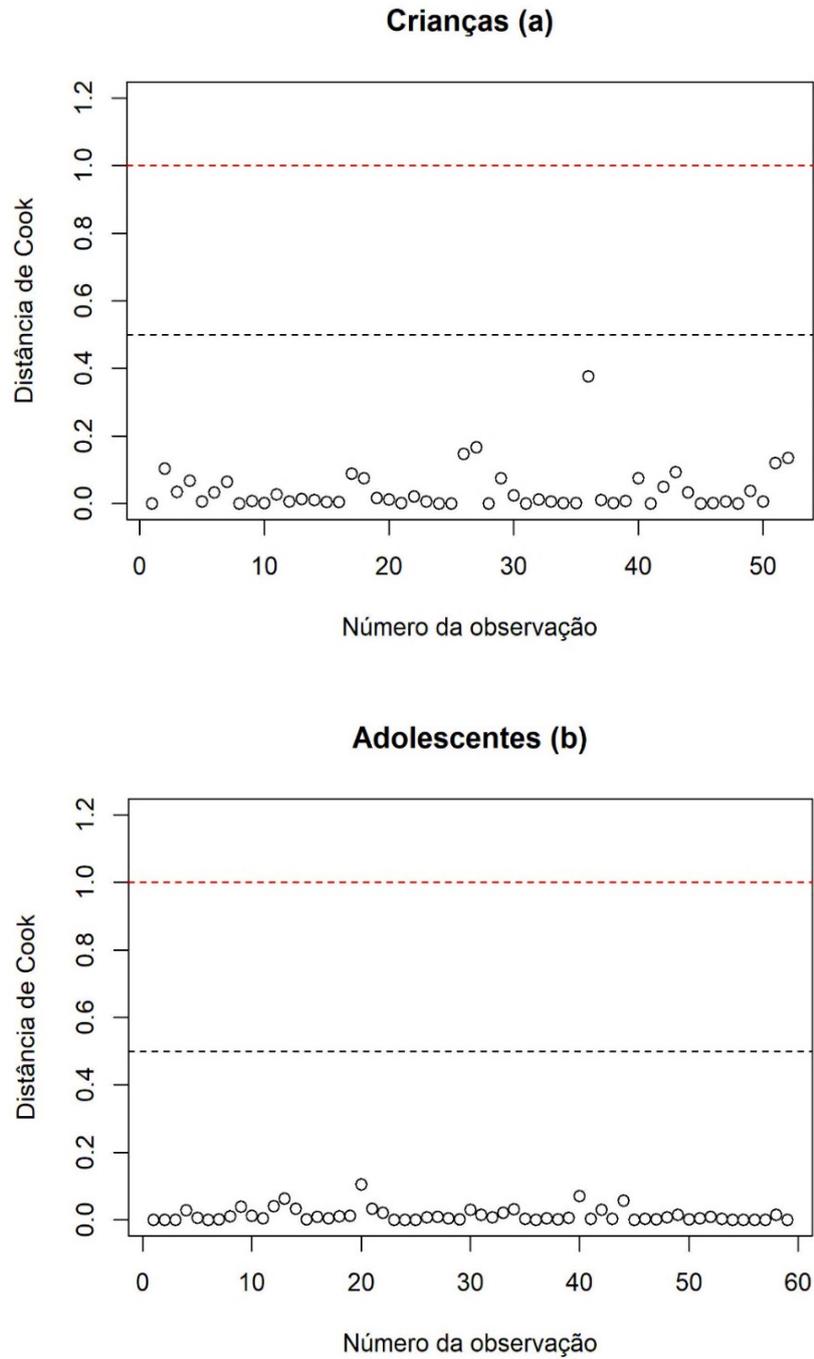


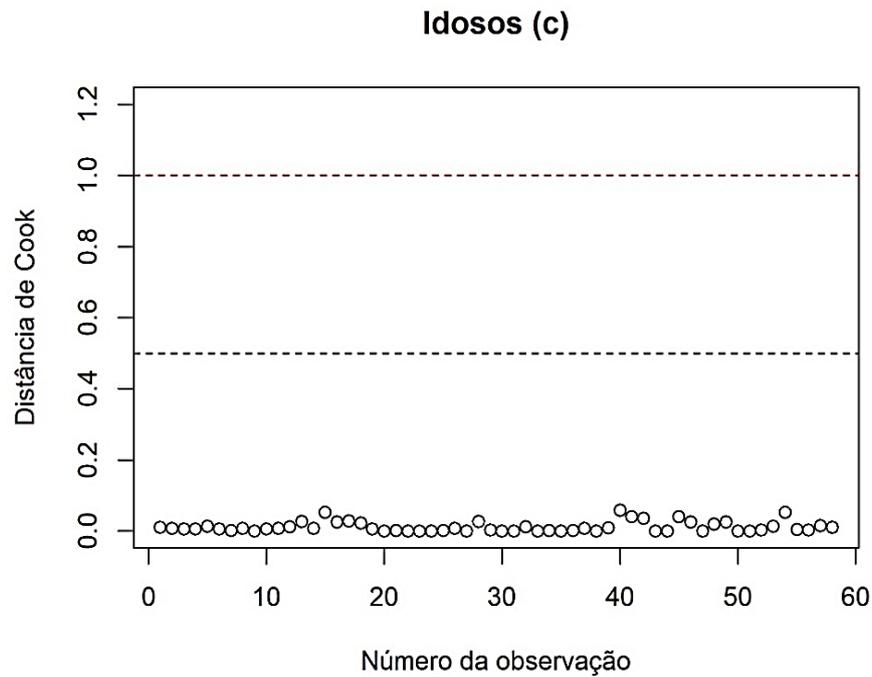
O gráfico de resíduos versus valor ajustado é comumente utilizado para verificar a suposição de linearidade, além da presença de dados atípicos (outliers).

As técnicas de diagnósticos para os modelos de regressão são importantes, porque aspectos importantes de um modelo podem ser confundidos em razão de apenas de uma observação. Entre os vários métodos e representações gráficas propostos para identificar observações influentes, podemos citar a distância de Cook.

A **Figura 17** estão representados os gráficos da distância de Cook versus índice das observações para o modelo de regressão de Poisson aos casos de notificações por asma em crianças, adolescentes e idosos. Através da distância de Cook é possível detectar a presença de observações que podem interferir nas estimativas dos parâmetros levando a resultados errôneos. Observações com valores elevados para essa medida devem ser analisadas cuidadosamente. Na literatura, há mais de uma opinião a respeito de qual ponto de corte utilizar para detectar observações influentes. Alguns sugerem valores menores do que 1, já outros consideram valores altos, acima de 0,5.

**Figura 17** - Gráficos das distâncias de Cook para o modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados de notificações por asma em crianças (a), adolescentes (b) e idosos (c)

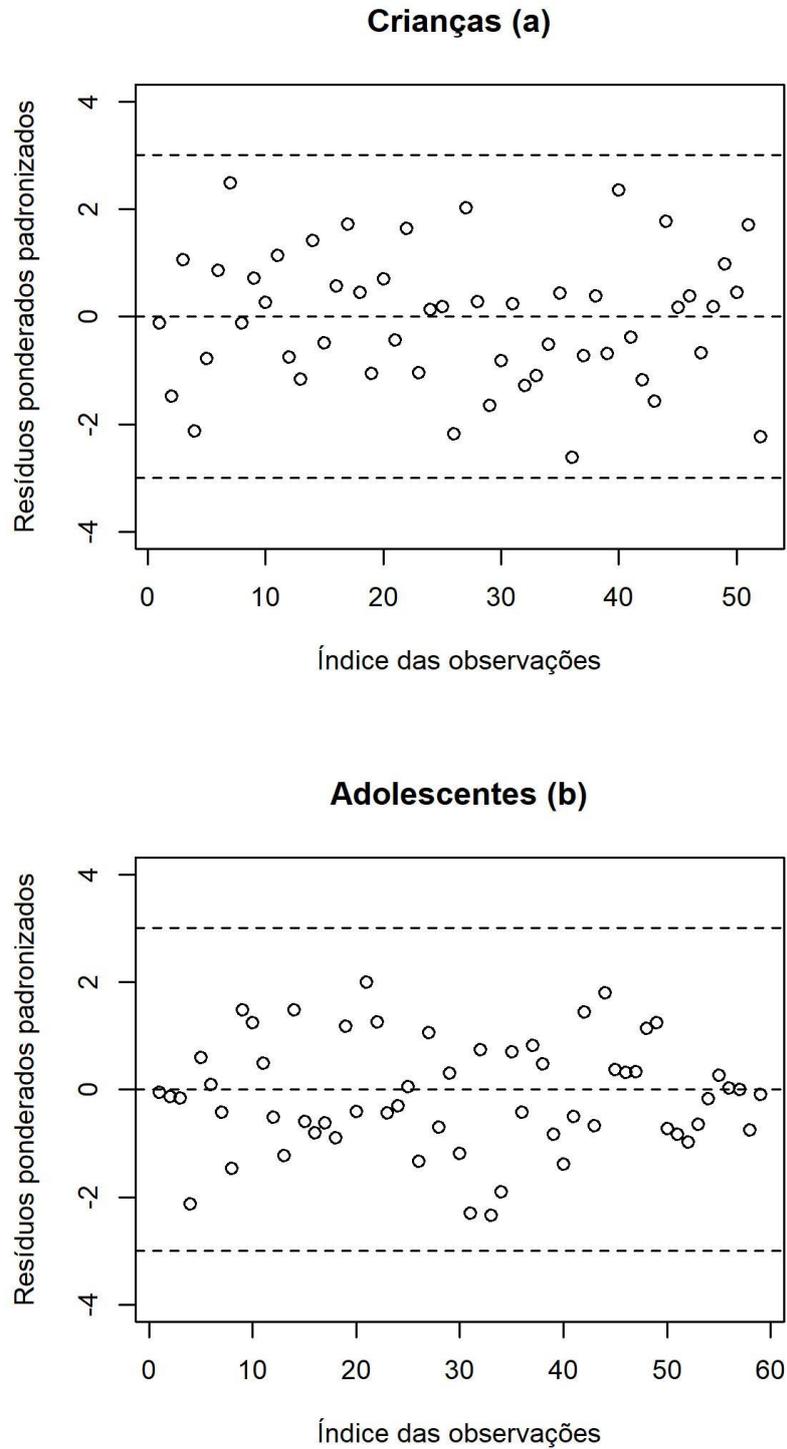


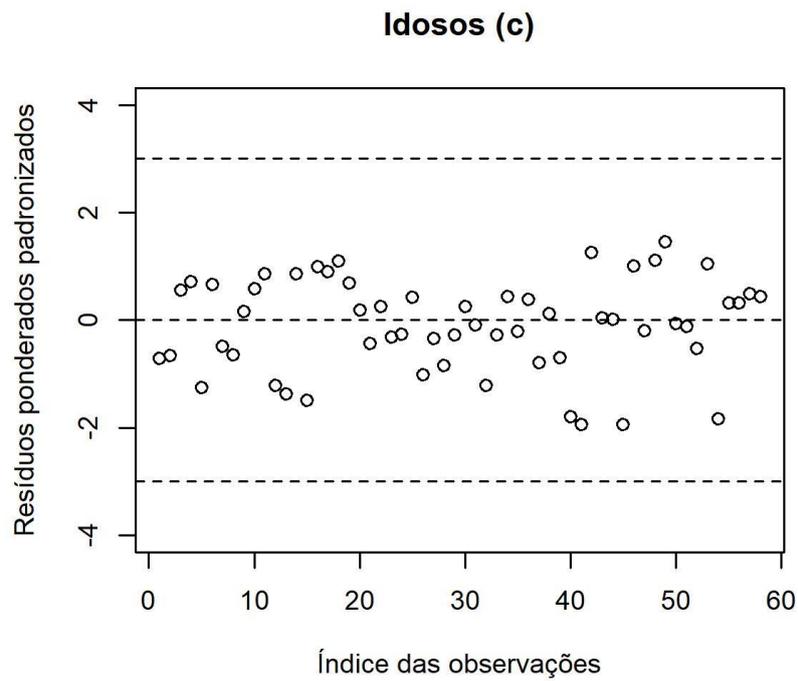


Analisando os gráficos da distância de Cook para os casos de notificações por asma em crianças (**Figura 17- a**), adolescentes (**Figura 17 - b**) e idosos (**Figura 17 - c**), verifica-se que algumas observações se destacam, porém, elas não configuram como observações influentes, pois todos os valores são inferiores a 0,5. Apenas observações com valores superiores a 0,5 são consideradas com alta Distância de Cook, devendo, portanto, serem analisadas cuidadosamente.

Os gráficos dos resíduos versus valores ajustados para o caso de notificações por asma em crianças, adolescente e idosos, estão apresentados na **Figura 18 (a), (b)** e **(c)** respectivamente. Esses gráficos são utilizados para avaliar a suposição de linearidade, além de auxiliar na identificação de outliers e pontos influentes.

**Figura 18** - Gráficos dos resíduos vs. valores ajustados para o modelo de regressão de Poisson para os dados de notificações por asma em crianças (a), adolescentes (b) e idosos (c)





A partir deste gráfico, pode-se observar que os resíduos não apresentam algum tipo de tendência, ou seja, eles estão distribuídos aleatoriamente em torno do zero, com variância constante dentro do intervalo  $[-3; 3]$ .

## CONCLUSÕES

O presente trabalho de tese alicerçou-se na relevância de estudar o aumento das internações por asma em diferentes faixas etárias devido à exposição a poluentes atmosféricos e parâmetros climáticos na zona urbana do município de Salvador - BA. Portanto, este estudo fornece informações relevantes para compreender os potenciais riscos à saúde humana decorrentes da exposição aos poluentes atmosféricos e subsidia a tomada de decisão dos gestores.

Na cidade de Salvador, segundo a distribuição das internações por asma no período de estudo, observou-se que a taxa de internação de crianças com idade de 0 a 9 anos foi maior (79,67%), mostrando o impacto da asma na qualidade de vida das crianças. Neste estudo também foi observada a sazonalidade no número de internações por asma, com aumento das exacerbações no período chuvoso.

Com base nos limites máximos estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução n.º 419/18, e pelas diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), comparativamente aos resultados apresentados na análise da variação da concentração para os poluentes analisados ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{MP}$ ,  $\text{NO}_2$ ), durante o período de estudo, concluiu-se que:

- o poluente material particulado ( $\text{MP}_{10}$ ) ultrapassou o valor de referência estabelecida na primeira etapa da meta progressiva a ser atingida (PI-1 – Padrão de Qualidade do Ar intermediária), que corresponde a  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o valor de referência estabelecido pela OMS que é de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- o poluente ozônio ( $\text{O}_3$ ) ultrapassou apenas o limite máximo estabelecido nas diretrizes da OMS que é de  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- o poluente dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) ultrapassou o limite máximo estabelecido pelas diretrizes da OMS que é de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- os poluentes dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) não ultrapassaram os limites máximos estabelecidos tanto pela OMS como pelo CONAMA.

Com relação aos resultados observados após o ajuste do modelo de regressão de Poisson aos dados do estudo, concluiu-se que:

- os poluentes monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e material particulado ( $\text{MP}_{10}$ ) estão as-

- sociados ao aumento de hospitalizações por asma em crianças (0 a 9 anos);
- os poluentes monóxido de carbono (CO), material particulado (MP<sub>10</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) estão associados ao aumento de hospitalizações por asma entre adolescentes (10 a 19 anos);
  - para os casos de asma em adultos (20 a 59 anos), não foi observado associação entre a poluição atmosférica com o aumento de internações neste grupo;
  - para os casos de internações por asma em idosos ( $\geq 60$  anos), o monóxido de carbono (CO) foi o único poluente associado ao aumento de internações por asma.

Embora alguns estudos tenham evidenciado associação entre a exposição a risco ambientais, como parâmetros climáticas, com o aumento de risco de exacerbação por asma em diferentes faixas etárias, neste estudo, para o modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados de internações por asma, observou-se que os parâmetros climáticos temperatura e umidade estiveram associados apenas ao aumento risco por hospitalização por asma em crianças (0 a 9 anos).

Através da análise do ajuste e adequabilidade do modelo, observou-se que o modelo de regressão de Poisson apresentou-se muito satisfatório na investigação da exposição aos poluentes atmosféricos e parâmetros climáticos aos casos de internações por asma, auxiliando, desta forma, a tomada de decisão. Vale ressaltar que na literatura também contém estudos que utilizam modelo de regressão de Poisson como método para mensurar associações entre exposição à poluição do ar e dados relacionados à saúde (CÉSAR, et al., 2016; DING; et al. 2017; KUO et al.; 2018; HU, et al., 2020, ALBALAWI et al.; 2021; HU et al. 2022).

Apesar da cidade de Salvador ocupar uma posição de destaque na região Nordeste, no interesse de minimizar a poluição atmosférica e seus impactos multifacetados, de acordo com os resultados deste estudo, observou-se que os atuais níveis de contaminação do ar, mesmo em níveis de concentrações abaixo dos limites máximos previstos pelas agências regulamentadoras, causam risco para a saúde. Deste modo, propomos intensificar os esforços na busca de implementação de campanhas destinadas a estabelecer medidas para a redução da poluição atmosférica, que tem ocasionado profundos prejuízos à saúde da população residente na área urbana da cidade de Salvador.

Por fim, espera-se que os resultados alcançados neste estudo contribuam para subsidiar políticas públicas voltadas ao planejamento de ações, no domínio ambiental,

para o controle da poluição do ar e dos agravos à saúde dela decorrentes.

## PUBLICAÇÕES

Este trabalho de tese gerou as seguintes publicações científicas:

- **Artigos completos submetidos em revistas científicas:**

1. NÓBREGA, L. A. et al. Associação da exposição ao material particulado (MP<sub>10</sub>) e parâmetros climáticos na incidência de asma em crianças, em Salvador, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, 2022.
2. NÓBREGA, L. A. et al. Poisson regression model as a methodology to measure the impact of air pollution on human health. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2022.

- **Trabalhos apresentados e publicados como capítulo de livro – Congresso Internacional de Saúde e Meio Ambiente (CINASAMA 2021)**

3. NÓBREGA, L. A.; ARAUJO, M. P. Modelagem da influência da poluição atmosférica no número de internações hospitalares por asma. Meio Ambiente: os desafios do novo cenário. 1ª ed. João Pessoa: Instituto Medeiros de Educação Avançada – IMEA, 2022, cap. 16, p. 329-346.
4. ARAUJO, M. P.; NÓBREGA, L. A. Análise dos serviços de esgotamento sanitário e ocorrência de doenças diarreicas no município de Bayeux-PB. Meio Ambiente: os desafios do novo cenário. 1ª ed. João Pessoa: Instituto Medeiros de Educação Avançada – IMEA, 2022, cap. 18, p. 366-383.

- **Capítulo de livros:**

5. NÓBREGA, L. A. et al. Poluição do ar e transtornos respiratórios em crianças. Poluição do ar e transtornos respiratórios em crianças. 1ªed. João Pessoa: UNIPÊ/BC, 2018, v. III, p. 102-118.
6. NÓBREGA, L. A. et al. Modelagem da influência de poluentes atmosféricos e fatores meteorológicos em afecções respiratórias em idosos. 1ªed. João Pessoa: UNIPÊ/BC, 2018, v. III, p. 363-380.
7. NÓBREGA, L. A. et al. Emissões veiculares e biocombustíveis sustentáveis. Meio Ambiente: os desafios do novo cenário. 1ª ed. João Pessoa: editora UFPB, 2019, p. 89-98.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira de Regulamentação n. 8969**. ABNT, 1985.

ACHAKULWISUT, P. et al. Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO<sub>2</sub> pollution: estimates from global datasets. **The Lancet Planetary Health**, v. 3, n. 4, p. e166-e178, 2019.

AKAIKE, H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: **Selected papers of hirotugu akaike**. Springer, New York, NY, 1998. p. 199-213.

ALBALAWI, S. M. et al. **Short-term effects of air pollution on daily asthma-related emergency department visits in an industrial city**. *Journal of Public Health*, v. 43, n. 1, p. e45-e53, 2021.

ARANGO, H. G. Bioestatística teórica e computacional. In: **Bioestatística teórica e computacional**. 3ª Ed. 2009. p. 235-235.

ASHBY, M. F. **Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BALMES, John R. Household air pollution from domestic combustion of solid fuels and health. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 143, n. 6, p. 1979-1987, 2019.

BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. **Gestão Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2014. v. 1. 128p

BAXTER, L. A. et al. Comparing estimates of the effects of air pollution on human mortality obtained using different regression methodologies. **Risk analysis**, v. 17, n. 3, p. 273-278, 1997.

BLACK, R. E. et al. Global, regional, and national causes of child mortality in 2008: a systematic analysis. **The lancet**, v. 375, n. 9730, p. 1969-1987, 2010.

BOUAZZA, N. et al. Fine particulate pollution and asthma exacerbations. **Archives of disease in childhood**, v. 103, n. 9, p. 828-831, 2018.

BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana**. Faculdade de Medicina da USP, São Paulo. 2002.

BRUNEKREEF, B.; HOLGATE S.T. Air pollution and health. **The Lancet**, v. 360, p.1233-1242, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 18, de 06 de maio de 1986**. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Publicado no Diário Oficial da União, de 17/06/86.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 05, de 15 de junho de 1989**. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR. Publicado no Diário Oficial da União, de 25/08/89, Seção I, p. 14.713-14.714.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 491, de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Publicado no Diário Oficial da União, de 21/11/2018, Edição 223, Seção:1, p. 155.

BOWATTE, G. et al. Traffic-related air pollution exposure over a 5-year period is associated with increased risk of asthma and poor lung function in middle age. **European Respiratory Journal**, v. 50, n. 4, 2017.

BUCHMANN, B. et al. 18 Reactive gases, ozone depleting substances and greenhouse gases. **From weather observations to atmospheric and climate sciences in Switzerland: Celebrating 100 years of the Swiss Society for Meteorology**, 2016.

BUTEAU, S. et al. Air pollution from industries and asthma onset in childhood: a population-based birth cohort study using dispersion modeling. **Environmental research**, v. 185, p. 109180, 2020.

BYRWA-HILL, B. M. et al. Lagged association of ambient outdoor air pollutants with asthma-related emergency department visits within the Pittsburgh region. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 22, p. 8619, 2020.

ÇAPRAZ, Ö.; DENİZ, A. Assessment of hospitalizations from asthma, chronic obstructive pulmonary disease and acute bronchitis in relation to air pollution in İstanbul, Turkey. **Sustainable Cities and Society**, v. 72, p. 103040, 2021.

CARDOSO, T. A. et al. Impacto da asma no Brasil: análise longitudinal de dados extraídos de um banco de dados governamental brasileiro. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 43, p. 163-168, 2017.

CASELLA, G.; BERGER, R. L. **Statistical inference**. Cengage Learning, 2021.

CASTRO, H. A.; GOUVEIA, N.; ESCAMILLA-CEJUDO, J. A. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Rev. Bras. Epidemiol.**, v.6, n.2, 2003.

CAVALCANTI, P. M. P. S. Modelo de gestão da qualidade do ar: abordagem preventiva e corretiva. 2010; 269 f. **Tese (Doutorado em Planejamento Energético)** – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CÉSAR, A. C. G. et al. Material particulado fino estimado por modelo matemático e internações por pneumonia e asma em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 34, p. 18-23, 2016.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2019. Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2020 (recurso eletrônico). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf> . Acesso em: jan. 2022.

CHEN, K. et al. The effects of air pollution on asthma hospital admissions in Adelaide, South Australia, 2003–2013: time-series and case–crossover analyses. **Clinical & Experimental Allergy**, v. 46, n. 11, p. 1416-1430, 2016.

CLIFFORD, R. L. et al. Inhalation of diesel exhaust and allergen alters human bronchial epithelium DNA methylation. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 139, n. 1, p. 112-121, 2017.

CHANG, Q. et al. Association between air pollutants and outpatient and emergency hospital visits for childhood asthma in Shenyang city of China. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 9, p. 1539-1548, 2020.

CHEN, T. et al. Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. **The American journal of the medical sciences**, v. 333, n. 4, p. 249-256, 2007.

CISNEROS, C. Epidemiología. Impacto sanitario del asma. **Ancochea Bermúdez J, Ricote Belinchón M, coordinadores. Procedimientos en enfermedades respiratorias. PROCEDER. Barcelona: Grupo Ars XXI de Comunicación SL, 2007.**

CORDEIRO, G. M.; NETO, E. A. L. Modelos paramétricos. **Pernambuco: UFRPE, 2006.**

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. Modelos lineares generalizados e extensões. **Piracicaba: USP, 2010.**

CRUZ, D. D. da et al. Meio ambiente e desenvolvimento: os desafios da sustentabilidade ambiental. 1. ed. João Pessoa: Editora UFPB, 2019. v. 1. 182 p.

D'AMATO, G. et al. Climate change and air pollution: effects on respiratory allergy. **Allergy, asthma & immunology research**, v. 8, n. 5, p. 391-395, 2016.

DĄBROWIECKI, P. et al. Ambient Air Pollution and Risk of Admission Due to Asthma in the Three Largest Urban Agglomerations in Poland: A Time-Stratified, Case-Crossover Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 10, p. 5988, 2022.

DADVAND, P. et al. Maternal exposure to particulate air pollution and term birth weight: a multicountry evaluation of effect and heterogeneity. *Environ. Health Perspect.* v. 121, p. 267-373, 2013.

DAMILANO, D. C. R.; JORGE, M. P. P. **Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos.** São José dos Campos: INPE, 2006. In: SICINPE. 44.

DARROW, L. A. et al. Air Pollution and Acute Respiratory Infections Among Children 0–4 Years of Age: An 18-Year Time-Series Study. **American Journal of Epidemiology**, v. 180, n. 10, Oct. 2014.

DE ALFAIA, V. M. et al. Estudo da ocorrência de internações por Asma via variáveis climáticas na Região Norte (PA). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 6, p. 147-158, 2018.

DEARBORN, L. C. **Role of air pollution in development of asthma among children with a history of bronchiolitis in infancy**. 2022. Tese de Doutorado.

DE MELO CUNHA, J. et al. Associação entre poluição do ar e fenótipos da asma em Salvador, Brasil, uma cidade com níveis de poluentes dentro dos limites recomendáveis. **Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 13-27, 2022.

DENATRAN - **Departamento Nacional de Trânsito**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/>>. Acesso em: 30 Jan. 2021.

DENG, Q. et al. Exposure to outdoor air pollution during trimesters of pregnancy and childhood asthma, allergic rhinitis, and eczema. **Environmental research**, v. 150, p. 119-127, 2016.

DHARMAGE, Shyamali C.; PERRET, Jennifer L.; CUSTOVIC, Adnan. Epidemiology of asthma in children and adults. **Frontiers in pediatrics**, v. 7, p. 246, 2019.

DIAS, C. S. et al. Temporal and spatial trends in childhood asthma-related hospitalizations in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil and their association with social vulnerability. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 7, p. 704, 2016.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

DIAS, C. S. et al. Influência do clima nas hospitalizações por asma em crianças e adolescentes residentes em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 1979-1990, 2020.

DING, L. et al. Air pollution and asthma attacks in children: A case–crossover analysis in the city of Chongqing, China. **Environmental pollution**, v. 220, p. 348-353, 2017.

EDER, W.; EGE, M. J.; VON MUTIUS, E. The asthma epidemic. **New England Journal of Medicine**, v. 355, n. 21, p. 2226-2235, 2006.

EMBERSON, L. D. et al. Ozone effects on crops and consideration in crop models. **European Journal of Agronomy**, v. 100, p. 19-34, 2018.

EVERITT, B. S. **Modern medical statistics**. New York, USA: Oxford University Press Inc. 2003. 235p.

FAJERSZTAJN, L. et al. Short-term effects of fine particulate matter pollution on daily health events in Latin America: a systematic review and meta-analysis. **International Journal of Public Health**, v. 62, n. 7, p. 729-738, 2017.

FALCON-RODRIGUEZ, C. I. et al. Aeroparticles, composition, and lung diseases. **Frontiers in immunology**, v. 7, p. 3, 2016.

FARINHA, S. et al. Impact of air pollution on daily asthma symptoms. **Acta Médica Portuguesa**, v. 35, n. 2, p. 119-126, 2022.

FAVARO, A. et al. Influence of urban forest on traffic air pollution and children respiratory health. **Environmental monitoring and assessment**, v. 192, n. 3, p. 1-9, 2020.

FERRANTE, G.; LA GRUTTA, Stefania. The burden of pediatric asthma. **Frontiers in pediatrics**, v. 6, p. 186, 2018.

FREITAS, Clarice et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, v. 38, p. 751-757, 2004.

GBD 2015 CHRONIC RESPIRATORY DISEASE COLLABORATORS *et al.* Global, regional, and national deaths, prevalence, disability-adjusted life years, and years lived with disability for chronic obstructive pulmonary disease and asthma, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. **The Lancet. Respiratory Medicine**, v. 5, n. 9, p. 691, 2017.

GINA Reports. Global Initiative for Asthma-GINA. Available online: <https://ginasthma.org/gina-reports/> (accessed on 13 June 2022).

GIODA, A.; GIODA, F. R. A influência da qualidade do ar nas doenças respiratórias. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 15-23, 2009.

GOUVEIA, N. et al. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, p. 2669-2677, 2006.

GOZUBUYUK, A. A. et al. Epidemiology, pathophysiology, clinical evaluation, and treatment of carbon monoxide poisoning in child, infant, and fetus. **Northern clinics of Istanbul**, v. 4, n. 1, p. 100, 2017.

GREENBERG, N. et al. Different effects of long-term exposures to SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> air pollutants on asthma severity in young adults. **Journal of toxicology and environmental health, Part A**, v. 79, n. 8, p. 342-351, 2016.

GUIMARÃES, C. **Controle e monitoramento de poluentes atmosféricos**. Elsevier Brasil, 2017.

GUO, H.; CHEN, M. Short-term effect of air pollution on asthma patient visits in Shanghai area and assessment of economic costs. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 161, p. 184-189, 2018.

HADLEY, M. B.; VEDANTHAN, R.; FUSTER, V. Air pollution and cardiovascular disease: a window of opportunity. **Nature Reviews Cardiology**, v. 15, n. 4, p. 193-194, 2018.

HAJAT, S. et al. Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 61, n. 8, p. 719-722, 2007.

HAN, C. H.; PAK, H.; CHUNG, J. H. Short-term effects of exposure to particulate matter and air pollution on hospital admissions for asthma and chronic obstructive pulmonary disease in Gyeonggi-do, S. K. 2007–2018. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 19, n. 2, p. 1535-1541, 2021.

HALPIN, D. M. G. et al. Peak expiratory flow as an endpoint for clinical trials in asthma: a comparison with FEV1. **Respiratory research**, v. 20, n. 1, p. 1-9, 2019.

HASTIE, Trevor J. Generalized additive models. In: **Statistical models in S**. Routledge, 2017. p. 249-307.

HAZLEHURST, M.F. et al. Maternal exposure to PM2.5 during pregnancy and asthma risk in early childhood: consideration of phases of fetal lung development. **Environmental Epidemiology**, v. 5, n. 2, 2021.

HILBE, J. M. **Negative Binomial Regression**. Second edition. UK: Cambridge University Press, 2011.

HOOPER, L. G. et al. Ambient air pollution and chronic bronchitis in a cohort of US women. **Environmental health perspectives**, v. 126, n. 2, p. 027005, 2018.

HU, Y. et al. Relative impact of meteorological factors and air pollutants on childhood allergic diseases in Shanghai, China. **Science of the Total Environment**, v. 706, p. 135975, 2020.

HU, Y. et al. Association of childhood asthma with intra-day and inter-day temperature variability in Shanghai, China. **Environmental Research**, v. 204, p. 112350, 2022.

HUANG, S. et al. Mechanistic impact of outdoor air pollution on asthma and allergic diseases. **Journal of thoracic disease**, v. 7, n. 1, p. 23, 2015.

HUANG, J. et al. Outdoor air pollution and the risk of asthma exacerbations in single lag0 and lag1 exposure patterns: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Asthma**, p. 1-18, 2021.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. Relatório da Qualidade do Ar, ano base 2018. 2020. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/11/relatorio-qualidade-ar-2018.pdf>. Acesso em: dez. 2021.

IBGE, Brasil. Pesquisa nacional de saúde: 2019; informações sobre domicílios, acesso e utilização dos serviços de saúde: Brasil, grandes regiões e unidades da federação/IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. **Rio de Janeiro: IBGE**, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 16 out. 2017.

ISLAM, M. S.; CHAUSSALET, T. J.; KOIZUMI, N. Towards a threshold climate for emergency lower respiratory hospital admissions. **Environmental research**, v. 153, p. 41-47, 2017.

JANG, A.; JUN, Y. J.; PARK, M. K. Effects of air pollutants on upper airway disease. **Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology**, v. 16, n. 1, p. 13-17, 2016.

JÚNIOR, Ê. V. **Sistema integrado de gestão ambiental: como implementar um sistema de gestão que atenda à Norma ISO 14001, a partir de um sistema baseada na Norma ISO 9000**. Editora Ground, 1998.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental pollution**, v. 151, n. 2, p. 362-367, 2008.

KARIMI, B. et al. Mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases associated with air pollution in Iran: A systematic review and meta-analysis. **Atmospheric environment**, v. 198, p. 438-447, 2019.

KHREIS, H. et al. Traffic-related air pollution and the local burden of childhood asthma in Bradford, UK. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 116-128, 2019.

KULHANOVA, I. et al. The fraction of lung cancer incidence attributable to fine particulate air pollution in France: impact of spatial resolution of air pollution models. **Environment international**, v. 121, p. 1079-1086, 2018.

KUO, C. et al. Application of a time-stratified case-crossover design to explore the effects of air pollution and season on childhood asthma hospitalization in cities of differing urban patterns: Big data analytics of government open data. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 4, p. 647, 2018.

KUO, C. et al. The short-term effects of ambient air pollutants on childhood asthma hospitalization in Taiwan: a national study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 2, p. 203, 2019.

LAM, H. C. et al. The short-term association between asthma hospitalisations, ambient temperature, other meteorological factors and air pollutants in Hong Kong: a time-series study. **Thorax**, v. 71, n. 12, p. 1097-1109, 2016.

LANDRIGAN, P. J. Air pollution and health. **The Lancet Public Health**, v. 2, n. 1, p. e4-e5, 2017.

LAU, N. et al. Effects of low exposure to traffic related air pollution on childhood asthma onset by age 10 years. **Environmental Research**, v. 191, p. 110174, 2020.

LEE, H. J.; JIN, M. H.; LEE, J. H. The association of weather on pediatric emergency department visits in Changwon, Korea (2005–2014). **Science of The Total Environment**, v. 551, p. 699-705, 2016.

LEAL, G. C. G.; DE FARIAS, M. S. S.; ARAUJO, A. F. O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. **Qualitas revista eletrônica**, v. 7, n. 1, 2008.

LELIEVELD, J. et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. **Nature**, v. 525, n. 7569, p. 367-371, 2015.

LI, K. et al. Effects of temperature variation between neighbouring days on daily hospital visits for childhood asthma: a time-series analysis. **Public Health**, v. 136, p. 133-140, 2016.

LIU, J. et al. Association between ambient PM<sub>2.5</sub> and children's hospital admissions for respiratory diseases in Jinan, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 23, p. 24112-24120, 2019.

LIU, L. et al. Associations of short-term exposure to air pollution and emergency department visits for pediatric asthma in Shanghai, China. **Chemosphere**, v. 263, p. 127856, 2021.

LYRA, D. G. P. Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da Região Metropolitana de Salvador. **Campinas–SP: Universidade Estadual de Campinas**, 2008.

LOOMIS, D. et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. **Lancet Oncology**, v. 14, n. 13, p. 1262, 2013.

MA, Y. et al. Effect of ambient air pollution on emergency room admissions for respiratory diseases in Beijing, China. **Atmospheric Environment**, v. 191, p. 320-327, 2018.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de saúde Pública**, v. 34, 2018.

MACHIN, A. B. et al. Effects of exposure to fine particulate matter in elderly hospitalizations due to respiratory diseases in the South of the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 52, 2019.

MANISALIDIS, I. et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review. **Frontiers in public health**, p. 14, 2020.

MAPS, Goolge. Google maps. **Dipetik Desember**, 2022.

MARTÍNEZ-RIVERA, C. et al. Association between air pollution and asthma exacerbations in Badalona, Barcelona (Spain), 2008–2016. **Medicina Clínica (English Edition)**, v. 152, n. 9, p. 333-338, 2019.

MARQUES, C. P. C. et al. Epidemiologia da Asma no Brasil, no período de 2016 a 2020. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e5211828825-e5211828825, 2022.

MARSCHALL, S. R.; GREGANTI, M. A. **Netter medicina interna**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2010.

MENEZES, R. A. M.; PAVANITTO, D. R.; NASCIMENTO, L. F. C. Exposição a poluentes do ar e doença respiratória em meninos e meninas. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 37, p. 166-172, 2019.

MORAES, S. L. et al. Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com internações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, 2019.

NAMVAR, Z. et al. Cross-sectional associations between ambient air pollution and respiratory signs and symptoms among young children in Tehran. **Atmospheric Environment**, v. 223, p. 117268, 2020.

NETWORK, G. A. The Global Asthma Report, Auckland, New Zealand. (2018).

NIU, Y. et al. Personal Ozone Exposure and Respiratory Inflammatory Response: The Role of DNA Methylation in the Arginase–Nitric Oxide Synthase Pathway. **Environmental science & technology**, v. 52, n. 15, p. 8785-8791, 2018.

SONG, J. et al. Acute effects of ambient air pollution on outpatient children with respiratory diseases in Shijiazhuang, China. **BMC pulmonary medicine**, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2018.

MIHĂLȚAN, F. et al. Air pollution and respiratory diseases—a problematic risk factor. **Pneumologia (Bucharest, Romania)**, v. 65, n. 3, p. 122-125, 2016.

MORPHEW, T. et al. Association Between Exposure to Outdoor Air Pollution and School Absenteeism Among Asthmatic Children. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 147, n. 2, p. AB42, 2021.

MURRAY, C. J. L. et al. Five insights from the global burden of disease study 2019. **The Lancet**, v. 396, n. 10258, p. 1135-1159, 2020.

NADALI, A. et al. The short-term association between air pollution and asthma hospitalization: a time-series analysis. **Air Quality, Atmosphere & Health**, p. 1-15, 2021.

NASCIMENTO, A. P. et al. Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. **Revista de Saúde Pública**, v. 51, 2017.

NEGRETE, B. R. et al. Poluição atmosférica e internações por insuficiência cardíaca congestiva em adultos e idosos em Santo André (SP). **Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde**, v. 35, n. 3, 2010.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)**, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

OBEIDAT, M. et al. Surfactant protein D is a causal risk factor for COPD: results of Mendelian randomisation. **European Respiratory Journal**, v. 50, n. 5, 2017.

O'LENICK, C. R. et al. Ozone and childhood respiratory disease in three US cities: evaluation of effect measure modification by neighborhood socioeconomic status using a Bayesian hierarchical approach. **Environmental Health**, v. 16, n. 1, p. 1-15, 2017.

OLIVEIRA, M. A. Epidemiologia da asma: é necessário ampliar nossos conceitos. **Jornal brasileiro de pneumologia**, v. 44, p. 341-342, 2018.

ORELLANO, P. et al. Effect of outdoor air pollution on asthma exacerbations in children and adults: systematic review and multilevel meta-analysis. **PloS one**, v. 12, n. 3, p. e0174050, 2017.

PAN, R. et al. Impacts of exposure to humidex on the risk of childhood asthma hospitalizations in Hefei, China: Effect modification by gender and age. **Science of the Total Environment**, v. 691, p. 296-305, 2019.

PAN, R. et al. Interactions between climate factors and air quality index for improved childhood asthma self-management. **Science of The Total Environment**, v. 723, p. 137804, 2020.

PAULA, G.A. **Modelos de regressão: com apoio computacional**. São Paulo: IME-USP, 2013. Disponível em: [https://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro\\_MLG.pdf](https://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro_MLG.pdf). Acessado em: 21 Jan. 2021.

PEDRAZA, D. F.; ARAUJO, E. M. N. Interações das crianças brasileiras menores de cinco anos: revisão sistemática da literatura. **Epidemiologia e serviços de saude**, v. 26, p. 169-182, 2017.

PEREIRA, F. D. Modelos lineares generalizados com distribuições de Poisson e binomial negativa para avaliar a relação entre poluentes atmosféricos e interações mensais por doenças respiratórias. 2022.

PHOSRI, A. et al. Effects of ambient air pollution on daily hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand. **Science of the total environment**, v. 651, p. 1144-1153, 2019.

PINI, L. et al. Effects of short-term exposure to particulate matter on emergency department admission and hospitalization for asthma exacerbations in Brescia district. **Journal of Asthma**, v. 59, n. 7, p. 1290-1297, 2022.

POWELL, H. et al. Ambient coarse particulate matter and hospital admissions in the Medicare Cohort Air Pollution Study, 1999–2010. **Environmental health perspectives**, v. 123, n. 11, p. 1152-1158, 2015.

R Core Team (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAJAK, R.; CHATTOPADHYAY, A. Short and long term exposure to ambient air pollution and impact on health in India: a systematic review. **International journal of environmental health research**, v. 30, n. 6, p. 593-617, 2020.

REQUIA, W. J. et al. Global association of air pollution and cardiorespiratory diseases: a systematic review, meta-analysis, and investigation of modifier variables. **American journal of public health**, v. 108, n. S2, p. S123-S130, 2018.

RIBEIRO, A. J. F. **Um estudo sobre mortalidade dos aposentados por invalidez do regime geral da previdência social (RGPS)**. Belo Horizonte, 2006. 191 f. Tese (Doutorado em Demografia) - Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais.

RODRIGUEZ-VILLAMIZAR, L. A. et al. The effects of outdoor air pollution on the respiratory health of Canadian children: A systematic review of epidemiological studies. **Canadian respiratory journal**, v. 22, n. 5, p. 282-292, 2015.

RODRIGUES, M.; NATÁRIO, I.; DO ROSÁRIO DE OLIVEIRA MARTINS, Maria. Estimate the effects of environmental determining factors on childhood asthma hospital admissions in Lisbon, Portugal: a time series modelling study. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 143, n. 1, p. 809-821, 2021.

RUDAN, I. et al. Epidemiology and etiology of childhood pneumonia. **Bulletin of the world health organization**, v. 86, p. 408-416B, 2008.

SAGGIN, J.; DE ANDRADE, V. L.; DAGOSTINI, F. M. EXPOSIÇÃO MATERNA À POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E CONSEQUÊNCIAS NA GESTAÇÃO. **Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão**, p. e28812-e28812, 2021.

SANTANA, F. O. et al. Formaldehyde and acetaldehyde in the atmosphere of Salvador-Ba, Brazil, using passive sampling. **Microchemical Journal**, v. 134, p. 78-86, 2017.

SANTOS, U. P. et al. Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 47, 2021.

SHAHADIN, M. S. et al. Challenges and future direction of molecular research in air pollution-related lung cancers. **Lung Cancer**, v. 118, p. 69-75, 2018.

SHI, L. et al. A national cohort study (2000–2018) of long-term air pollution exposure and incident dementia in older adults in the United States. **Nature communications**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2021.

SILVA, L. C. M. Diagnóstico em modelos de regressão simplex. 2019.

SHER, E. **Handbook of air pollution from internal combustion engines: pollutant formation and control**. Academic Press, 1998.

SILVA, L. V. **Avaliação de impacto do material particulado na saúde da população de Ponta Grossa**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SOLEIMANI, Z. et al. Air pollution and respiratory hospital admissions in Shiraz, Iran, 2009 to 2015. **Atmospheric Environment**, v. 209, p. 233-239, 2019.

SOMPORNATTANAPHAN, M. et al. The contribution of particulate matter to respiratory allergy. **Asian Pacific journal of allergy and immunology**, v. 38, n. 1, p. 19-28, 2020.

SOUZA, N. Bahia de Valor. 2021. Disponível em: <https://www.bahiadevalor.com.br/2019/06/polo-industrial-de-camacari-completa-41-anos-e-foca-na-competitividade/> . Acessado em: 03 Abr. 2021

STANAWAY, J. D. et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. **The Lancet**, v. 392, n. 10159, p. 1923-1994, 2018.

STEIN, R. T. et al. **Avaliação de impactos ambientais**. Porto Alegre: Sagah, 2018. p. 25. v. 1. 275p.

TADANO, Y. S.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. Método de regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. **Ambiente & Sociedade**, v. 12, p. 241-255, 2009.

TAJUDIN, M. A. B A. et al. Risk of concentrations of major air pollutants on the prevalence of cardiovascular and respiratory diseases in urbanized area of Kuala Lumpur, Malaysia. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 171, p. 290-300, 2019.

THAM, R. et al. The role of outdoor fungi on asthma hospital admissions in children and adolescents: A 5-year time stratified case-crossover analysis. **Environmental research**, v. 154, p. 42-49, 2017.

THURSTON, G. D. et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. **European Respiratory Journal**, v. 49, n. 1, 2017.

TIAN, C. Y. et al. A follow-up study of six years' outcome of children with asthma in urban area of Beijing. **Zhonghua er ke za zhi= Chinese Journal of Pediatrics**, v. 56, n. 3, p. 200-205, 2018.

TIOTIU, A. I. et al. Impact of air pollution on asthma outcomes. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 17, p. 6212, 2020.

ÜNAL, E. et al. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in Bursa, Turkey: A time series study. **International Journal of Environmental Health Research**, p. 1-14, 2021.

VIDALE, S.; CAMPANA, C. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: from bench to bedside. **European Journal of preventive cardiology**, v. 25, n. 8, p. 818-825, 2018.

WAGNER, M. B.; CALLEGARI-JACQUES, S. M. Medidas de associação em estudos epidemiológicos: risco relativo e odds ratio. **Jornal de pediatria. Rio de Janeiro. Vol. 74, no. 3 (1998), p. 247-251.**, 1998.

WANG, N. et al. Short-term association between ambient air pollution and lung cancer mortality. **Environmental research**, v. 179, p. 108748, 2019.

WEI, Q. et al. Diurnal temperature range and childhood asthma in Hefei, China: Does temperature modify the association?. **Science of The Total Environment**, v. 724, p. 138206, 2020.

WHO. World-Health-Organization. WHO Air Quality Guidelines for particular matter, ozone, dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. **WHO Publications, Germany**, v. 74, p. 75, 2005.

WHO. World-Health-Organization et al. WHO Global Ambient Air Quality Database 2018. 2019.

WHO - World Health Organization Chronic Respiratory Diseases: Asthma. [updated 15 May 2020; cited 23 December 2020].

WHO. World Health Organization. Ambient (Outdoor) Air Pollution. Disponível em: [https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Acessado: 10 Julho 2022).

WISNIEWSKI, J. A. et al. A comparison of seasonal trends in asthma exacerbations among children from geographic regions with different climates. In: **Allergy and asthma proceedings**. OceanSide Publications, 2016. p. 475.

YADAV, R. et al. Effects of ambient air pollution on emergency room visits of children for acute respiratory symptoms in Delhi, India. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 33, p. 45853-45866, 2021.

ZHANG, S. et al. Short-term exposure to air pollution and morbidity of COPD and asthma in East Asian area: A systematic review and meta-analysis. **Environmental research**, v. 148, p. 15-23, 2016.

ZHANG, L. et al. Short-term and long-term effects of PM<sub>2.5</sub> on acute nasopharyngitis in 10 communities of Guangdong, China. **Science of the Total Environment**, v. 688, p. 136-142, 2019.

ZHANG, Y. et al. The short-term association between air pollution and childhood asthma hospital admissions in urban areas of Hefei City in China: a time-series study. **Environmental research**, v. 169, p. 510-516, 2019.

ZHANG, H. et al. Effects of variations in meteorological factors on daily hospital visits for asthma: A time-series study. **Environmental research**, v. 182, p. 109115, 2020.

ZHANG, Y. et al. Early-life exposure to submicron particulate air pollution in relation to asthma development in Chinese preschool children. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 148, n. 3, p. 771-782. e12, 2021.

ZHAO, Y. et al. Increased risk of hospital admission for asthma in children from short-term exposure to air pollution: case-crossover evidence from Northern China. **Frontiers in public health**, v. 9, 2021.

ZHU, F. et al. The short-term effects of air pollution on respiratory diseases and lung cancer mortality in Hefei: A time-series analysis. **Respiratory medicine**, v. 146, p. 57-65, 2019.

ZILLMER, L. R. et al. Diferenças entre os sexos na percepção de asma e sintomas respiratórios em uma amostra populacional em quatro cidades brasileiras. **Jornal brasileiro de pneumologia**, v. 40, p. 591-598, 2014.

## Apêndice A – Carta de solicitação de dados para pesquisa



Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Ciências Exatas e da Natureza  
Programa de Pós Graduação em Modelos de Decisão e Saúde



### CARTA DE SOLICITAÇÃO DE DADOS PARA PESQUISA CIENTIFICA

João Pessoa, 09 de Maio de 2018.

Eduardo Fontoura  
Gerenciamento Ambiental

A poluição atmosférica nos grandes centros urbanos tem sido identificada como um grave problema de saúde pública. Estudos realizados, de forma sistemática, nos últimos anos, têm contribuído para a identificação de grupos suscetíveis, das características físico-químicas dos poluentes presentes no ar e dos principais efeitos adversos atribuídos à sua exposição.

Diante do exposto, eu, Luciana Alves da Nóbrega, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, estou desenvolvendo uma pesquisa acadêmica e de difusão científica intitulada: “**Modelagem da Influência de Poluentes Atmosféricos e Fatores Meteorológicos em Afecções Respiratórias**”. Esta tem como objetivo fundamental verificar a relação entre fatores meteorológicos e os principais poluentes de origem veicular com o número de casos de doenças respiratórias notificadas na cidade de Salvador mediante a utilização de Modelos Matemáticos.

O monitoramento da qualidade do ar tem elevada importância para a definição de políticas de abatimento da poluição. É através do monitoramento que se pode constatar os níveis de concentrações de poluentes, aferir a eficácia das medidas adotadas nos processos de controles de emissões, bem como desenvolver estudos científicos para avaliar o seu impacto sobre o meio ambiente e a qualidade de vida da população.

Diante do exposto e tendo em vista a relevância dos dados de monitoramento do ar, solicito gentilmente a cessão dessas informações, concentrações em hora em hora, para todos os parâmetros monitorados pelas oito (08) estações de monitoramento do ar do ar da cidade de Salvador.

Todos os dados coletados nesse estudo serão única e exclusivamente utilizados nesta pesquisa. Se houver qualquer dúvida sobre o estudo, os responsáveis pelos dados



Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Ciências Exatas e da Natureza  
Programa de Pós Graduação em Modelos de Decisão e Saúde

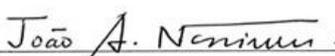


fornecidos por cada órgão citado neste documento poderão receber mais esclarecimentos com o pesquisador através do email [lucyana.ufpb@gmail.com](mailto:lucyana.ufpb@gmail.com) ou pelo telefone (0xx83) 8806-3696.

Ao final da pesquisa, o município de Salvador, se assim desejar, terá livre acesso ao conteúdo da mesma, sendo possibilitado o debate ou questionamentos correlatos às conclusões obtidas pela pesquisadora no presente estudo.

Estou à disposição para quaisquer esclarecimentos e desde já agradeço a atenção.

Atenciosamente,



Prof.º Dr. João Agnaldo do Nascimento  
Orientador-UFPB



Luciana Alves da Nóbrega  
Discente - UFPB

**Apêndice B – Script operado no software RStudio**

```
#-----  
# Pacotes  
#-----  
library(readxl)  
library(corrplot)  
library(ggplot2)  
library(rsq)  
library(MASS)  
library(hnp)  
#-----  
# Dados  
#-----  
banco= read.table("banco_tese.txt", header=T)  
attach(banco)  
names(banco)  
str(banco)  
#-----  
# Análise Descritiva  
#-----  
summary(banco)  
#Histograma  
hist (A_1)  
hist (A_2)  
hist (A_3)  
hist (A_4)  
# Matriz de correlação  
?corrplot  
dados<-cor(banco)  
corrplot(dados, method="number")  
#posição  
corrplot(dados, type="upper")  
#Boxplot  
#Casos de Asmas por faixa etária  
ggplot(data = bd_, aes (y = ASMA, x =  
factor(ETARIA)))+geom_errorbar(stat = "boxplot", width = 0.2)
```

```

+geom_boxplot(width = 0.4, fill = "gray")+geom_point (stat =
"summary", fun = "mean", size = 2, color = "red")+ labs(y =
"Internações por asma", x = " Faixas Etárias")+theme_bw()

#Casos de Asmas por faixa etária (período chuvoso e não chuvoso)
ggplot(data = bd, aes (y = ASMA, x = ETARIA,fill = factor(CHUVA)))+
geom_errorbar(stat = "boxplot", width = 0.2, position =
position_dodge(width = 0.4)) + geom_boxplot(width = 0.4) + labs(y =
"Internações por Asma", x = "Faixa Etária")+theme_bw()

#Gráficos de séries temporais
# Crescimento da frota veicular de Salvador
attach(veiculos)
base <- data.frame(Data, Carro)
ggplot(base)
ggplot(base, mapping = aes(x = Data, y = Carro)) +
geom_line(lwd = 1.5) +
geom_point(lwd = 3.0) +
labs(y = "N° de Veículos", x = "Ano (2006 - 2018)") +
theme_bw()

# Internações por asma no período de estudo
base <- data.frame(Data, A)
ggplot(base, mapping = aes(x = Data, y =
A))+geom_smooth()+geom_line()+geom_point()+ labs(y = "N° de
internações por asma", x = "Período de estudo")+theme_bw()

# Material Particulado (MP)
base1 <- data.frame(Data, MP)
ggplot(base1, mapping = aes(x = Data, y = MP)) + geom_line()+
geom_smooth() +
labs(y = "MP(µg/m³)", x = "Período da investigação") +
theme_bw()

# Monóxido de Carbono (CO)
base2 <- data.frame(Data, CO)
ggplot(base2, mapping = aes(x = Data, y = CO)) + geom_line()+

```

```
geom_smooth() +
labs(y = "CO (ppm)", x = "Período da investigação") +
theme_bw()

# Dióxido de nitrogênio (NO2)
base3 <- data.frame(Data, NO2)
ggplot(base3, mapping = aes(x = Data, y = NO2)) + geom_line()+
geom_smooth() +
labs(y = "NO2 (µg/m³)", x = "Período da investigação") +
theme_bw()

# Dióxido de enxofre (SO2)
base4 <- data.frame(Data, SO2)
ggplot(base4, mapping = aes(x = Data, y = SO2)) + geom_line()+
geom_smooth() +
labs(y = "SO2 (µg/m³)", x = "Período da investigação") +
theme_bw()

#Ozônio (O3)
base5 <- data.frame(Data, O3)
ggplot(base5, mapping = aes(x = Data, y = O3)) + geom_line()+
geom_smooth() +
labs(y = "O3 (µg/m³)", x = "Período da investigação") +
theme_bw()

#Temperatura (TEMP)

base6 <- data.frame(Data, TEMP)
ggplot(base6, mapping = aes(x = Data, y = TEMP)) + geom_line()+
geom_smooth() +
labs(y = "Temperatura (°C)", x = "Período da investigação") +
theme_bw()

# Umidade relativa do ar (UMID)
base7 <- data.frame(Data, UMID)
ggplot(base7, mapping = aes(x = Data, y = Umidade relativa (%)) +
geom_line()+
```

```

geom_smooth() +
labs(y = "Concentração de UMID", x = "Período da investigação") +
theme_bw()

#-----
# Ajuste do Modelo - Modelo de Regressão de Poisson
#-----

#Modelo 01 (Casos de internações por asma em crianças)
modelo1 = glm(formula = A_1 ~ SO2 + CO + O3 + MP + NO2 + TEMP + UMID,
family = poisson (link = "log"), data= banco)
summary(modelo1)
modelo1 = glm(formula = A_1 ~ SO2 + CO + O3 + MP + TEMP + UMID, family
= poisson (link = "log"), data= banco)
summary(modelo1)
modelo1 = glm(formula = A_1 ~ CO + O3 + MP + TEMP + UMID, family =
poisson (link = "log"), data= banco)
summary(modelo1)
modelo1 = glm(formula = A_1 ~ CO + MP + TEMP + UMID, family = poisson
(link = "log"), data= banco)
summary(modelo1)

#Modelo 02 (Casos de internações por asma em adolescentes)

modelo2 = glm(formula = A_2 ~ SO2 + CO + O3 + MP + NO2 + TEMP + UMID,
family = poisson (link = "log"), data= banco)
summary(modelo2)
modelo2 = glm(formula = A_2 ~ SO2 + CO + O3 + MP + NO2 + TEMP, family
= poisson (link = "log"), data= banco)
no summary(modelo2)
modelo2 = glm(formula = A_2 ~ CO + O3 + MP + NO2 + TEMP, family =
poisson (link = "log"), data= banco)
summary(modelo2)
modelo2 = glm(formula = A_2 ~ CO + MP + NO2 + TEMP, family = poisson
(link = "log"), data= banco)
summary(modelo2)

```

```
modelo2 = glm(formula = A_2 ~ CO + MP + NO2, family = poisson (link =  
"log"), data= banco)  
summary(modelo2)
```

```
#Modelo 03(Casos de internações por asma em adultos)  
modelo3 = glm(formula = A_3 ~ SO2 + CO + O3 + MP + NO2 + TEMP + UMID,  
family = poisson (link = "log"), data= banco)  
summary(modelo3)
```

```
#Modelo 04(Casos de internações por asma em idosos)  
modelo4 = glm(formula = A_4 ~ SO2 + CO + O3 + MP + NO2 + TEMP + UMID,  
family = poisson (link = "log"), data= banco)  
summary(modelo4)
```

```
modelo4 = glm(formula = A_4 ~ SO2 + CO + MP + NO2 + TEMP + UMID,  
family = poisson (link = "log"), data= banco)  
summary(modelo4)
```

```
modelo4 = glm(formula = A_4 ~ SO2 + CO + MP + TEMP + UMID, family =  
poisson (link = "log"), data= banco)  
summary(modelo4)
```

```
modelo4 = glm(formula = A_4 ~ SO2 + CO + MP + UMID, family = poisson  
(link = "log"), data= banco)  
summary(modelo4)
```

```
modelo4 = glm(formula = A_4 ~ CO + MP + UMID, family = poisson (link =  
"log"), data= banco)  
summary(modelo4)
```

```
modelo4 = glm(formula = A_4 ~ CO + UMID, family = poisson (link =  
"log"), data= banco)  
summary(modelo4)
```

```
modelo4 = glm(formula = A_4 ~ CO, family = poisson (link = "log"),  
data= banco)  
summary(modelo4)
```

```
#Pseudo-R2
```

```
rsq(modelo1)
```

```
rsr(modelo2)
```

```
rsr(modelo4)
```

```
#-----  
# Análise Diagnóstica  
#-----  
  
#Gráfico de probabilidade normal com envelope simulado  
  
#Crianças  
hnp(modelo1$residuals, sim = 99, resid.type='deviance', how.many.out=T  
, conf = 0.95, scale = T, main = "Crianças (a)", las = 0.5, xlab =  
"Quantis", ylab = "Resíduos", cex = 1.3)  
  
#Adolescentes  
hnp(modelo2$residuals, sim = 99, resid.type='deviance', how.many.out=T  
, conf = 0.95, scale = T, main = "Adolescentes (b)", las = 0.5, xlab =  
"Quantis", ylab = "Resíduos", cex = 1.3)  
  
#Idosos  
hnp(modelo4$residuals, sim = 99, resid.type='deviance', how.many.out=T  
, conf = 0.95, scale = T, main = "Idosos (c)", las = 0.5, xlab =  
"Quantis", ylab = "Resíduos", cex = 1.3)  
  
#normalidade dos resíduos  
  
shapiro.test(residuals(modelo1))  
shapiro.test(residuals(modelo2))  
shapiro.test(residuals(modelo4))  
  
#Crianças  
qqnorm(residuals(modelo1), ylab="Resíduos padronizados", xlab="Quantis  
teóricos", main="Crianças (a)", font.main = 2)  
qqline(residuals(modelo1))  
  
#Adolescentes  
  
qqnorm(residuals(modelo2), ylab="Resíduos padronizados", xlab="Quantis  
teóricos", main="Adolescentes (b)", font.main = 2)  
qqline(residuals(modelo2))
```

```

#Idosos

qqnorm(residuals(modelo4), ylab="Resíduos padronizados", xlab="Quantis
teóricos", main="Idosos (c)", font.main = 2)
qqline(residuals(modelo4))

#Aleatoriedade dos resíduos
#Crianças
resid<-residuals(modelo1)
plot(resid,main="Crianças (a)", ylab = "Resíduos ponderados
padronizados", xlab = "Índice das observações", ylim=c(-4,4))
abline(h=0,lty=2)
abline(-3,0,lty=2);abline(3,0,lty=2)

#Adolescentes
resid<-residuals(modelo2)
plot(resid,main="Adolescentes (b)", ylab = "Resíduos ponderados
padronizados", xlab = "Índice das observações", ylim=c(-4,4))
abline(h=0,lty=2)
abline(-3,0,lty=2);abline(3,0,lty=2)

#Idosos
resid<-residuals(modelo4)
plot(resid,main="Idosos (c)", ylab = "Resíduos ponderados
padronizados", xlab = "Índice das observações", ylim=c(-4,4))
abline(h=0,lty=2)
abline(-3,0,lty=2);abline(3,0,lty=2)

#Distância de Cook
#Crianças

plot(cooks.distance(modelo1), xlab="Número da observação",
ylab="Distância de Cook",ylim=c(0,1.2))+abline(h=1, col="red",
lty=2)+abline(h=0.5, col="gray2", lty=2, title(main = "Crianças (a)",
font.main = 2))

```

```
#Adolescentes
```

```
plot(cooks.distance(modelo1), xlab="Número da observação",  
ylab="Distância de Cook",ylim=c(0,1.2))+abline(h=1, col="red",  
lty=2)+abline(h=0.5, col="gray2", lty=2, title(main = "Adolescentes  
(b)", font.main = 2))
```

```
#Idosos
```

```
plot(cooks.distance(modelo1), xlab="Número da observação",  
ylab="Distância de Cook",ylim=c(0,1.2))+abline(h=1, col="red",  
lty=2)+abline(h=0.5, col="gray2", lty=2, title(main = "Idosos (c)",  
font.main = 2))
```

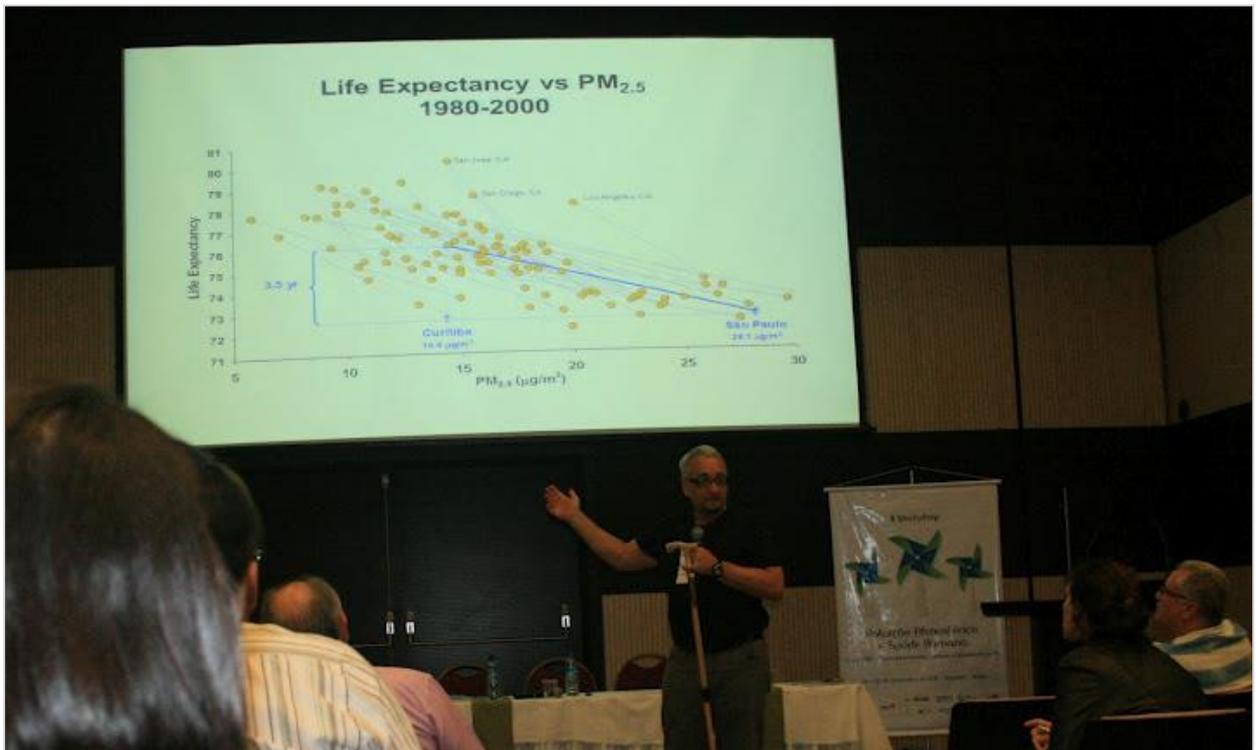
**Apêndice C – Registro fotográfico da visita técnica à estação de monitoramento da qualidade do ar da Av. Paralela, Salvador - BA**



**Apêndice D – Registro fotográfico da participação do evento SOPRAR Salvador: Poluição do ar e saúde, inovação em busca de uma Salvador resiliente (2018)**



**Apêndice E – Registro fotográfico da participação do workshop poluição atmosférica e saúde humana (Salvador – BA)**



## Anexo A – Obtenção dos dados da saúde no sistema do DATASUS

As informações utilizadas neste estudo foram obtidas no site DATASUS (<https://datasus.saude.gov.br/>) pelo TabWin.



Neste estudo foi utilizado a base de dados do Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIHSUS)

## Download de arquivos

Fonte

SIASUS - Sistema de informações Ambulatoriais do SUS  
**SIHSUS - Sistema de Informações Hospitalares do SUS**  
SIM - Sistema de informações de Mortalidade  
SINAN - Sistema de Informações de Agravos de Notificação  
SINASC - Sistema de informação de Nascidos Vivos

Modalidade

Arquivos auxiliares para tabulação  
**Dados**  
Documentação

Tipo de Arquivo

ER - AIH Rejeitadas com código de erro  
**RD - AIH Reduzida**  
RJ - AIH Rejeitadas  
SP - Serviços Profissionais

Ano

2017  
2016  
**2015**  
2014  
2013

Mês

**Julho**  
Agosto  
Setembro  
Outubro  
Novembro

UF

AL  
AM  
AP  
**BA**  
CE

Enviar

## Anexo B – Resolução CONAMA n.º 491/2018 que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar

### DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 21/11/2018 | Edição: 223 | Seção: 1 | Página: 155  
Órgão: Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente

#### RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018

Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno e o que consta do Processo Administrativo nº 02000.002704/2010-22, e

Considerando que os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar são parte estratégica do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, como instrumentos complementares e referenciais ao PRONAR;

Considerando como referência, os valores guia de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005, bem como seus critérios de implementação, resolve:

Art. 1º Esta Resolução estabelece padrões de qualidade do ar.

Art. 2º Para efeito desta resolução são adotadas as seguintes definições:

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;

II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica;

III - padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

IV - padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005;

V - episódio crítico de poluição do ar: situação caracterizada pela presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos;

VI - Plano de Controle de Emissões Atmosféricas: documento contendo abrangência, identificação de fontes de emissões atmosféricas, diretrizes e ações, com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação, visando ao controle da poluição do ar no território estadual ou distrital, observando as estratégias estabelecidas no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR;

VII - Material Particulado MP10: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros;

VIII - Material Particulado MP2,5: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros;

IX - Partículas Totais em Suspensão - PTS: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros;

X - Índice de Qualidade do Ar - IQAR: valor utilizado para fins de comunicação e informação à população que relaciona as concentrações dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde.

Art. 3º Ficam estabelecidos os Padrões de Qualidade do Ar, conforme Anexo I.

§ 1º O Chumbo no material particulado é um parâmetro a ser monitorado em áreas específicas, em função da tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental competente.

§ 2º As Partículas Totais em Suspensão - PTS e o material particulado em suspensão na forma de fumaça - FMC são parâmetros auxiliares, a serem utilizados em situações específicas, a critério do órgão ambiental competente.

§ 3º Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

§ 4º Adota-se como unidade de medida de concentração dos poluentes atmosféricos o micrograma por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) com exceção do Monóxido de Carbono que será reportado como partes por milhão (ppm).

Art. 4º Os Padrões de Qualidade do Ar definidos nesta Resolução serão adotados sequencialmente, em quatro etapas.

§ 1º A primeira etapa, que entra em vigor a partir da publicação desta Resolução, compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1.

§ 2º Para os poluentes Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo - Pb será adotado o padrão de qualidade do ar final, a partir da publicação desta Resolução.

§ 3º Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final - PI-2, PI-3 e PF serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente, conforme os artigos 5º e 6º, respectivamente.

§ 4º Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalece o padrão já adotado.

§ 5º Caberá ao órgão ambiental competente o estabelecimento de critérios aplicáveis ao licenciamento ambiental, observando o padrão de qualidade do ar adotado localmente.

Art. 5º Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, em até 3 anos a partir da entrada em vigor desta Resolução, um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas que deverá ser definido em regulamentação própria.

§ 1º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá considerar os Padrões de Qualidade definidos nesta Resolução, bem como as diretrizes contidas no PRONAR.

§ 2º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá conter:

I - abrangência geográfica e regiões a serem priorizadas;

II - identificação das principais fontes de emissão e respectivos poluentes atmosféricos; e

III - diretrizes e ações com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação.

§ 3º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão, a cada 3 anos, relatório de acompanhamento do plano, indicando eventuais necessidades de reavaliação, garantindo a sua publicidade.

§ 4º O Plano a que se refere o caput, juntamente com os resultados alcançados na sua implementação, deverá ser encaminhado ao Ministério do Meio Ambiente no primeiro trimestre do quinto ano da publicação desta Resolução.

Art. 6º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão o Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar anualmente, garantindo sua publicidade.

Parágrafo único. O relatório de que trata o caput deve conter os dados de monitoramento e a evolução da qualidade do ar, conforme conteúdo mínimo estabelecido no Anexo II, e resumo executivo, de forma objetiva e didática, com informações redigidas em linguagem acessível.

Art. 7º O Ministério do Meio Ambiente deverá consolidar as informações disponibilizadas pelos órgãos ambientais estaduais e distrital referentes ao Plano de Controle de Emissões Atmosféricas e Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar e apresentá-las ao CONAMA até o final do quinto ano da publicação desta Resolução, de forma a subsidiar a discussão sobre a adoção dos padrões de qualidade do ar subsequentes.

Art. 8º Para fins do monitoramento da qualidade do ar, o Ministério do Meio Ambiente, em conjunto com os órgãos ambientais estaduais e distrital, no prazo de 12 meses após a entrada em vigor desta Resolução, elaborará guia técnico contendo, dentre outros, os métodos de referência adotados e os critérios para utilização de métodos equivalentes, da localização dos amostradores e da representatividade temporal dos dados e sistematização do cálculo do índice de qualidade do ar, conforme estabelecido no Anexo IV.

Parágrafo único. Os órgãos ambientais competentes definirão os métodos de medição da qualidade do ar até a publicação do guia técnico mencionado no caput.

Art. 9º O Ministério do Meio Ambiente elaborará relatório anual de acompanhamento e o apresentará na última reunião ordinária do CONAMA.

Art. 10. Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, com base nos níveis de atenção, de alerta e de emergência, um Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar, a ser submetido à autoridade competente do estado ou do Distrito Federal, visando medidas preventivas com o objetivo de evitar graves e iminentes riscos à saúde da população, de acordo com os poluentes e concentrações, constantes no Anexo III.

Parágrafo único. O Plano mencionado no caput deverá indicar os responsáveis pela declaração dos diversos níveis de criticidade, devendo essa declaração ser divulgada em quaisquer dos meios de comunicação de massa.

Art. 11. Os níveis de atenção, alerta e emergência a que se refere o art. 10 serão declarados quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 horas subsequentes, for excedida uma ou mais das condições especificadas no Anexo III.

Parágrafo único. Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas no Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar.

Art. 12. O Ministério do Meio Ambiente e os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão divulgar, em sua página da internet, dados de monitoramento e informações relacionados à gestão da qualidade do ar.

Art. 13. Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão divulgar Índice de Qualidade do Ar - IQAR conforme definido no Anexo IV.

§ 1º Para cálculo do IQAR deverá ser utilizada a equação 1 do Anexo IV, para cada um dos poluentes monitorados.

§ 2º Para definição da primeira faixa de concentração do IQAR deverá ser utilizado como limite superior o valor de concentração adotado como PF para cada poluente.

§ 3º As demais faixas de concentração da IQAR e padronizações serão definidas no guia técnico a que se refere o art. 8º.

Art. 14. Fica revogada a Resolução CONAMA nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução CONAMA nº 5/1989.

Art. 15. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação..

**ROMEY MENDES DO CARMO**  
Presidente do Conselho

## ANEXO I

## PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m <sup>3</sup>	µ/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	ppm
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP2,5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual <sup>1</sup>	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO <sub>2</sub>	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual <sup>1</sup>	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO <sub>2</sub>	1 hora <sup>2</sup>	260	240	220	200	-
	Anual <sup>1</sup>	60	50	45	40	-
Ozônio - O <sub>3</sub>	8 horas <sup>3</sup>	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas <sup>3</sup>	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual <sup>4</sup>	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb <sub>5</sub>	Anual <sup>1</sup>	-	-	-	0,5	-
1 - média aritmética anual						
2 - média horária						
3 - máxima média móvel obtida no dia						
4 - média geométrica anual						
5 - medido nas partículas totais em suspensão						

## ANEXO II

## CONTEÚDO MÍNIMO PARA O RELATÓRIO AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

## 1 - Resumo executivo.

## 1. Descrição das características da região do estado e do Distrito Federal:

- a) Condições Meteorológicas
- b) Uso e ocupação do solo
- c) Outras características consideradas relevantes

## 2. Descrição da rede de monitoramento

## 3. Poluentes Atmosféricos monitorados

## 4. Redes de Monitoramento

## 5. Tipos de Rede e Parâmetros Monitorados

## a) Rede Automática

## b) Rede Manual

## 6. Metodologia de Monitoramento

## 7. Metodologia de Tratamento dos Dados

## 8. Representatividade de Dados

## a) Rede Automática

## b) Rede Manual

9. Representatividade espacial das estações
10. Descrição das fontes de poluição do ar
11. Considerações gerais sobre estimativas de emissão de fontes móveis e fontes estacionárias
12. Apresentação dos resultados quanto aos poluentes
13. Medidas de gestão implementadas
14. Referências legais e bibliográficas

## ANEXO III

## NÍVEIS DE ATENÇÃO, ALERTA E EMERGÊNCIA PARA POLUENTES E SUAS CONCENTRAÇÕES

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO2 µg/m <sup>3</sup> (média de 24h)	Material Particulado	CO Ppm (média móvel de 8h)	O3 µg/m <sup>3</sup> (média móvel de 8h)	NO2 µg/m <sup>3</sup> (média de 1h)	
		MP10	MP2,5			
		µg/m <sup>3</sup> (média de 24h)	µg/m <sup>3</sup> (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

SO2= dióxido de enxofre; MP10 = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm;

MP2,5= material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm; CO = monóxido de carbono;

O3= ozônio; NO2= dióxido de nitrogênio µg/m<sup>3</sup>; ppm = partes por milhão.

## ANEXO IV

Qualidade	Índice	MP10	MP2,5	O3	CO	NO2	SO2
		(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(ppm)	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )
		24h	24h	8h	8h	1h	24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20

Equação 1 - Cálculo do Índice de Qualidade do Ar