

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Faculdade de Engenharia

Paola Cristina Ribeiro

A VARIABILIDADE DE CLIMÁTICA E A TEMPERATURA COMO EFEITO
POTENCIALIZADOR NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS E
CARDIOVASCULARES NA CIDADE DE TAUBATÉ SP,

Guaratinguetá

2024

Paola Cristina Ribeiro

A VARIABILIDADE DE CLIMÁTICA E A TEMPERATURA COMO EFEITO
POTENCIALIZADOR NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS E
CARDIOVASCULARES NA CIDADE DE TAUBATÉ SP,

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Guaratinguetá, para obtenção do título de Doutora em Engenharia mecânica.

Área de Concentração: Energia

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento

Guaratinguetá

2024

R484v	Ribeiro, Paola Cristina A Variabilidade climática e a temperatura como efeito potencializador nas internações por doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Taubaté-SP / Paola Cristina Ribeiro - Guaratinguetá, 2024. 83 f : il. Bibliografia: f. 69-81 Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025. Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento 1. Ar - Poluição. 2. Aparelho respiratório - Doenças. 3. Epidemiologia - Pesquisa. I. Título. CDU 614.71(043)
-------	---

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A tese trará um impacto científico, pois a geração de novos conhecimentos relevantes sobre o impacto da poluição do ar e a variabilidade climática nas interações servirá de base para que grupos acadêmicos ou empresariais possam, no futuro, gerar soluções para os problemas de saúde respiratórios e cardiovasculares ocasionados pelos poluentes atmosféricos, potencializados pela variação de temperatura e pelas mudanças climáticas. Indo de encontro com os Objetivos de desenvolvimento sustentável, como a ODS 13 que trata sobre a Ação contra a mudança global do clima para Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos. Assim como a ODS 3 que prevê assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades. Com ênfase no objetivo 3.9 Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The thesis has a scientific impact, as the generation of new relevant knowledge about the impact of air pollution and climate variability in international markets will serve as a basis for academic or business groups to be able, in the future, to generate solutions for respiratory and cardiovascular health problems caused by air pollutants, exacerbated by temperature variations and climate change. In line with the Sustainable Development Goals, such as SDG 13, which deals with Climate Action to Adopt urgent measures to combat climate change and its impacts. As well as SDG 3, which aims to ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages. With emphasis on goal 3.9 By 2030, substantially reduce the number of deaths and diseases from hazardous chemicals, air and water pollution and contamination.

PAOLA CRISTINA RIBEIRO

A variabilidade climática e a temperatura como efeito potencializador nas interações por doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Taubaté-SP.

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Data da defesa: 25/11/2024

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO**
Data: 29/11/2024 09:16:11-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
Orientador - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL**
Data: 03/12/2024 07:29:38-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO PINTO MOTA**
Data: 04/12/2024 16:56:17-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. ROGÉRIO PINTO MOTA
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **ANA CRISTINA GOBBO CESAR**
Data: 01/12/2024 18:22:17-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. ANA CRISTINA GOBBO CÉSAR
Instituto Federal de Bragança Paulista

Documento assinado digitalmente
 **GILSON FERNANDES RUIVO**
Data: 02/12/2024 11:04:29-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. GILSON FERNANDES RUIVO
UNITAU

Dedico este trabalho a Deus, pois sem ele nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço a minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

Aos meus pais Paulo e Roseny, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

Ao meu marido Diego e ao meu filho Vitor pelo apoio e dedicação.

Às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar;

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“Na vida, nada é a temer, tudo é a compreender. Agora é o momento de compreender mais, para que possamos temer menos.”

(Marie Curie).

RESUMO

A poluição do ar pode gerar efeitos nocivos à saúde humana e constitui um importante problema de Saúde Pública. As doenças do aparelho circulatório são uma das principais causas de óbito no Brasil e sua morbimortalidade pode ser intensificada pela emissão de poluentes atmosféricos acima dos níveis recomendados. A variabilidade climática pode ter papel importante na mudança de comportamento dos poluentes atmosféricos e seus efeitos na saúde. Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar o papel da exposição a poluentes do ar e a variabilidade climática na gênese das doenças do aparelho cardiovascular e respiratório em Taubaté – SP. Trata-se de estudo epidemiológico, ecológico de séries temporais com dados relativos a internações por doenças respiratórias referentes ao CID J12 a J18; J20 a J21; J44 e J45, e por doenças cardiovasculares são referentes ao CID I10 e I15; I20 ao I25; I50 e I60 ao I64. No período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018. Os poluentes e as temperaturas mínima e máxima e umidade foram obtidos pelo banco de dados da CETESB. Foram consideradas defasagens de 0 a 7 dias e os modelos foram controlados por dia da semana e sazonalidade. A pesquisa abrangeu sujeitos de ambos os sexos residentes no município de Taubaté – SP. No período de estudo ocorreram 1619 internações por doenças respiratórias referentes. Dessas internações 271 (16,7%) correspondem a crianças menores de 14 anos de idade e 1074 (66,3%) correspondem a adultos acima de 50 anos. Em relação às doenças cardiovasculares foram identificadas 4560 internações, sendo 2806 internações por doenças cardiovasculares referentes. Os níveis de NO₂ e SO₂ estão associados a internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, sendo que as internações por doenças respiratórias apresentam diferenças quando separadas por idade. Quando analisada a amplitude térmica, o poluente apresentou um aumento no seu coeficiente, demonstrando o efeito potencializador da amplitude dos poluentes e internações. Embora haja limitações, a robustez do estudo reside no fato da existência da associação entre os poluentes do ar e o número de internações, tendo a temperatura.

Palavras-chave: material particulado; temperatura; doenças cardiovasculares; doenças respiratórias.

ABSTRACT

Air pollution can have harmful effects on human health and constitutes a major public health problem. Circulatory system diseases are one of the main causes of death in Brazil and their morbidity and mortality can be intensified by the emission of air pollutants above recommended levels. Climate variability can play an important role in changing the behavior of air pollutants and their effects on health. Therefore, the objective of this study is to evaluate the role of exposure to air pollutants and climate variability in the genesis of cardiovascular and respiratory system diseases in Taubaté - SP. This is an epidemiological, ecological study of time series with data related to hospitalizations for respiratory diseases related to ICD J12 to J18; J20 to J21; J44 and J45, and for cardiovascular diseases related to ICD I10 and I15; I20 to I25; I50 and I60 to I64. From January 2016 to December 2018. Pollutants, minimum and maximum temperatures, and humidity were obtained from the CETESB database. Time lags of 0 to 7 days were considered, and the models were controlled by day of the week and seasonality. The research included subjects of both sexes residing in the city of Taubaté - SP. During the study period, there were 1,619 hospitalizations due to related respiratory diseases. Of these hospitalizations, 271 (16.7%) corresponded to children under 14 years of age and 1,074 (66.3%) corresponded to adults over 50 years of age. Regarding cardiovascular diseases, 4,560 hospitalizations were identified, of which 2,806 were due to related cardiovascular diseases. NO₂ and SO₂ levels are associated with hospitalizations due to respiratory and cardiovascular diseases, and hospitalizations due to respiratory diseases present differences when separated by age. When the thermal amplitude was analyzed, the pollutant showed an increase in its coefficient, demonstrating the potentializing effect of the amplitude of pollutants and hospitalizations. Although there are limitations, the robustness of the study lies in the fact that there is an association between air pollutants and the number of hospitalizations, with temperature.

Keywords: particulate matter; temperature; cardiovascular diseases; respiratory diseases.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO	Monóxido de carbono
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
DCV	Doenças cardiovasculares
DATASUS	Departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
FG	Fração Grossa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO	Óxido nítrico
NO _x	Óxidos de nitrogênio
nm	Nanômetro
µm	Micrômetro
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PM	Material particulado
PM ₁₀	Partículas com diâmetro menor que 10 µm
PM _{2,5}	Partículas com diâmetro menor que 2,5 µm
PM _{0,1}	Partículas com diâmetro menor que 10nm

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2 DESENVOLVIMENTO	16
2.1 IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS SOBRE OS EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE HUMANA	16
2.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA	17
2.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	18
2.4 ORIGEM DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS	20
2.5 POLUENTES ATMOSFÉRICOS	22
2.5.1 Material particulado	22
2.5.2 Ozônio (O ₃)	24
2.5.3 Dióxido de enxofre (SO ₂)	25
2.5.4 Monóxido de carbono (CO)	25
2.5.5 Óxidos de nitrogênio (NO _x)	26
2.6 EFEITOS NA SAÚDE GERADOS PELA POLUIÇÃO DO AR	27
2.7 EXPOSIÇÃO À POLUIÇÃO DO AR E OS EFEITOS NO SISTEMA CARDIOVASCULAR	36
3 MÉTODOS	39
3.1 LOCAL DE ESTUDO	39
3.2 COLETA DE DADOS	40
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
3.3.1 Regressão de Poisson	47
3.3.2 Correlação de Pearson	48
3.3.3 Binomial negativa	49

3.4 ASPECTOS ÉTICOS	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 APARELHO RESPIRATÓRIO	53
4.2 APARELHO CIRCULATÓRIO	57
4.3 INCREMENTO DE TEMPERATURA.....	60
5 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

A temperatura média global vem subindo ao longo dos anos, em 2021 a temperatura média da superfície global foi a sexta mais alta desde que os registros globais começaram em 1880, já na América do Sul 2021 foi o sexto ano mais quente já registrado, 1,09°C (1,96°F) acima da média, os recordes de temperatura e altas amplitudes térmicas acendem um alerta população que pode estar exposta a tais efeitos (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022).

Podendo causar efeitos na saúde, as doenças do aparelho respiratório e cardiovascular são fatores de risco, no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018 as doenças referentes ao aparelho circulatório corresponderam a 813 mil internações no estado de São Paulo, sendo que 4,5 mil internações representam a cidade de Taubaté, situada no interior do estado. Neste mesmo período as doenças do aparelho respiratório corresponderam a 3,5 milhões de internações no Brasil, sendo que o estado de São Paulo teve 703 mil internações. Todas essas internações geraram um custo aproximado de R\$799 milhões no estado de São Paulo (Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde, 2023; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023).

A poluição nas grandes cidades é proveniente de processos antropogênicos sobre o meio ambiente. Todos os dias vários poluentes são lançados na atmosfera, monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), material particulado (PM) e Ozônio (O₃). Em algumas situações esses poluentes podem chegar a níveis alarmantes, como na China onde foram relatados 2 episódios de alerta vermelho no ano de 2015 (Companhia Ambiental do estado de São Paulo, 2019; Zeng *et al.*, 2018).

A poluição do ar já vem sendo relacionada a doenças do aparelho respiratório em alguns estudos, demonstrando associação positiva entre poluentes e internações, em cidades de médio porte, além de apontar diferença de resposta entre os sexos, mesmo em cidades com níveis baixos de poluição. Como responsáveis foram identificados o material particulado com menos de 10µ de diâmetro aerodinâmico (PM₁₀), material particulado fino (PM_{2,5}), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃) (Nascimento *et al.*, 2012; Amâncio *et al.*, 2014; Cesar *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2019).

Outro estudo vem associando a temperatura máxima a poluentes como o realizado no Brasil na região de Cuiabá demonstrou que o PM_{2,5} está associado a morbimortalidade por doenças cardiovasculares e seus efeitos podem ser potencializados pelo calor, pela baixa umidade e durante a estação seca. (Rodrigues *et al.*, 2017)

Estudos vêm sendo realizados como o de Rodrigues *et al.* (2017) demonstrando que o aumento da variabilidade climática potencializa a associação do PM_{2,5} na morbimortalidade em adultos acima de 45 anos, assim como na China também vem sendo levantados dados relacionados a temperatura e a variação de temperatura, em um estudo realizado por Zhao *et al.* (2018) onde foi feito um levantamento da variação da temperatura e as internações no Brasil no período de 2000 a 2015. Em outros estudos no Brasil além da diferença de temperatura foram incluídos também índices de fatores socioeconômicos (Rodrigues *et al.*, 2017; Zeng *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2020).

A variabilidade de temperatura também esteve associada a doenças cardiovasculares e respiratórias como um estudo feito no Brasil no período de 2010 a 2015, onde o efeito da variabilidade climática atingiu o pico após 0-1 dia de exposição, contribuindo para 3,5% [intervalo de confiança de 95% (IC): 3,1-3,8%] das hospitalizações em todo o país, igualando 221 (IC 95%: 200-242) casos por 100.000 população anualmente. Nesse caso, o risco de internação relacionado à variação de temperatura apresentou aumento significativo no período de 16 anos em nível nacional (Zhao *et al.*, 2018).

A variabilidade também esteve associada à arritmia cardíaca separado por três subtipos de arritmias, sendo que apenas a taquicardia paroxística e outras arritmias foram sensíveis à variação de temperatura. Assumindo uma relação causal, 35.813 casos (IC 95%: 18.302-51.665) foram atribuíveis a variação climática no Brasil durante 2000-2015, respondendo por 8,0% (IC95%: 4,1-11,5%) das internações por arritmia cardíaca (Zhao *et al.*, 2019).

Um aumento de 5°C na variabilidade de temperatura foi significativo nas doenças isquêmicas do coração no Brasil de 2000 a 2015, sendo mais forte em 0-1 dia após a exposição: a razão de chances foi de 1,019 [intervalo de confiança de 95% (IC): 1,013-1,025]. Em outros países a variabilidade também apresentou resultados significativos, em Nova York foi associada ao infarto agudo do miocárdio, onde a mudança de temperatura de hora a hora de curto prazo foi positivamente associada ao risco de infarto do miocárdio. Em segundo lugar, todas as outras métricas de variabilidade produziram associações positivas com IM, com magnitude variável (Rowland *et al.*, 2021).

As mudanças climáticas vêm tomando o centro das atenções nas últimas décadas, sendo pauta de questionamentos do uso consciente dos recursos naturais. Um dos fatores de preocupação dos países é a elevação da temperatura global, segundo relatório do IPCC observações e projeções vêm sendo feitas, demonstrando evidências de um aumento global de 1,5 °C a 2 °C na temperatura global. Além disso as preocupações com a temperatura vão além do aquecimento, também se torna alerta os perigos associados a essa alteração como eventos catastróficos e acontecimentos climáticos extremos (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023).

Os dados supracitados demonstram o quão importante é a realização de estudos epidemiológicos de séries temporais sobre o tema, afinal, estes, fortalecem a implementação de ações de vigilância em saúde ambiental e elaboração de medidas preventivas, educativas e informativas (Tuan; Venâncio e Nascimento, 2016), além de avaliar o impacto causado pela poluição do ar na saúde e fortalecer a implementação da vigilância ambiental na área de saúde, por meio de dados que estimem o risco de adoecimento da população em função da variação das concentrações dos poluentes atmosféricos e monitoramento dos mesmos ao longo do tempo proporcionando a avaliação da eficácia de medidas de controle (Nardocci *et al.*, 2013).

Diante do exposto, este estudo busca determinar como a variabilidade climática pode afetar a saúde humana, representada pelas doenças do aparelho cardiovascular e respiratório em Taubaté – SP, utilizando um indicador de saúde e estimador de custos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Identificar o papel da variação climática e seu efeito nas internações por doenças cardiovasculares e respiratória em moradores de Taubaté, SP, de 2016 a 2018.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar o número de internação por doenças cardiovasculares e respiratórias (Banco de dados do Sistema Único de Saúde – DATASUS), no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018.
- Identificar as concentrações diárias de ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2), PM_{10} , $PM_{2,5}$, SO_2 e fração grossa do município estudado, no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018.
- Identificar a associação existente entre a exposição aos poluentes do ar, variabilidade climática e as internações por doenças cardiovasculares e respiratórias.
- Estimar os custos dos danos causados pela poluição atmosférica na saúde humana.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS SOBRE OS EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE HUMANA

As pesquisas epidemiológicas não são projetadas especificamente para estudar os mecanismos biológicos que causam determinadas doenças, mas elas podem ser usadas para avaliar a existência da relação entre causa e desfecho (Pope *et al.*, 2004), por isso são de suma importância para descrever os complexos mecanismos e impactos sobre a saúde humana oriundas da poluição atmosférica, expandindo assim, o conhecimento sobre o assunto e possibilitando a criação de estratégias de intervenção efetivas, a fim de proporcionar uma melhor qualidade de vida à população decorrente da diminuição da exposição (Arbex *et al.*, 2010).

As pesquisas científicas têm contribuído para identificar os principais efeitos adversos à saúde que a exposição a esta poluição pode proporcionar. Desse modo, informações originárias de investigações sistemáticas com dados obtidos regionalmente são imprescindíveis para o estabelecimento de vigilância dos efeitos de curto prazo decorrentes dos picos de poluição na morbidade respiratória e cardiovascular proporcionando assim, subsídios para as ações de controle e alerta aos serviços de saúde, e avaliação dos programas voltados a essa questão (Gouveia *et al.*, 2006; Braga *et al.*, 2007; Nardocci *et al.*, 2013;).

Estudos referentes aos agravos à saúde que podem ser decorrentes da poluição atmosférica, por meio de indicadores de saúde, são de extrema importância para a conscientização da implementação de tecnologias menos poluentes e políticas públicas que priorizem a saúde da população exposta aos poluentes atmosféricos, com objetivo de diminuir a magnitude dos impactos causados (Miraglia e Gouveia, 2014). Eles categorizam os efeitos a curto e longo prazo na saúde humana e a associação entre o número de eventos, como óbitos e hospitalizações, e as mudanças nos níveis diários da emissão de partículas orientam a elaboração de estratégias preventivas e corretivas que tenham como objetivo minimizar a emissão dos poluentes atmosféricos e conseqüentemente do número de hospitalizações (Brook, 2008).

A introdução de processos reguladores referentes aos padrões de qualidade do ar com programas de vigilância da qualidade do ar que forneçam dados com

qualidade que mostrem as condições locais de poluição, meteorologia e de informações de saúde é de extrema importância para que as pesquisas sobre os efeitos da poluição do ar na saúde sejam efetivas (Gouveia *et al.*, 2006; Braga *et al.*, 2007).

2.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA

A variação da temperatura é caracterizada pela flutuação dos valores térmicos ao longo de um período de 24 horas. Influenciada por diversos fatores, como radiação solar, umidade atmosférica e circulação do ar, essa oscilação térmica ocorre principalmente devido às mudanças na posição do sol ao longo do dia. Durante a noite, a ausência de radiação solar provoca o resfriamento, enquanto o aquecimento ocorre durante o dia, quando a luz solar atinge a superfície terrestre (Nybo *et al.*, 2017; Instituto nacional de pesquisas espaciais, 2023).

No entanto, existem alguns fatores influenciadores como: a topografia, a proximidade de corpos d'água e a cobertura vegetal são elementos que podem modular a temperatura térmica diária. Áreas urbanas, por exemplo, frequentemente experimentam um conhecido como “ilhas de calor”, onde a presença de superfícies impermeáveis e estruturas urbanas retêm o calor, resultando em temperaturas mais elevadas em comparação com áreas circundantes (Nybo *et al.*, 2017).

A variabilidade climática diária tem impactos nas atividades humanas, na agricultura e na ecologia local. Em regiões agrícolas, o conhecimento da variação térmica diária é crucial para o manejo de culturas, influenciando decisões relacionadas à supervisão, colheita e seleção de cultivos. Além disso, a saúde humana pode ser afetada, uma vez que variações extremas de temperatura podem desencadear eventos climáticos como ondas de calor, que têm implicações diretas na saúde pública (Nybo *et al.*, 2017).

Uma análise das condições ambientais na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) ao longo dos anos revela uma relação significativa com a dispersão de poluentes primários. Durante o ano de 2022, observou-se que 29 dias apresentaram condições adversas desfavoráveis à dispersão desses poluentes, representando 19% dos dias entre maio e setembro. Esse período é historicamente desafiador para a dispersão de poluentes na região (Xu *et al.*, 2020).

Os dados específicos sobre a ocorrência diária, umidade e temperatura do ar na região metropolitana de São Paulo de maio a setembro de 2022 destacam condições propícias para a ocorrência de focos de queimadas. O mês de julho, em particular, foi notavelmente seco, com chuvas apenas nos dois últimos dias, contribuindo para um ambiente propício à propagação de incêndios em diversas localidades (Soares *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2020).

Além disso, a análise das médias mensais das mínimas diárias de umidade relativa e das máximas diárias de temperatura do ar nas estações da CETESB reforça a concentração entre condições adversas desfavoráveis e ocorrência de poluentes. Em julho de 2022, várias estações no interior do estado apresentaram valores médios de umidade relativamente abaixo de 40%, enquanto as temperaturas máximas ultrapassaram 30,0 °C (Soares, 2010; Companhia Ambiental do estado de São Paulo, 2023).

Essa exposição entre condições atmosféricas, baixa umidade e altas temperaturas evidencia a vulnerabilidade relativa da região a eventos climáticos extremos, como focos de queimada. Essa compreensão mais aprofundada das interações entre condições adversas e prejudiciais é essencial para o desenvolvimento de políticas públicas de efeitos adversos à proteção da saúde pública e à preservação do meio ambiente (Instituto nacional de pesquisas espaciais, 2023).

2.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar é uma mistura de partículas (material particulado) e gases que são emitidos para atmosfera, ou seja, é uma mistura complexa de compostos gasosos, como ozônio, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e material particulado (Brook, 2008).

É possível definir a poluição atmosférica como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, decorrentes da ação humana ou dos processos naturais, em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem-estar dos seres vivos (Cançado *et al.*, 2006a).

Muitos aspectos da poluição do ar desempenham um papel importante nas características de exposições em nível populacional e individual. Os poluentes variam

em várias escalas de tempo causando maior impacto em suas concentrações de acordo com as taxas de emissão, padrões climáticos, diurnos/sazonais, radiação solar e temperatura. Seu comportamento está interligado com sua taxa de formação e o tempo que permanece na atmosfera, por isso, as concentrações de muitos poluentes do ar tendem a co-variarem (Brook, 2008).

Os poluentes podem ser classificados como primários, que são emitidos diretamente para atmosfera, por exemplo, os óxidos de nitrogênio (NO_2 ou NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVs), monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO_2) e secundários que são resultantes de reações químicas entre os poluentes primários, por exemplo o ozônio (O_3), formado a partir da reação química induzida pela oxidação fotoquímica dos COVs e NO_2 na presença de raios ultravioleta provenientes da luz solar (Arbex *et al.*, 2012).

Dentre as principais fontes de emissão responsáveis pela poluição do ar podem ser citados os veículos automotores, a queima de biomassa, queimadas em florestas, queimas de combustíveis fósseis nos motores à combustão, indústrias siderúrgicas, produtos químicos, atividades de mineração e atividades industriais de modo geral (Braga *et al.*, 2001; Cançado *et al.*, 2006b; Braga *et al.*, 2007; Brook, 2008; Cesar; Nascimento e Carvalho Jr, 2013). Nos países em desenvolvimento o uso do fogão à lenha também é considerado um grande poluidor do ar (Brook, 2008). A população que vive nas áreas rurais geralmente utiliza combustíveis sólidos derivados de biomassa, como madeira, carvão vegetal, esterco animal seco e resíduos agrícolas, e combustíveis líquidos, em menor proporção, como fonte de energia para cozinhar, aquecer e iluminar (Arbex *et al.*, 2012).

Vários estudos (Braga *et al.*, 1999; Gouveia e Fletcher, 2000; Conceição *et al.*, 2001; Stieb; Judek e Burnett, 2002; Martins *et al.*, 2002; Brilhante e Tambellini, 2002; Ritz *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2003; Daumas; Mendonça e Leon, 2004; Gouveia; Bremner e Novaes, 2004) encontraram associações entre os níveis diários de PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, CO, O_3 e as consequências que estes podem gerar à saúde humana. Dentre as principais consequências estão as doenças respiratórias, cardiovasculares, baixo peso ao nascer e malformações congênitas.

Devido à relação existente entre a poluição atmosférica e a saúde humana, agências de monitoramento são responsáveis em monitorar os níveis diários emitidos de poluentes. Dentre os principais poluentes monitorados pelas agências de proteção

ambiental nas áreas urbanas estão o PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{0,1}, O₃, NO_x, NO₂, SO₂ e o CO (Arbex *et al.*, 2010, 2012).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB realiza o monitoramento dos poluentes no município de Taubaté – SP, e classifica a qualidade do ar de acordo com o quadro presente no anexo 1.

Em relação à qualidade do ar aos agravos que podem desenvolver à saúde, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, associa os efeitos conforme o quadro 2 presente no anexo 2.

É válido ressaltar que cada poluente individualmente pode apresentar diferentes efeitos à saúde de acordo com sua concentração presente no ambiente. A origem da poluição atmosférica pode ser categorizada em duas fontes distintas: a atividade humana, representada pela queima de combustíveis fósseis nos motores de automóveis e na indústria, e os processos naturais, como a queima acidental de biomassa e as erupções vulcânicas.

2.4 ORIGEM DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A composição da poluição do ar consiste em uma mistura complexa de partículas e gases. As partículas referem-se ao material particulado, enquanto os gases emitidos são na atmosfera por meio de atividades humanas e processos naturais. As fontes são classificadas como primárias, emitidas diretamente na atmosfera, e podem secundárias, resultantes das reações químicas das substâncias primárias, as fontes dos principais poluentes podem ser observadas no quadro 1 (Arbex *et al.*, 2012).

Ao longo de muitos séculos, a humanidade tem desempenhado um papel ativo, embora inconsciente, na periferia da qualidade do ar. O primeiro episódio documentado de poluição excessiva ocorreu no vale de Meuse, na Bélgica, em 1930. Nesse período, várias indústrias instaladas na região trabalharam para o aumento de poluição sobre a cidade devido a condições climáticas desfavoráveis, resultando em um aumento significativo de doenças respiratórias e um excesso de 60 mortes registradas até dois dias após o início do episódio (Braga *et al.*, 2001).

Em 1948, na cidade de Donora, na Pensilvânia, após o primeiro incidente, os produtos da combustão das indústrias locais foram planejados sobre a cidade devido a uma inversão térmica, resultando em 20 mortes, em vez das duas esperadas em uma comunidade de 14.000 pessoas. No inverno de 1952, em Londres, marcado por

uma concentração significativa de combustíveis e amplo uso de aquecedores a carvão, uma nuvem composta por material particulado e enxofre foi encontrada na cidade por três dias. Isso resultou em um aumento de quatro mil mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes (Braga *et al.*, 2001).

Diante desses incidentes, tornou-se imperativa a realização de estudos para controlar a emissão de substâncias do ar. Em 1955, o Congresso norte-americano destinou cinco milhões de dólares para pesquisas sobre o impacto da poluição atmosférica na saúde e na economia. Na década de 60, foi instituído um programa federal de controle da poluição atmosférica orgânica pelo Departamento de Saúde, Educação e Bem-Estar Social dos Estados Unidos (Braga *et al.*, 2001).

Quadro 1. Principais poluentes atmosféricos e suas fontes principais.

Poluente	Fontes Principais
Material Particulado (MP)	- Processos de Combustão; - Emissões de Aerossol Secundário (formado na atmosfera), como sulfato e nitrato.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	- Processos que utilizam queima de óleo combustível; - Refinarias de petróleo; - Veículos a diesel; - Produção de polpa de celulose e papel; - Fertilizantes.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	- Processos de combustão envolvendo veículos automotores; - Processos industriais; - Usinas térmicas.
Dióxido de Carbono (CO ₂)	- Combustão de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural); - Queima de biomassa; - Processos industriais, como produção de cimento e siderurgia; - Desmatamento e mudanças no uso da terra; - Transporte rodoviário, aéreo e marítimo; - Geração de eletricidade.
Ozônio (O ₃)	- Reação fotoquímica entre óxidos de nitrogênio (NO _x) e compostos orgânicos voláteis (COVs) na presença de luz solar; - Emissões veiculares; - Atividades industriais; - Produtos químicos.

Fonte: Adaptado Cetesb 2023.

Em 1966, um aumento repentino da poluição em Nova York, durante quatro dias de novembro, foi verificado em oito mortes, gerando intensa pressão da mídia para declaração de estado de emergência. Isso levou à revisão dos padrões. Na década de 60, os Estados Unidos estabeleceram o controle da qualidade do ar, identificando seis poluentes atmosféricos a serem controlados: partículas totais, SO₂, CO, NO₂, O₃ e Pb. Com o aumento das emissões atmosféricas, vários países estabeleceram padrões de qualidade, definindo limites tolerados pela população quando exposta a essas emissões (Braga *et al.*, 2001; Cançado *et al.*, 2006).

2.5 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características que não está dentro dos níveis estabelecidos pela legislação, podendo se tornar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Companhia Ambiental do estado de São Paulo, 2020b).

2.5.1 Material particulado

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. As partículas são divididas em dois grupos, de acordo com seu tamanho aerodinâmico definido como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão: partículas grandes, com diâmetro entre 2,5 e 30 µm, emitidas por meio de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre, como pólenes, esporos e materiais biológicos; e partículas pequenas, com diâmetro menor que 2,5 µm, emitidas pela combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termelétricas. As partículas menores que 2,5 µm têm como principais componentes o carbono, chumbo, vanádio, bromo e óxidos de enxofre e nitrogênio que na forma de

aerossóis são a maior parte de partículas finas (Braga *et al.*, 2001; Cançado *et al.*, 2006a).

O material particulado tem origem primária ou secundária e é um dos poluentes mais estudados devido aos agravos que podem produzir à saúde humana. O material particulado pode variar em número, tamanho, formato, área de superfície e composição química, dependendo do local de sua produção e fonte de emissão (World Health Organization, 2005).

A *World Health Organization* (2005) classifica o material particulado da seguinte maneira: partículas com diâmetro menor que 10 μm como PM_{10} ou fração inalável; partículas com diâmetro inferior a 2,5 μm como $\text{PM}_{2,5}$ ou finas; e partículas ultrafinas com diâmetro menor que 10 nm. Portanto, o PM_{10} contém, dentro dele, as frações grosseiras e $\text{PM}_{2,5}$. Já o $\text{PM}_{2,5}$ contém dentro dele as partículas ultrafinas, menores que 10 nm (Brook, 2008).

O material particulado é formado por vários compostos químicos. Dentre eles estão um núcleo de carbono elementar ou orgânico, compostos inorgânicos (sulfatos e nitratos, metais de transição sob a forma de óxidos, sais solúveis), compostos orgânicos (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, material biológico, pólen, bactérias, esporos e restos animais) (World Health Organization, 2005).

Em áreas urbanas o material particulado é proveniente principalmente da queima de combustíveis como carvão, gasolina, óleo e biomassa, de processos que envolvem altas temperaturas, como a fundição e produção de aço e do pó do solo (Souza *et al.*, 2011; Kim; Kabir e Kabir 2015).

O PM_{10} tem como fontes antropogênicas a poeira da rua e estradas e as atividades agrícolas e de construções; e como fontes naturais o sal marinho, pólen, esporos, fungos e cinzas vulcânicas. Ele pode atingir a traquéia, brônquios, bronquíolos e vias respiratórias inferiores. Como as partículas são inaláveis, exigem maior controle, pois podem desencadear respostas de defesa, como o espirro e a tosse. As partículas que chegam à orofaringe podem ser deglutidas e as que conseguem atingir as partes mais distais das vias aéreas são fagocitadas pelos macrófagos alveolares, e então removidas pelo aparelho mucociliar ou sistema linfático (Braga *et al.*, 2001; Cançado *et al.*, 2006b).

Os $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} são provenientes de usinas termelétricas e queima de combustíveis fósseis e biomassa. O $\text{PM}_{2,5}$ pode atingir os alvéolos e o PM_{10} os alvéolos, tecido pulmonar e corrente sanguínea. De forma geral, o material particulado

diminui a atividade mucociliar e dos macrófagos, irrita as vias respiratórias, causa o estresse oxidativo e consequentemente a inflamação pulmonar e sistêmica. Sua exposição crônica ocasiona o remodelamento brônquico e predispõe a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), podendo atuar com agente cancerígeno (Arbex *et al.*, 2012).

Em relação à exposição ao PM₁₀ não existe um nível seguro de concentração, afinal os efeitos à saúde podem ser observados mesmo em níveis de concentração muito abaixo dos padrões de qualidade do ar adotados pelas agências de monitoramento (Braga *et al.*, 2007).

2.5.2 Ozônio (O₃)

O ozônio está naturalmente presente na troposfera. Ele é derivado de uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioletas) que são responsáveis em estimular tais reações, envolvendo como precursores, óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos. Por isso, em dias ensolarados e quentes, ocorrem picos de concentração de ozônio. Como fontes naturais é possível citar as árvores, que contribuem na produção de compostos orgânicos voláteis e, como fontes antrópicas, têm-se os veículos automotores, indústrias e usinas termoeletricas. O ozônio é oxidante e citotóxico, tendo assim, potencial para atingir as porções mais distais das vias aéreas e provocar lesões nas células (Braga *et al.*, 2001; Cançado *et al.*, 2006a; Arbex *et al.*, 2012).

Os níveis de ozônio aumentam consideravelmente entre o fim da primavera e o começo do outono. Em regiões periféricas de grandes centros urbanos seus níveis de concentração aumentam geralmente no meio da manhã, após o horário em que se pode encontrar um maior trânsito de veículos, devido à maior emissão de óxidos de nitrogênio. À tarde atingem o ápice e a noite sofrem um declínio em seus níveis (Braga *et al.*, 2001).

Em ambientes externos é possível encontrar uma maior concentração de ozônio que no interior das residências. Os principais emissores de ozônio nas residências são os purificadores de ar e as máquinas de fotocópias (Braga *et al.*, 2001).

O ozônio pode atingir a traquéia, brônquios, bronquíolos e alvéolos. Em relação à sua fisiopatologia, é um agente oxidante fotoquímico e muito irritante, que pode

provocar a inflamação da mucosa do trato respiratório. Em altas concentrações pode irritar os olhos, a mucosa nasal e a orofaringe, podendo ocasionar tosse e desconforto torácico. A exposição por várias horas leva a lesão no tecido epitelial de revestimento das vias aéreas, provocando inflamação e obstrução das vias aéreas a estímulos como o frio e exercícios (Arbex *et al.*, 2012).

2.5.3 Dióxido de enxofre (SO₂)

O SO₂ é produzido por meio da combustão de elementos fósseis, como carvão e petróleo. Ele é decorrente principalmente dos veículos automotivos e das atividades termelétricas. Ele tem a capacidade de ser transportado para regiões distantes das fontes primárias de emissão, o que aumenta sua área de atuação, podendo atingir tanto as vias aéreas superiores quanto as regiões mais distais do pulmão. Sua retirada do organismo ocorre pela expiração e urina, com a eliminação de dois metabólitos, o sulfato e o éster sulfato (Braga *et al.*, 2001; Cançado *et al.*, 2006a).

Quando lançado na atmosfera, o SO₂ é oxidado formando ácido sulfúrico (H₂SO₄). Essa transformação depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas (Braga *et al.*, 2001).

O SO₂ é irritante e afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta, vias aéreas superiores, traquéia, brônquios e bronquíolos, causando tosse e aumentando a reatividade brônquica, facilitando a broncoconstrição. Como fontes antropogênicas é possível citar as refinarias de petróleo, veículos a diesel, fornos, metalurgia e fabricação de papel e como fonte natural tem-se a atividade vulcânica (Arbex *et al.*, 2012).

2.5.4 Monóxido de carbono (CO)

Como fontes naturais do monóxido de carbono é possível citar a atividade vulcânica, decomposição da clorofila, descargas elétricas e emissão de gás natural e como fontes antropogênicas tem-se a combustão incompleta de combustíveis fósseis, sistemas de aquecimento, usinas termelétricas a carvão, queimadas florestais, queima de biomassa e tabaco, veículos automotivos, aquecedores a óleo,

churrasqueiras e fogões a gás (Cançado *et al.*, 2006a; Tuan; Venâncio e Nascimento, 2016). Os fumantes possuem suas próprias fontes emissoras de CO, através do cigarro. Outras pessoas que ficam bastante expostas ao monóxido de carbono são aqueles que passam várias horas do dia dentro de um automóvel ou que têm que andar a pé ou de bicicleta por horas ao redor de trânsito intenso (Braga *et al.*, 2001).

O monóxido de carbono atinge os alvéolos e a corrente sanguínea. Fisiopatologicamente sua união com a hemoglobina interfere no transporte de oxigênio devido à afinidade que o monóxido de carbono tem com a hemoglobina, sendo 240 vezes maior que a do oxigênio, fazendo com que uma pequena quantidade de monóxido de carbono possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, ocasionando assim, hipóxia tecidual, devido a diminuição da liberação de oxigênio nos tecidos (Caçado *et al.*, 2006b), provocando cefaleia, náuseas e tontura, além de ter efeito deletério sobre o feto e estar associado com recém-nascidos de baixo peso e mortalidade fetal (Arbex *et al.*, 2012).

A determinação dos níveis no sangue de carboxihemoglobina serve para avaliar a exposição individual, pois pessoas saudáveis e não-fumantes, que residem em áreas onde há grande concentração de CO no ambiente, apresentam um aumento de até 100% nos níveis de carboxihemoglobina quando comparadas com pessoas saudáveis e não-fumantes que não estão expostas aos níveis de CO dos grandes centros urbanos (Braga *et al.*, 2001).

2.5.5 Óxidos de nitrogênio (NO_x)

O NO_x é um composto formado por átomos de nitrogênio e oxigênio. As principais fontes antropogênicas do óxido nítrico (NO) e do dióxido de nitrogênio (NO₂) são os veículos automotivos, lavanderias, fogões a gás, aquecedores que utilizam querosene, queima de combustíveis em altas temperaturas e usinas termelétricas e químicas; A principal fonte natural são as descargas elétricas na atmosfera. Na presença da luz solar o dióxido de nitrogênio reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando o ozônio (Cançado *et al.*, 2006a; Arbex *et al.*, 2012). Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o NO₂ e hidrocarbonetos formando ozônio (O₃), nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio (NO_x). Esses compostos reagem na presença de oxigênio

(O₂), ozônio e hidrocarbonetos, fazendo com que o NO se transforme em NO₂ (Braga *et al.*, 2001).

As concentrações de NO₂ em ambientes internos e externos estão diretamente relacionadas, pois os poluentes se difundem com grande facilidade de ambientes externos para internos por meio de mecanismos de ventilação (Braga *et al.*, 2001).

Os NO_x, quando inalados, atingem as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade em água, atingindo a traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos. Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de serem agentes oxidantes, sendo extremamente irritantes e afetando a mucosa dos olhos, nariz, garganta e trato respiratório inferior, o que acaba aumentando a reatividade brônquica e a suscetibilidade às infecções e aos alérgenos (Cançado *et al.*, 2006a; Arbex *et al.*, 2012).

2.6 EFEITOS NA SAÚDE GERADOS PELA POLUIÇÃO DO AR

O surgimento da revolução industrial fez com que os efeitos da poluição do ar fossem descritos mais detalhadamente devido aos agravos à saúde que estes trouxeram. A urbanização acelerada em todo mundo ocasionou um grande consumo de energia e, conseqüentemente, a emissão de poluentes advindos da queima de combustíveis fósseis provenientes principalmente de indústrias e veículos automotores (Arbex *et al.*, 2012).

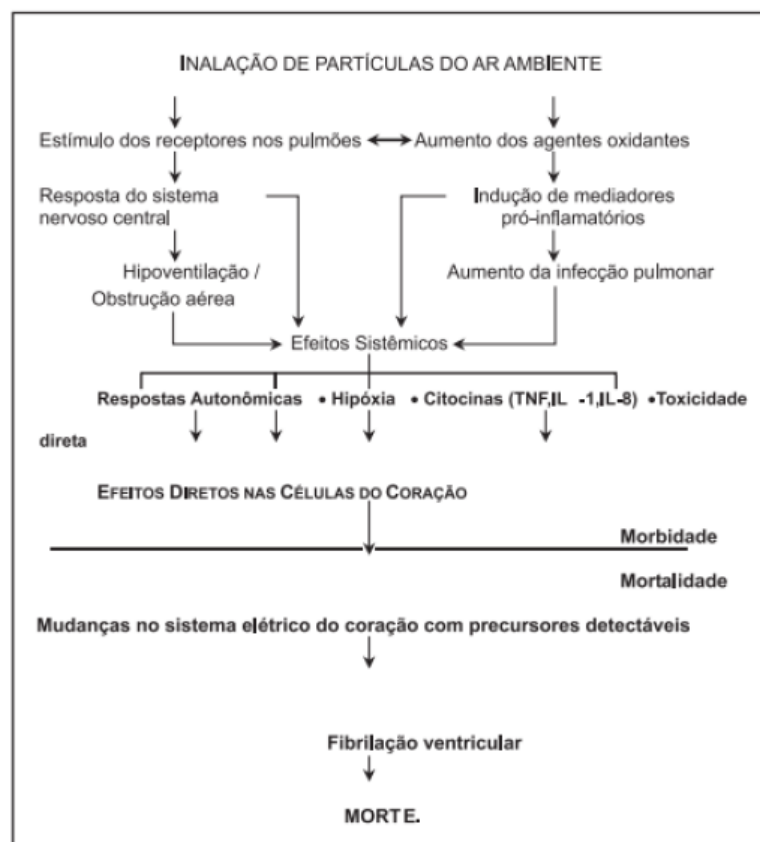
Atualmente vem sendo realizados estudos sobre a poluição do ar e seus efeitos cardiovasculares, em diferentes cidades, e questões vêm sendo levantadas e analisadas sobre o assunto (Cançado *et al.*, 2006). Associações aos níveis de poluição foram relatados por Dockery (2001); Pope *et al.* (2004) e Cançado *et al.* (2006) como: O aumento da viscosidade sanguínea de marcadores inflamatórios e da progressão da arteriosclerose;

- ➔ Alterações da coagulação;
- ➔ Redução da variabilidade da frequência cardíaca (indicador de risco para arritmia e morte súbita);
- ➔ Vasoconstrição;
- ➔ Aumento da pressão arterial.

Em fatores como a morbidade e mortalidade por doenças cardiovasculares, como os demonstrados hipoteticamente no quadro 2, associações com PM_{2,5}, foram relatadas bem como em outros fatores:

- ➔ Efeitos agudos (aumento de internações e de mortes por arritmia, doença isquêmica do miocárdio e cerebral);
- ➔ Efeitos crônicos, por exposição em longo prazo (aumento de mortalidade por doenças cerebrovasculares e cardíacas). (Dockery, 2001; Pope *et al.*, 2004; Cançado *et al.*, 2006)

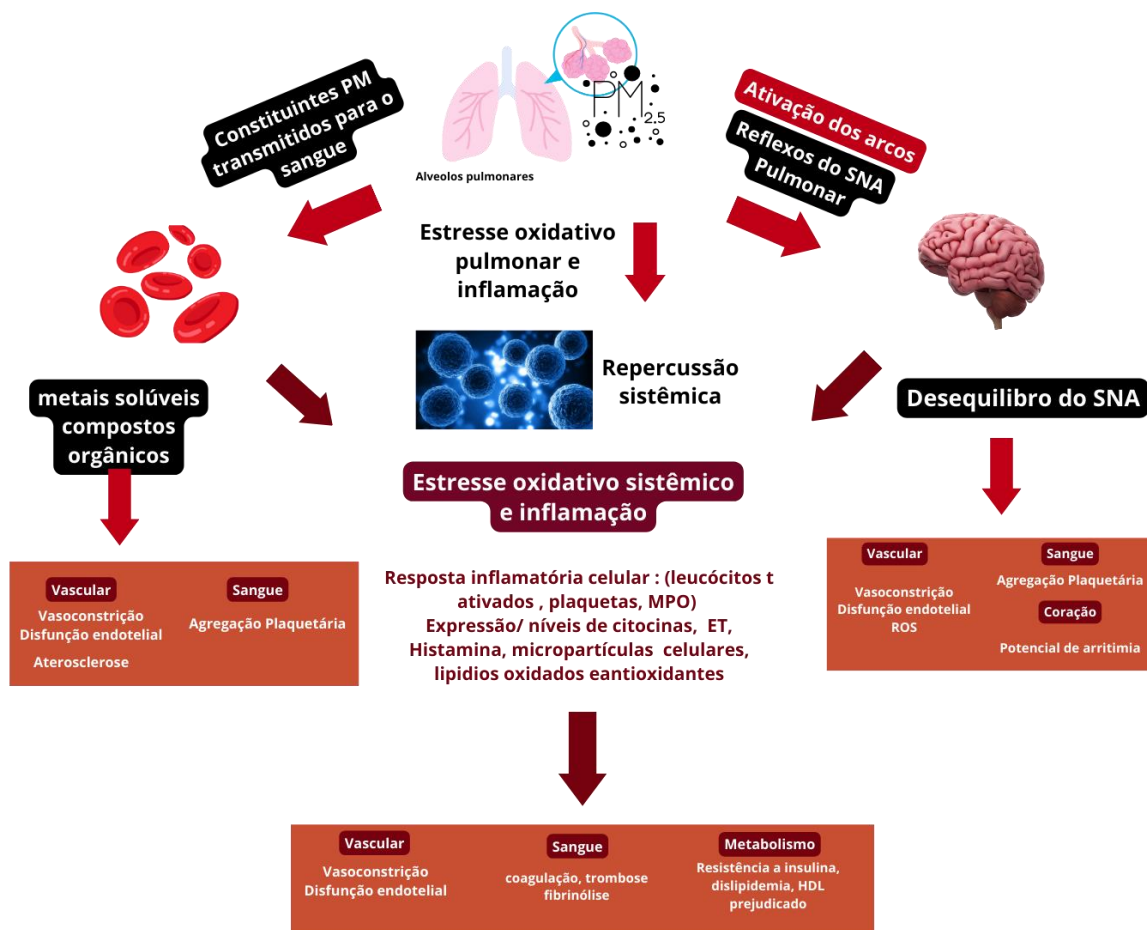
Quadro 2. Mecanismos hipotéticos pelos quais a inalação de partículas pode levar à morte



Fonte: ARBEX et al.(2010)

Várias associações positivas como as levantadas por Zhao et al. (2017), foram encontradas em relação a exposição ao PM_{2,5}, demonstrando efeitos muito rápidos da poluição do ar, como a disfunção vascular, que defende a existência de vias que transmitem sinais dentro de horas de inalação de PM_{2,5}. Por outro lado, há também suporte para efeitos biológicos crônicos. Ao nível molecular, evidências persuasivas suportam um papel integral para as vias dependentes de espécies que reagem ao oxigênio (ROS) em múltiplos estágios, como na indução do estresse oxidativo pulmonar, respostas pró-inflamatórias sistêmicas de disfunção vascular e aterosclerose. De modo geral, os estudos continuam apontando para a existência de efeitos extrapulmonares sobre o sistema cardiovascular por vias intermediárias de acordo com o quadro 3 (Brook *et al.*, 2010).

Quadro 3. Efeito dos poluentes por vias intermediárias.



Fonte: Arbex et al. (2010) adaptado pelo autor.

Estudos como o de Zhao et al. (2017), realizado na China, demonstram a contribuição dos poluentes, PM₁₀ e PM_{2,5} com as doenças cardíacas. Assim como o projeto de Brook et al., 2010 onde foi observado que a inalação do PM_{2,5} apresentou uma resposta que vai além dos confinamentos do pulmão. Os relatórios desses estudos apontaram uma variação de proteínas de fase aguda, como a proteína C-reativa (CRP), fibrinogênio ou na contagem de glóbulos brancos. Essas evidências são indicativas de uma resposta sistêmica após inalação do PM_{2,5}.

Estudos como o de Brook (2010), obtiveram uma associação positiva do PM_{2,5} em uma exposição a curto prazo e os marcadores inflamatórios. Onde relataram aumentos de CRP em uma população de idosos e indivíduos com doença

aterosclerótica coronariana, CRP e fibrinogênio em jovens adultos e idosos com sobrepeso, fator de necrose tumoral- α (TFN - α) e interleucina (IL-1 β) em crianças. Em relação a exposições de longa duração, foi relatada em um estudo da China onde foram levantadas associações com o PM₁₀, o mesmo poluente também obteve uma resposta positiva após exposição estimada de um ano e a contagem de células brancas do sangue, relatados no terceiro National Health and Nutrition Examination Survey. Já na Alemanha, em uma amostra de 4814 adultos na Alemanha, pequenos aumentos de PM_{2,5} foram associados ao aumento de 23,9% CRP de alta sensibilidade e de 3,9% no fibrinogênio, entre homens apenas. Em relação ao tráfego e à exposição em longo prazo não encontraram relações em ambos os sexos com alterações inflamatórias (Brook *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2017).

Um estudo do Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis apontou a associação entre um maior índice de massa do ventrículo esquerdo, medido por ressonância magnética cardíaca com a proximidade entre residências e estradas principais. O estudo sugere que o aumento da massa ventricular esquerda em exposição prolongada ao tráfego, ocorria através da elevação crônica da pressão arterial sistêmica, uma causa comum de hipertrofia ventricular esquerda. Outro estudo com participantes do National Health Interview relatou uma associação entre a exposição ao PM_{2,5} e a hipertensão, o aumento do risco foi encontrado entre brancos não hispânicos (Brook *et al.*, 2010).

Outros estudos feitos entre os pacientes de duas clínicas respiratórias em Ontário no Canadá também sugerem que a exposição de longo prazo ao tráfego e a chance de desenvolver diabetes mellitus. Estes diferentes resultados sugerem uma associação positiva entre o PM_{2,5} e diversos problemas que vão além do sistema respiratório, podendo ou não ter respostas diferentes de acordo com o sexo do indivíduo (Brook *et al.*, 2010; Tuan *et al.*, 2016).

A variação da temperatura entre o dia atual e o dia anterior, isto é, queda abrupta da temperatura, pode também estar associada a efeitos adversos na saúde da criança como pneumonias, sendo mais associada que a amplitude térmica diária, diferença entre as temperaturas máxima e mínima. No caso da asma em crianças, a amplitude térmica diária esteve associada ao desencadeamento das crises, sendo que aumentos de 5°C nesta amplitude, de forma cumulativa em nove dias estiveram associados a um aumento de 31% dos casos de asma (Xu *et al.* 2012, 2014).

A maior amplitude térmica diária também se mostrou associada à mortalidade em um estudo multicêntrico realizado em 445 comunidades de 20 países. Se não

houver uma atenuação desta amplitude, aumentos entre 0,4 e 1,6°C resultam num excesso de mortalidade projetado entre 0,2 e 7,4% em algumas regiões como os EUA, centro-sul da Europa, México e África do Sul (Lee *et al.*, 2020).

Estudo realizado em Taiwan concluiu que os riscos para a mortalidade por todas as causas e consultas ambulatoriais eram mais elevados com temperaturas mais baixas, enquanto que o risco de atendimento na sala de emergência foi mais elevado com altas temperaturas, sendo que certos fatores socioeconômicos poderiam modificar significativamente os riscos de mortalidade relacionados à baixa temperatura, incluindo o número de populações empregadas, idosos morando sozinhos em famílias de baixa renda, acesso a serviços públicos e números de médicos (Lin *et al.*, 2019).

Estudo realizado no Japão envolvendo 3427 crianças com idade até 12 anos identificou que alterações diárias da temperatura para menos apresentavam OR = 1,033(IC95%; 1,005-1,063) e OR = 1,027 (IC95%; 0,995-1,060) para aumento na temperatura diária, concluindo que mudanças maiores nos valores da temperatura, independentemente da direção, estavam relacionadas a uma maior chance de hospitalização por asma, mas a temperatura ambiente em si não foi associada a este tipo de internação. O mecanismo exato do efeito da temperatura ainda não é conhecido, mas este resultado sugere que a flutuação na temperatura diária tem um impacto maior na condição dos pacientes com asma do que a própria temperatura (Ueda *et al.*, 2010).

Os grupos que apresentam maior suscetibilidade aos poluentes do ar são as crianças, idosos e portadores de doenças crônicas pré-existentes. As crianças, por não terem ainda seu sistema imunológico totalmente desenvolvido, apresentarem maior ventilação por minuto devido ao metabolismo basal acelerado e à maior atividade física quando comparados aos adultos. Além disso, considerando seu peso corporal, o volume de ar que passa através das vias respiratórias da criança em repouso é o dobro daquele nos adultos em condições semelhantes. Os idosos por apresentarem um sistema imunológico menos eficiente e a diminuição funcional dos sistemas orgânicos. Os portadores de doenças crônicas pré-existentes por já apresentarem comorbidades que atingem o sistema respiratório, como asma, DPOC e fibroses e o sistema circulatório, como arritmias, hipertensão e doenças isquêmicas do coração (Arbex *et al.*, 2012).

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde podem ser agudos, quando se manifestam num curto espaço de tempo, por exemplo, em horas ou dias, ou crônicos, quando se manifestam após um longo espaço de tempo, por exemplo, após anos ou décadas (Arbex *et al.*, 2012).

Alguns mecanismos têm sido apontados para explicar os efeitos à saúde causados pela poluição do ar, dentre eles o mais aceito é que as altas concentrações de oxidantes e pró-oxidantes contidos nos poluentes ambientais, como no material particulado e em alguns gases (ozônio e óxidos de nitrogênio), quando entram em contato com o epitélio respiratório, provocam a formação de radicais livres de oxigênio e de nitrogênio que, por sua vez, induzem o estresse oxidativo nas vias aéreas, devido ao aumento de radicais livres que não foram neutralizados pelas defesas antioxidantes, iniciando, assim, uma resposta inflamatória com a liberação de células e mediadores inflamatórios (citocinas, quimiocinas e moléculas de adesão) que atingem a circulação sistêmica, causando uma inflamação subclínica com repercussão sistêmica (World Health Organization, 2005).

Nascimento *et al.* (2012) em seu estudo realizado no município de São José dos Campos encontraram o material particulado associado à hospitalização por acidente vascular cerebral no modelo de poluente único e um risco relativo de hospitalização por acidente vascular cerebral de aproximadamente 2% quando se tem uma exposição à poluentes. Amâncio e Nascimento (2014) também evidenciaram um aumento do risco de hospitalização por acidente vascular cerebral na cidade de São José dos Campos.

Maheswaran *et al.* (2010) encontraram um aumento de 52% no risco de morte para pacientes que tiveram acidente vascular cerebral quando associada à exposição ao material particulado.

Estudos demonstraram associação no número de internações por acidente vascular cerebral e a exposição aos poluentes do ar na Europa, Ásia e Brasil (Tsai *et al.*, 2003; Kettunen *et al.*, 2007; Vidale *et al.*, 2010; Nascimento *et al.* 2012).

No sistema respiratório, a exposição a poluentes gasosos como o material particulado está associada a sintomas que acometem as vias aéreas superiores como rinorreia, obstrução nasal, tosse, laringoespasma e disfunção de cordas vocais, e as vias aéreas inferiores, como tosse, dispnéia e sibilos. A função pulmonar é um marcador importante dos efeitos da poluição do ar, sendo um preditor objetivo,

quantitativo e precoce de morbidade e de mortalidade cardiorrespiratória (ARBEX et al., 2012).

O estudo de César, Nascimento e Carvalho Júnior (2013) encontrou uma associação positiva entre $PM_{2,5}$ e hospitalizações por doenças respiratórias em crianças. Arbex et al. (2012) também evidenciaram que a exposição aos poluentes está associada a maior incidência de sintomas nas vias respiratórias inferiores, produzindo sintomas como tosse, dispnéia e chiado no peito, principalmente em crianças.

O estudo realizado por Ignotti *et al.* (2010) avaliou a poluição atmosférica causada pela queima de biomassa na região amazônica do Brasil. Eles encontraram uma associação positiva entre a exposição ao $PM_{2,5}$ e ocorrência de doenças respiratórias, principalmente em idosos e crianças menores de 5 anos.

Na gestação, a poluição do ar pode comprometer o desenvolvimento fetal e causar o retardo de crescimento intrauterino, prematuridade, baixo peso ao nascer, anomalias congênitas e óbito intrauterino ou perinatal (Sram, 2005). O estudo de Santos (2016) verificou que a exposição materna no primeiro e terceiro trimestres de gestação à poluição do ar no município de São José dos Campos - São Paulo, pode determinar o peso insuficiente de recém-nascido (RN) no período entre 2006 e 2010.

O feto e o recém-nascido são mais susceptíveis do que os adultos às substâncias tóxicas ambientais. As crianças nascidas com baixo peso possuem mais riscos quando comparadas com as crianças que nascem com o peso adequado, sendo assim, possuem maior probabilidade de morte, infecções respiratórias, retardo no crescimento e desenvolvimento e maior possibilidade de serem acometidos por doenças crônicas no futuro. Essa vulnerabilidade pode ser explicada devido os fetos terem uma imaturidade fisiológica, sendo assim, seus sistemas e órgãos, que estão em desenvolvimento, ficam mais vulneráveis às substâncias tóxicas ambientais por causa das altas taxas de proliferação celular e à mudança da sua capacidade metabólica (Santos *et al.*, 2016).

Para Ritz e Wilhelm (2008) apesar de os mecanismos biológicos não serem totalmente conhecidos acredita-se que a intensa proliferação celular, imaturidade fisiológica, acelerado desenvolvimento de órgãos e mudanças no metabolismo aumentam a suscetibilidade do feto à inalação dos poluentes aéreos pela mãe. A mãe, por sua vez, pode ter seu sistema respiratório comprometido pela ação dos poluentes afetando o transporte de oxigênio e glicose através da placenta. Os poluentes também

podem interferir na coagulabilidade sanguínea materna devido a uma resposta inflamatória consequente ao estresse oxidativo, aumentando a possibilidade de infarto placentário e vilosidade crônica.

O estudo de Nascimento *et al.* (2012) encontrou associação entre o aumento da incidência de internações por acidente vascular cerebral e a exposição ao material particulado, mesmo quando em concentrações abaixo da recomendada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a poluição do ar é responsável pela morte de mais de um milhão de crianças prematuras em todo o mundo a cada ano, e que 11 milhões de pessoas morreriam de doença coronariana em 2020 (Shah *et al.*, 2013; Pieters *et al.*, 2012). Sendo assim, a poluição do ar causada por material particulado é um importante fator modificável que afeta a saúde pública em escala global (Brook *et al.*, 2008).

Mesmo com todos os avanços obtidos nas últimas décadas com objetivo de proporcionar um ambiente com menos poluição, os níveis de poluição atuais ainda propiciam a ocorrência de danos à saúde (Gouveia *et al.*, 2006).

As doenças cardiovasculares são uma das principais causas de mortalidade no mundo, gerando um elevado custo na economia brasileira e aumento do número de internações. No Brasil é encontrada uma proporção de um em cada três óbitos por doenças cardiovasculares, destacando-se entre elas, o infarto agudo do miocárdio (Soares e Nascimento, 2010).

No Brasil, as doenças cardiovasculares são responsáveis por 32% dos óbitos, ocupando o primeiro lugar nas causas de mortes e terceira maior causa de internação, sendo uma das maiores causas de morbimortalidade (Tuan; Venâncio e Nascimento, 2016). Somente no estado de São Paulo no ano de 2010 foram gastos R\$500 milhões com a hospitalização de pessoas com 50 anos ou mais (BRASIL, 2020).

Dentre os principais fatores de risco para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares estão: idade, diabetes, dislipidemia, tabagismo, hipercolesterolemia, hipertensão arterial sistêmica, histórico familiar de doenças isquêmicas do coração, sedentarismo, obesidade, alcoolismo e a exposição a fatores ambientais como, por exemplo, a poluição do ar (Amancio; Nascimento, 2012; Ribeiro *et al.*, 2019).

O estilo de vida é um dos principais fatores predisponentes ao acometimento por doenças cardiovasculares. Os epidemiologistas também veem o ambiente como fator predisponente às cardiopatias. Sendo assim, o detalhamento desses eventos é

de suma importância para o planejamento de estratégias preventivas (Soares e Nascimento, 2010).

2.7 EXPOSIÇÃO À POLUIÇÃO DO AR E OS EFEITOS NO SISTEMA CARDIOVASCULAR

A poluição do ar é um problema de saúde pública evitável e suas principais fontes de emissões são as indústrias e os veículos a motor. As evidências sobre como a poluição é prejudicial para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares crescem cada dia mais, principalmente pela exposição de pessoas que residem a menos de 500 metros das principais estradas ou rodovias devido ao tráfego onipresente na sociedade moderna, e uma proporção considerável da população de pessoas desfavorecidas pelo baixo nível socioeconômico que residem por residirem nesses locais acabam ficando expostas cronicamente a concentrações elevadas (Brook *et al.*, 2008).

Dentre os principais poluentes emitidos estão o material particulado (PM₁₀), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (Amâncio e Nascimento, 2012).

A *American Heart Association*, no ano de 2004, publicou sua primeira declaração científica sobre poluição do ar e o desenvolvimento de doenças cardiovasculares, com objetivo de fornecer aos profissionais de saúde, pesquisadores e agências de regulação do ar, evidências científicas para educar a equipe de saúde sobre esta questão e orientar pesquisas futuras. A exposição a poluentes atmosféricos a curto prazo pode contribuir para morbimortalidade cardiovascular aguda e a longo prazo pode reduzir a expectativa de vida em alguns anos e promover o desenvolvimento de doenças crônicas (Brook *et al.*, 2008).

Brook *et al.* (2008) evidenciaram em seu estudo de revisão que elevações de curto prazo nos níveis diários de material particulado, dióxido de nitrogênio e ozônio levam ao maior risco de mortalidade relacionada às doenças cardiovasculares.

A inalação do material particulado é um gatilho para ocorrência de eventos cardiovasculares, que podem se manifestar dentro de horas ou dias após a exposição, aumentando o risco cardiovascular agudo em milhões de pessoas suscetíveis em todo o mundo, de maneira muitas vezes discreta, e provocando inúmeras respostas biológicas adversas (por exemplo, inflamação sistêmica) que, na premissa, podem

aumentar ainda mais o risco cardiovascular a longo prazo após meses ou anos de exposição (Braga *et al.*, 2001; Brook *et al.*, 2008; Hee *et al.*, 2009).

Um estudo realizado na cidade de São Paulo demonstrou uma forte associação entre o aumento de SO₂ e o número de internações hospitalares por infarto agudo do miocárdio (Cendon, 2006).

Segundo Cançado *et al.* (2006a) há um aumento de internações e mortes por arritmia e doença isquêmica do miocárdio e cerebral, sendo que os idosos constituem a população mais susceptível ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares, principalmente quando são tabagistas, sedentários e estão expostos a poluição do ar.

Desde 1970 estudos epidemiológicos realizados no mundo demonstraram a associação entre o PM_{2,5} e os efeitos adversos à saúde humana. Entre os anos 1980 e 1990 foi evidenciada a relação entre os níveis de poluição atmosférica e a mortalidade. A doença cardiovascular foi vista então como a principal causa de morbimortalidade regulada pela poluição do ar, estando associada principalmente às emissões de PM_{2,5} à longo prazo (Brook, 2008).

A base fisiopatológica da relação entre os poluentes atmosféricos e o desenvolvimento de doenças cardiovasculares ainda são inexplicáveis (Nascimento, 2012). Mesmo com o limitado conhecimento sobre como o material particulado age no organismo humano, propiciando o desenvolvimento de doenças cardiovasculares (Pope *et al.*, 2004), estudos experimentais e observacionais têm apresentado evidências consistentes sobre os efeitos da poluição do ar, na morbimortalidade por doenças cardiovasculares, gerando consequências agudas ou crônicas (Cançado *et al.*, 2006a). Vários estudos evidenciam a relação entre a poluição atmosférica e doenças cardiovasculares como doenças coronárias (Kan *et al.*, 2007; Simkhovich *et al.*, 2009), arritmia (Santos *et al.*, 2008), infarto agudo do miocárdio (D'ippoliti *et al.*, 2003) e falhas cardíacas (Wellenius *et al.*, 2006).

Os efeitos diretos da poluição do ar fornecem uma explicação plausível para a ocorrência de respostas cardiovasculares rápidas, como o infarto do miocárdio ou efeitos indiretos crônicos por meio do estresse oxidativo, que por meio dos poluentes inalados, contribuem para um quadro inflamatório sistêmico, que pode ser capaz de ativar as vias hemostáticas, prejudicar a função vascular e acelerar a aterosclerose (Machin e Nascimento, 2018).

Fisiopatologicamente pode-se dizer que a poluição atmosférica está associada ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares devido ao aumento da viscosidade

sanguínea, de marcadores inflamatórios (proteína C reativa, fibrinogênio), redução da variabilidade da frequência cardíaca (indicador de risco para arritmia e morte súbita), vasoconstrição, aumento da pressão arterial (Cançado *et al.*, 2006b), disfunção endotelial, alterações sistêmicas pró trombóticas, coagulantes e inflamatórias e ao estresse oxidativo, gerando um desequilíbrio autonômico, presença de arritmias, progressão da aterosclerose (Brook, 2008), e efeitos diretos sobre a função autonômica do coração, observada pelas alterações na frequência cardíaca e arritmias (Dockery, 2001).

A exposição ao material particulado fino (PM_{2,5}) por horas ou dias está associada ao aumento do risco em ter um infarto do miocárdio, arritmia ou exacerbação da insuficiência cardíaca. Além disso, residir em áreas com níveis mais altos de material particulado, a longo prazo aumenta o risco de morbimortalidade cardiovascular (Brook, 2008).

Achilleos *et al.* (2017) em seu estudo de revisão constataram um aumento de 0,80% na mortalidade cardiovascular por aumento de 10 µg/m³ / m³ em PM_{2,5}.

Nascimento e Francisco (2013) confirmam em sua pesquisa realizada na cidade de São José dos Campos que a exposição a partículas em concentrações abaixo do limiar mínimo recomendado pela lei brasileira desempenha um papel importante no número de admissões hospitalares por hipertensão.

Uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a exposição da população a essas fontes de poluição e sobre como elas afetam a saúde humana, tornando os indivíduos mais suscetíveis, é necessária para ajudar no desenvolvimento de políticas ambientais e de saúde mais eficazes (Brook, 2008).

3 MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

A cidade do estudo, Taubaté, fica localizada no interior do estado de São Paulo, conforme Figura 1.

Figura 1: Localização de Taubaté, interior de São Paulo



Fonte: Adaptado pelo autor

Taubaté está situada na região Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, com uma população de mais de 320 mil habitantes. Está localizada na América do Sul, a $23^{\circ} 01' 33''$ S $45^{\circ} 33' 31''$ O, com clima tropical de altitude, com verões quentes e úmidos, invernos amenos e secos. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), desde 1992, a menor temperatura registrada em Taubaté foi de $0,9^{\circ}\text{C}$ e a maior atingiu $40,1^{\circ}\text{C}$. Este município possui índice de desenvolvimento humano (IDH) igual a 0,800 e densidade de 508,7 hab./km². Segundo dados do IBGE Taubaté possui uma frota veicular de 223968, sendo desses veículos 3317 correspondente a caminhões e 133633 automóveis. (IBGE, 2023)

Os níveis de poluição em Taubaté são determinados principalmente pelas emissões das indústrias locais, bem como pela grande quantidade de veículos pesados que passam pela rodovia Presidente Dutra, que liga as duas principais metrópoles do país, São Paulo e Rio de Janeiro. Além também das emissões

industriais de cidades vizinhas. É o segundo maior polo industrial e comercial de sua mesorregião, abrigando empresas como Volkswagen, LG, GE, Usiminas, Cameron, Embraer, (Centro de distribuição e o Centro de Serviços Integrados - CSI), Elevadores Villarta, entre outras (IBGE, 2023).

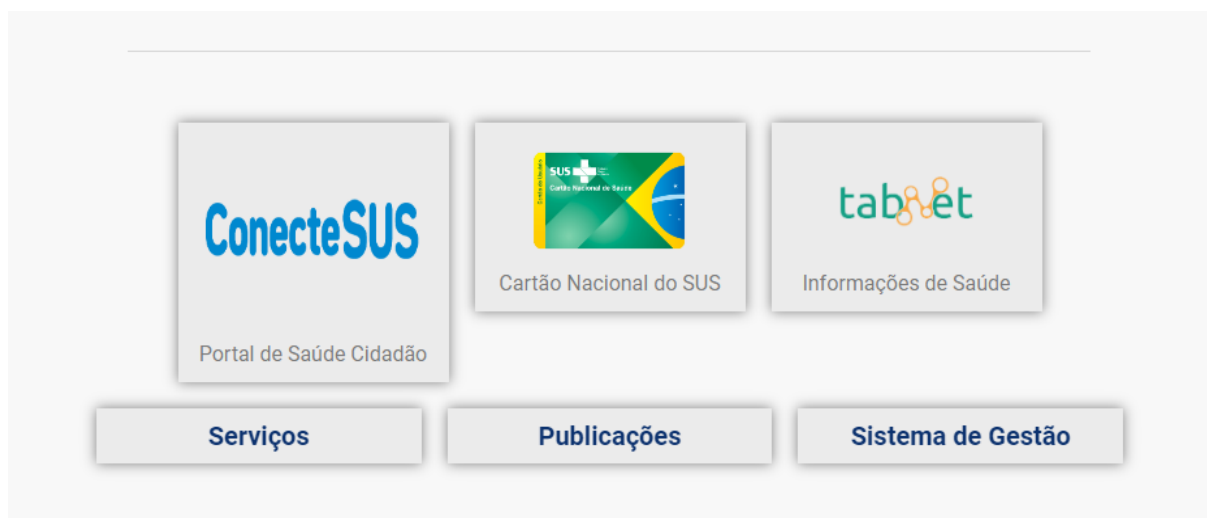
3.2 COLETA DE DADOS

Trata-se de estudo epidemiológico, ecológico de séries temporais com dados relativos a internações por doenças cardiovasculares para o sistema circulatório que se referem a diagnósticos, de acordo com a revisão DA CID-10, hipertensão arterial (I10 e I15,) doença isquêmica do coração (código I20 a I25), insuficiência cardíaca congestiva (código I 50) e doença cerebrovascular (código I 60 até I 64). E para o sistema respiratório referente a pneumonia (J12 a J18; J20 a J21); Asma e bronquite (J44 e J45) no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018. Foi escolhido este período por se tratar dos anos em que os dados referentes aos poluentes atmosféricos se encontravam mais completos.

Os dados referentes às internações hospitalares e óbitos que ocorreram no município de Taubaté - SP foram coletados por meio do Departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS), constantes no Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIHSUS), disponível no portal por meio do site: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901>.

Para obter os dados de internação foi realizado o seguinte caminho: no portal do DATASUS foi selecionado o campo Acesso à Informação, Informações de Saúde (TABNET) e Epidemiológicas e Morbidade (Figura 2), na página seguinte foi selecionado Morbidade Hospitalar do SUS (SIH/SUS), conforme mostra a Figura 3.

Figura 2: Portal DATASUS



Fonte: DATASUS (2024).

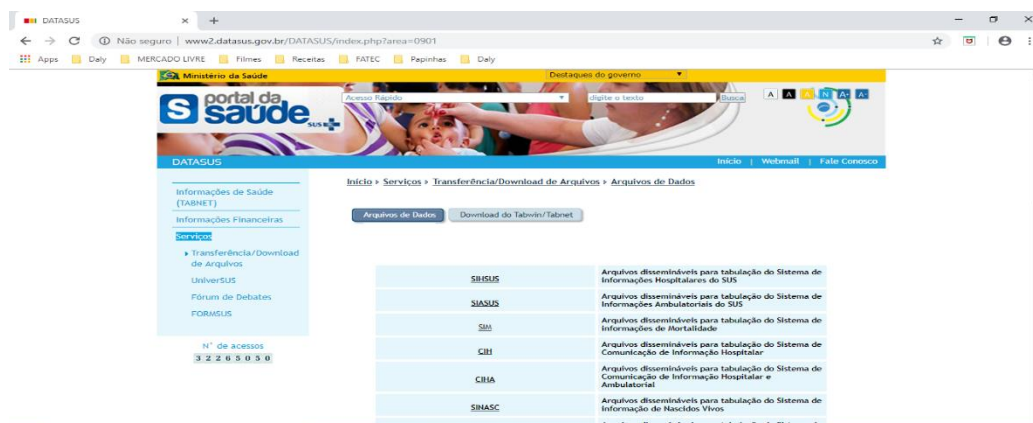
Figura 3: Caminho para acesso aos arquivos do DATASUS

▶ Indicadores de Saúde e Pactuações
▶ Assistência à Saúde
▶ Epidemiológicas e Morbidade
▶ Rede Assistencial
▶ Estatísticas Vitais
▶ Demográficas e Socioeconômicas
▶ Inquéritos e Pesquisas
▶ Saúde Suplementar (ANS)
▶ Informações Financeiras
▶ Estatísticas de acesso ao TABNET

Fonte: DATASUS (2024).

Em seguida foi selecionada a opção: Serviços, Transferência/Download de Arquivos e SIHSUS (Sistema de Informações Hospitalares do SUS), conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4: Caminho para obter a planilha DATASUS



Fonte: DATASUS (2022).

Após selecionado: dados, RD – AIH Reduzida, 2016, SP e todos os meses, foi clicado no ícone enviar (Figura 5).

Figura 5: Arquivo para baixar planilhas DATASUS

CONSULTA

SIHSUS

Selecione uma ou mais modalidades de Arquivos para Download:

Arquivos Auxiliares de Tabulação
Dados
Documentação

Selecione um ou mais tipos de Arquivo

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

Selecione o Ano: 2018
2017
2016
2015

Selecione uma ou mais UF

RO
RR
RS
SC
SE
SP
TO

Selecione um ou mais Meses

Junho
Julho
Agosto
Setembro
Outubro
Novembro
Dezembro

Enviar

Fonte: DATASUS (2022).

Figura 8: Planilha filtrada

ANO_CMPT	MUNIC_RES	SEXO	DT_INTER	DT_SAIDA	DIAG_PRINC	IDADE	MORTE
2016	354990	1	20160101	20160102	I48	87	1
2016	354990	3	20160101	20160108	I490	78	0
2016	354990	1	20160101	20160104	I64	66	0
2016	354990	3	20160101	20160106	J189	89	1
2016	354990	3	20160101	20160103	J189	35	0
2016	354990	1	20160101	20160108	J189	72	0
2016	354990	1	20160102	20160107	I248	51	0
2016	354990	1	20160102	20160107	I64	70	0
2016	354990	1	20160102	20160117	I64	68	0
2016	354990	3	20160102	20160104	I64	79	0
2016	354990	1	20160102	20160105	I743	57	0
2016	354990	3	20160102	20160112	J189	3	0
2016	354990	1	20160102	20160105	J189	79	0
2016	354990	1	20160102	20160112	J448	70	0
2016	354990	1	20160102	20160102	J958	17	0
2016	354990	3	20160103	20160104	I209	82	0
2016	354990	1	20160103	20160107	I209	45	0
2016	354990	3	20160103	20160109	J158	35	1

Fonte: DATASUS (2019).

Os dados referentes aos níveis diários de concentração dos poluentes NO₂, O₃, PM₁₀ e PM_{2,5}, na cidade de Taubaté - SP foram coletados junto à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por meio do site <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/> acessado em 10 jan. 2021, conforme Figura 9 e selecionados AR – QUALAR. Os valores de FG (fração grossa) foram calculados, posteriormente, sendo a diferença em massa entre PM₁₀ e PM_{2,5}.

Figura 9: Portal CETESB

Qualidade do Ar

Qualar

ATENÇÃO:

A PARTIR DE 07/01/2022 AS CONSULTAS/RELATÓRIOS QUE APRESENTAM RESULTADOS DE ULTRAPASSAGEM DOS PADRÕES DE QUALIDADE DO AR, MESMO DE DADOS ANTERIORES A ESTA DATA, TÊM COMO REFERÊNCIA OS NOVOS PADRÕES QUE ENTRARAM VIGOR EM 01/01/2022 (DELIBERAÇÃO CONSEMA Nº 4/2021/DECRETO ESTADUAL Nº 59.113/2013).

O que você procura?

Pesquisar

APLICATIVOS

Fonte: CETESB (2024)

Em seguida foi realizado o login no sistema QUALAR conforme Figura 10.

Figura 10: QUALAR – Sistema de informações de qualidade do ar

QUALAR – SISTEMA DE INFORMAÇÕES DA QUALIDADE DO AR

Digite os Dados

Login:

Senha:

[Alterar Senha](#) | [Não sou Cadastrado](#)

Novo sistema de autenticação está vigente, a partir de 01/11/2016.

Favor, realizar o cadastro novamente. Clique em "Não sou Cadastrado".

Funcionário Cetesb ainda não cadastrado contatar o Setor de Processos Institucionais e Gestão da Tecnologia da Informação - AIPG.

Fonte: CETESB (2024)

Após, conforme Figura 11, foi selecionado o item "Relatórios – Valores Diários".

Figura 11: Acessando os dados

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DA QUALIDADE DO AR V 3.83

Karen Thelita Pereira

Processos - Exportar Dados

EXPORTAR DADOS

☒ Valores Diários ☐ Hora ☐ Manual ☐ Passivo

☐ Médias Mensais ☐ Média Móvel

☐ Ultrapassagens ☐ dados Inválidos

☐ Representatividade ☐ Concentração - Rede Manual

☐ Caracterização das Estações ☐ Índice Ventilação Anual

☐ Distribuição de Frequência ☐ Frequência Inversão Térmica

☐ Gerar Gráfico de Parâmetro ☐ Gerar Gráfico Comparativo

Ativar o Windows
Acesse Configurações para ativar o Windows.

Fonte: CETESB (2020)

Em seguida, foram escolhidas as variáveis de interesse em consonância com o estudo e selecionadas para criação do relatório conforme mostra a Figura 12, após clicar em “Gerar”.

Figura 12: Gerando os dados

Fonte: CETESB (2020)

Os valores diários referentes a umidade do ar e temperatura do ar foram coletados no banco de dados da Cetesb.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para estimar o Risco Relativo (RR) das internações foi utilizado o Modelo Aditivo Generalizado de Poisson (MAG), usando o programa Stata V10. Este modelo está indicado pois os dados são dados de contagem e têm distribuição de probabilidade de Poisson.

Essa análise permitiu verificar a associação entre os níveis de NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2,5}, fração grossa (PM₁₀-PM_{2,5}), SO₂ e o número de internações hospitalares por doenças cardiovasculares e respiratórias. Para isso foi elaborado um banco de dados diários com as internações, as concentrações de cada poluente e as variáveis climáticas (temperatura e umidade do ar). Foram realizadas análises univariadas e multivariadas, sendo que quando utilizado o PM₁₀, não foram utilizados os dados referentes ao PM_{2,5} e fração grossa. Todos os dados foram ajustados pela temperatura média, mínima, máxima, umidade relativa do ar, sazonalidade e dias da semana.

Os dias da semana e sazonalidade foram as variáveis de controle. Nos finais de semana o número de atendimentos hospitalares é menor do que nos dias de

semana, por isso, em estudos sobre o impacto da poluição atmosférica na saúde, é necessário levar em consideração a tendência temporal. A sazonalidade a longo prazo é uma importante tendência temporal, pois os fatores meteorológicos e a concentração de poluentes variam durante o ano. A temperatura média, mínima e máxima do ar e a umidade média relativa, estão correlacionadas com as taxas de internação hospitalar e sua inclusão altera os coeficientes e riscos relativos de maneira importante (TADANO, 2007).

3.3.1 Regressão de Poisson

Os valores obtidos com a regressão de Poisson entre a variável dependente (internações por doenças cardiovasculares e respiratórias) e as variáveis independentes (poluentes) foram apresentados em forma de Tabelas. O estudo levou em consideração a defasagem de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias pelos efeitos da exposição poderem ser notados no mesmo dia ou em até sete dias após a exposição.

O modelo de Regressão de Poisson surgiu na década de 1970 quando Wedderburn em 1974 desenvolveu a teoria da quasi-verossimilhança, analisada detalhadamente por McCullagh em 1983. É um tipo específico dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) e dos Modelos Aditivos Generalizados (MAG) e tem como característica levar em consideração o total de pessoas com um determinado desfecho (McCullagh e Nelder, 1989).

A variável resposta de uma regressão de Poisson deve seguir uma distribuição de Poisson. Ou seja, os possíveis valores desta variável devem ser uma contagem (0, 1, 2,) e a distribuição dos dados deve possuir média igual à dispersão, isto é, a média da variável resposta deve ser igual à sua variância. Entretanto, conforme Tadano (2009), quando se trabalha com dados experimentais, esta propriedade é frequentemente violada. Assim, pode-se ter uma superdispersão, quando a variância é maior que a média ou uma subdispersão, quando a variância é menor que a média. Nestes casos, ainda é possível aplicar o modelo de Poisson realizando alguns ajustes. A regressão de Poisson é uma medida de associação linear entre variáveis, definida pela seguinte fórmula:

$$\ln(E) = \beta_0 + \beta_1(\text{temp}) + \beta_2(\text{umid}) + \beta_3(\text{concPOL}) + \beta_4(\text{DS}) + \beta_5(\text{DC}) \quad (1)$$

3.3.2 Correlação de Pearson

Para correlacionar as variáveis e estimar o risco dos despechos segundo a exposição aos diferentes poluentes do ar foi utilizada a Correlação de Pearson, por meio do programa STATA.

A Correlação de Pearson geralmente é utilizada em estudos que envolvem duas ou mais variáveis, para conhecer como elas se relacionam entre si. O Coeficiente de Correlação Linear de Pearson foi o primeiro método de correlação, estudado por Francis Galton e seu aluno Karl Pearson, em 1897 (Schultz e Schultz, 1992).

O coeficiente de correlação é a medida que mostra o grau de relacionamento entre duas variáveis. A correlação simples envolve duas variáveis: X e Y. A relação entre duas variáveis pode ser linear simples quando o valor de uma pode ser obtido aproximadamente por meio da equação da reta, sendo possível ajustar uma reta da forma $Y = \alpha + \beta X$ aos dados, ou não linear, quando não for possível o ajuste da equação anterior (Garcia e Gomes, 2017).

Análise de correlação é o método que permite estudar as relações ou associações, mostrando o grau de relacionamento entre as variáveis, fornecendo um número e indicando como as variáveis variam conjuntamente, sem que haja necessidade de definir as relações de causa e efeito, ou seja, qual é a variável dependente e a independente (Lira, 2004).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis, definida pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \quad (2)$$

A correlação de Pearson (r) é uma medida da variância compartilhada entre duas variáveis. O modelo linear supõe que o aumento ou declínio de uma unidade na variável X gera o mesmo impacto em Y. Em termos gráficos, a melhor forma de ilustrar a relação entre duas variáveis é por meio de uma linha reta (Figueiredo Filho e Silva Junior, 2009).

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1 e “s” é o desvio padrão amostral. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra e uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. Quanto mais perto de 1 (independente do sinal) maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis e quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação (Figueiredo Filho e Silva Junior, 2009).

3.3.3 Binomial negativa

Como os dados de internação são dados de contagem e podem ter variância diferente da média foi para análise estatística utilizado a análise multivariada de regressão binomial negativa.

A regressão permite obter os valores de média, desvio padrão, mínimo e máximo do período em estudo. Utilizando os valores dos coeficientes de regressão; quantidade de internações; concentração de poluentes do ar em Taubaté; valor da umidade relativa; valor da temperatura em °C; tendência de longo prazo; e o dia da semana.

Os valores diários de internação foram analisados de acordo com as concentrações de poluentes e valores mínimos de temperatura, com defasagens de 0 a 7 dias (lag 0 - lag 7) controlados por dia da semana (tendência de curto prazo) e por dia do calendário (tendência de longa duração), pois os efeitos podem não ser notados no mesmo dia após a exposição, mas até 7 dias depois. conforme a equação 3.

$$\text{Log} [\mu] = \beta + \beta_1(\text{Tmin}) + \beta_2(\text{UR}) + \beta_3(\text{DS}) + \beta_4(\text{DC}) \quad (3)$$

Em seguida, foi construído um modelo incluindo a amplitude térmica para identificar o possível papel deste poluente nos efeitos da temperatura mínima quanto ao risco de internações.

$$\text{Log} [\mu] = \beta + \beta_1(\text{Tmin}) + \beta_2(\text{amplitude}) + \beta_3(\text{UR}) + \beta_4(\text{DS}) + \beta_5(\text{DC}) \quad (4)$$

O mesmo foi feito com a temperatura máxima, equação 5.

$$\text{Log} [\mu] = \beta + \beta_1(\text{Tmax}) + \beta_2(\text{UR}) + \beta_3(\text{DS}) + \beta_4(\text{DC}) \quad (5)$$

Em seguida foi adicionada amplitude térmica a temperatura máxima, equação 6.

$$\text{Log} [\mu] = \beta + \beta_1(T_{\text{max}}) + \beta_2(\text{amplitude}) + \beta_3(\text{UR}) + \beta_4(\text{DS}) + \beta_5(\text{DC}) \quad (6)$$

Os coeficientes β_i fornecidos pelo modelo para as concentrações de temperatura máxima (T_{max}) que apresentaram valor $p < 0,05$ foram incluídos no modelo final e transformados em aumento percentual no risco relativo (RR) de acordo com a expressão $\text{RR} = [\exp(\beta_i \cdot \Delta T_{\text{max}}) - 1] \cdot 100$ onde ΔT_{max} é a diferença interquartil para a temperatura mínima. A razão proporcional atribuível (PAR) dada pela expressão $\text{PAR} = 1 - (1/\text{RR})$ e a fração atribuível populacional (PAF) dada pela expressão $\text{PAF} = \text{PAR} \cdot N$ foram estimadas, onde N é o total do desfecho estudado, neste caso, internações por doenças respiratórias em crianças. Foram estimados os custos dessas internações no Sistema Único de Saúde (SUS).

3.4 ASPECTOS ÉTICOS

Por ser um estudo realizado com dados de acesso público, no qual não é possível a identificação do sujeito, não foi necessário o parecer do Comitê de Ética em Pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados um total de 1619 internações por doenças respiratórias referentes ao CID J12 a J18; J20 a J21; J44 e J45 no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018. Dessas internações 271 (16,7%) correspondem a crianças menores de 14 anos de idade e 1074 (66,3%) correspondem a adultos acima de 50 anos. Nas internações por doenças cardiovasculares foram identificadas 4560 internações na cidade de Taubaté, SP, dessa, 2806 são referentes ao CID I10 a I15; I20 ao I25; I50 e I60 ao I64. No período de janeiro de 2016 a dezembro de 2018 a média e desvio padrão dos valores podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1. Média e desvio padrão, mínimos e máximos das variáveis analisadas no período de 2016 a 2018, Taubaté – SP.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Min	Max
Temperatura Max (°C)	28,0	4,0	15,7	37,1
Amplitude temp.(°C)	10,4	3,5	0	19,3
UR (%)	71,9	9,6	38,5	95,5
PM _{2,5} (µg/m ³)	12,9	6,5	2,6	52,5
O ₃ (µg/m ³)	41,8	13,8	1,9	94,9
SO ₂ (µg/m ³)	1,0	0,5	0,1	4,7
NO ₂ (µg/m ³)	16,1	6,9	2,9	50,3
CO (ppb)	372,9	127,4	0,1	1491,3
Internações respiratórias < 14 anos	0,3	0,5	0	3,0
Internações respiratórias > 50 anos	0,9	1,1	0	6,0
Internações cardiovasculares	2,6	1,9	0	15,0

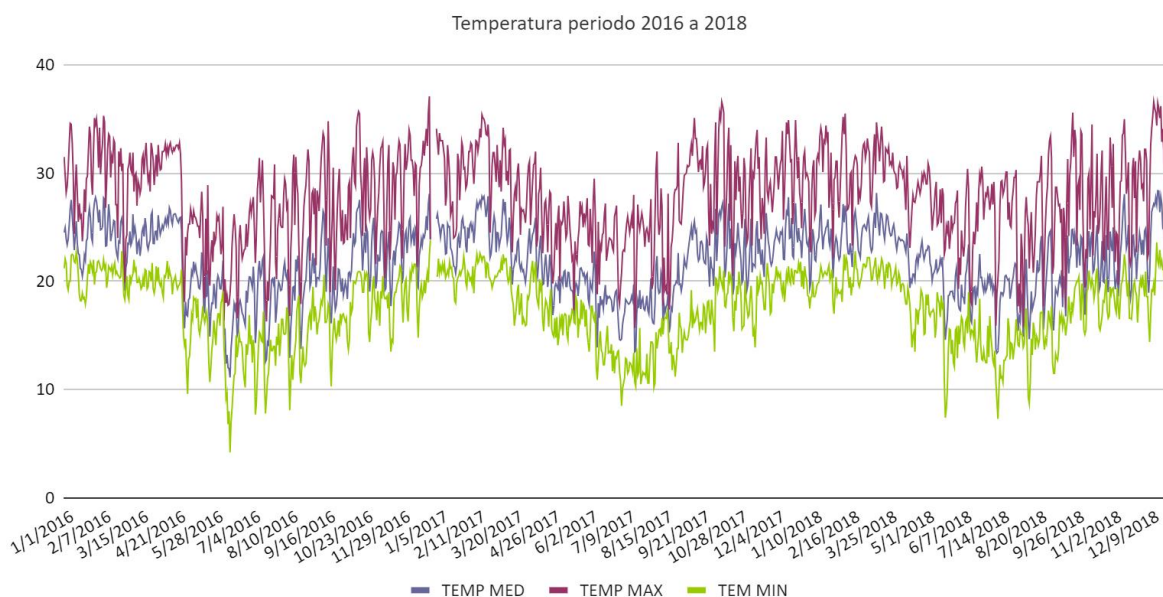
Fonte: Elaborado pelo Autor

A concentração de poluentes observada no período apresentou uma média dentro dos padrões estabelecidos pela OMS, porém ao observar os dias separadamente, pode ser notado que o poluente PM_{2,5} apresentou um pico máximo

de $52,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que o valor máximo diário considerado seguro pela OMS é de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O Ozônio não registrou valores acima dos padrões da OMS, com pico de $94,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no entanto mesmo assim é considerado um valor alto já que se encontra próximo ao limite padrão estipulado pela OMS que é $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O NO_2 manteve-se dentro do padrão aceitável durante o período estudado. No entanto, no ano de 2021 a OMS publicou novas diretrizes para ajustes nos padrões de qualidade do ar, reduzindo ainda mais os limites de poluentes na atmosfera, porém por ser recente os países ainda não adotaram esses padrões. O mais afetado é o poluente $\text{PM}_{2,5}$ que é reduzido a uma concentração limite de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se comparado ao definido pela OMS em 2005 o $\text{PM}_{2,5}$ já apresentou picos que ultrapassam os limites de segurança, com os novos padrões essa diferença é ainda maior, sendo que o limite de segurança cai para $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tendo a temperatura como um dos fatores das mudanças climáticas é possível observar a variação de temperatura no período de 2016 a 2018 da cidade de Taubaté -SP na figura 13. Com temperaturas máximas podendo chegar a 37°C e mínimas de até 4°C , observa-se uma amplitude térmica bem elevada podendo chegar até 19°C de diferença entre as temperaturas no mesmo dia.

Figura 13. Variação de temperatura no período de 2016 a 2018 na cidade de Taubaté-SP.



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.1 APARELHO RESPIRATÓRIO

Os poluentes correlacionados as internações por doenças respiratórias em crianças menores de 14 anos, apresentam comportamentos diferentes de acordo com a temperatura analisada, no caso o SO₂ ao ser analisado com a temperatura mínima tem seus valores de coeficientes maiores do que quando analisado com a temperatura máxima, já o O₃ possui os valores de coeficientes maiores quando analisados junto a temperatura máxima.

Analisando o poluente SO₂ em crianças menores de 14 anos ele apresentou significância positiva no lag2 e lag7, tanto ajustado pela temperatura máxima quanto pela mínima, foi possível observar o efeito potencializador da temperatura mínima no poluente, sendo que o coeficiente do poluente ajustado pela temperatura mínima foi de 0,297(lag2) e 0,289 (lag7), enquanto o mesmo poluente ajustado pela temperatura máxima apresentou um valor de 0,296 (lag2) e 0,287 (lag7).

Já o poluente O₃ em crianças menores de 14 anos apresentou um comportamento oposto, sendo que o ozônio só apresentou significância positiva quando ajustado pela temperatura máxima (lag7). Os demais valores não

apresentaram significância positiva, no entanto fica evidente o efeito potencializador da temperatura máxima no poluente, já que os coeficientes relacionados com a temperatura mínima foram menores que os coeficientes ajustados pela máxima.

Tabela 2. Coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura mínima (1) comparados com os coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura máxima (2), em crianças abaixo de 14 anos, de forma multivariada, Taubaté – SP, 2016-2018.

	O ₃		SO ₂	
	1	2	1	2
Lag 0	0,005	0,007	0,144	0,139
Lag 1	0,012	0,016	0,027	0,024
Lag 2	0,008	0,014	0,297*	0,296*
Lag 3	0,003	0,004	0,031	0,026
Lag 4	-0,001	0,001	0,199	0,196
Lag 5	0,006	0,003	0,005	-0,008
Lag 6	0,004	0,011	0,133	0,132
Lag 7	0,011	0,018*	0,289*	0,287*

*** p<0,05**

Fonte: Elaborado pelo Autor

A significância do poluente SO₂ em adultos acima de 50 anos demonstrou associação positiva mais tardiamente quando comparado a crianças menores de 14 anos. No entanto, quando comparamos o comportamento do SO₂ de acordo com a temperatura máxima ou mínima, observamos algumas diferenças, quanto às significâncias, tanto a temperatura máxima quanto a mínima apresentou associação positiva no lag3. Analisando o efeito potencializador da temperatura nos poluentes, eles variaram de acordo com o período de exposição, no caso a temperatura mínima teve um efeito potencializador no lag0; lag1; lag2 e lag5, enquanto a temperatura máxima demonstrou um efeito potencializador no lag3; lag4; lag6 e lag7. Os valores dos coeficientes podem ser observados na tabela 3.

O poluente NO₂ em adultos acima de 50 anos apresentou diferença de acordo com a temperatura, sendo que quando relacionado com a temperatura máxima

apresentou significância somente no lag0, no entanto ao ser analisado com a temperatura mínima apresentou significância somente no lag7, demonstrando uma associação mais tardia quando associado com a temperatura máxima. Para o NO₂ a temperatura máxima apresentou um efeito potencializador nos primeiros dias após a exposição ao poluente, enquanto a temperatura mínima se mostrou potencializadora nos últimos dias analisados. Os valores dos coeficientes podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3. Coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura mínima (1) comparados com os coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura máxima (2), em adultos acima de 50 anos, de forma multivariada, Taubaté – SP, 2016-2018

	NO ₂		SO ₂	
	1	2	1	2
Lag 0	0,017	0,019*	-0,070	-0,071
Lag 1	0,017	0,021	0,018	0,015
Lag 2	-0,015	-0,012	0,121	0,118
Lag 3	0,014	0,009	0,153*	0,156*
Lag 4	0,005	0,004	0,011	0,012
Lag 5	-0,002	0,004	-0,029	-0,034
Lag 6	0,017	0,015	0,076	0,079
Lag 7	0,024*	0,017*	-0,015	-0,010

* p<0,05

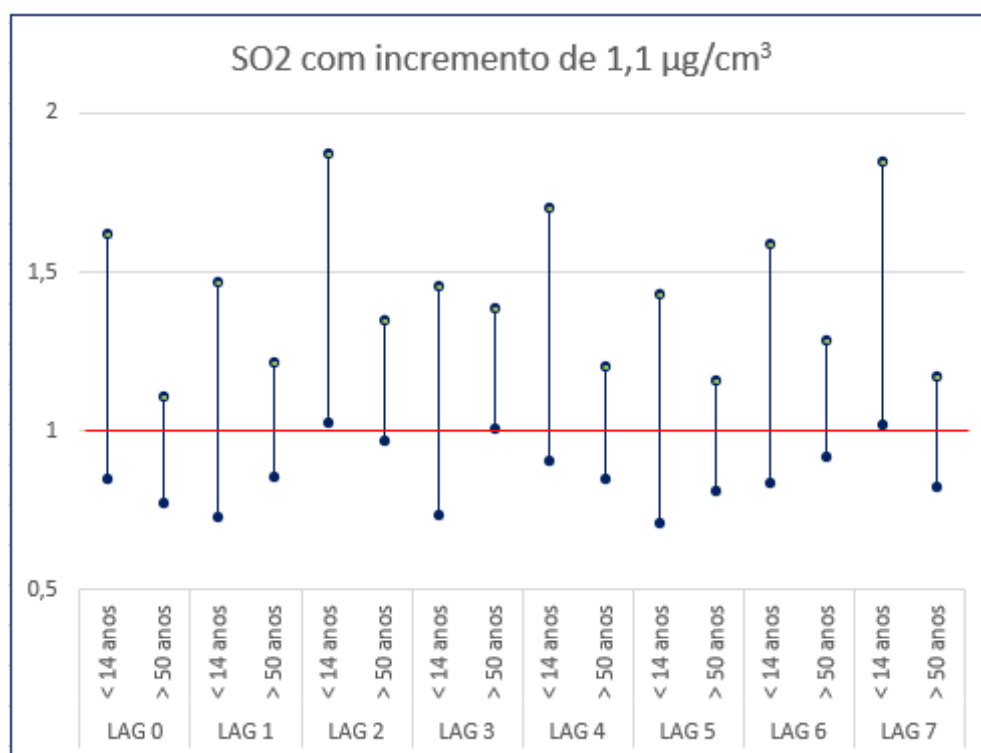
Fonte: Elaborado pelo Autor

Quanto ao coeficiente de temperatura, ela não apresentou significância positiva em crianças abaixo de 14 anos, no entanto em adultos acima de 50 anos somente a temperatura mínima apresentou significância positiva após 7 dias (lag7) [IRR = 1,034(1,005-1,064)].

Um aumento de 1,1 µg/cm³ na concentração de SO₂ aumentaria o risco relativo nas interações por doenças respiratórias, podendo ser observados na figura 14. O

lag 2 e lag 7 apresentaram um maior risco relativo para crianças menores de 14 anos, já para adultos acima de 50 anos de idade o lag 3 apresentou um maior risco relativo. Os valores do risco relativo de SO₂ com incremento de 1,1 µg/cm³, podem ser observados na figura 14.

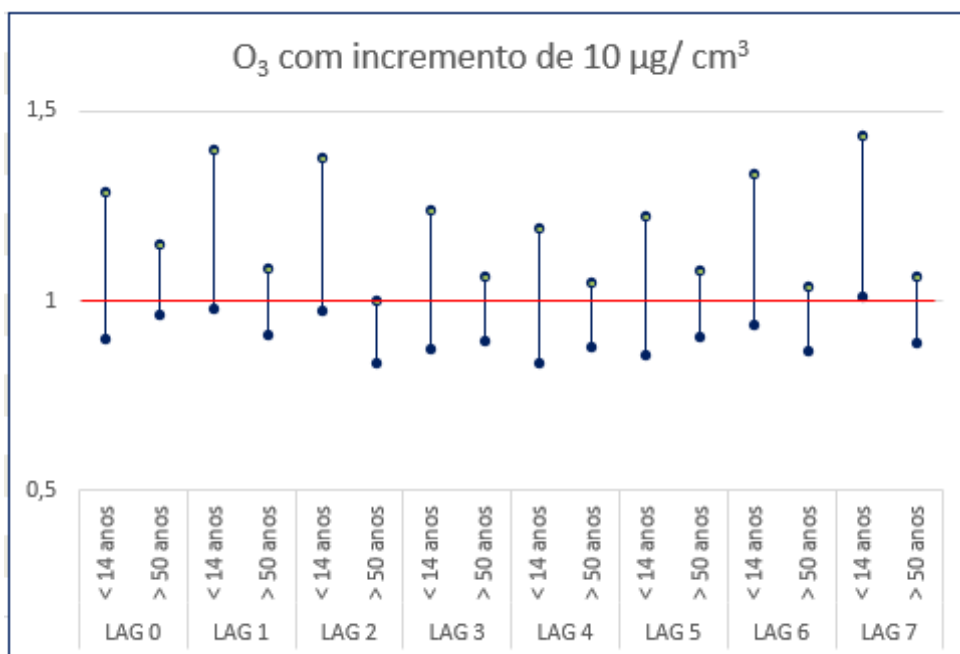
Figura 14. Risco Relativo das internações por doenças do aparelho respiratório com incremento de 1,1 µg/cm³ de SO₂. Taubaté – SP, 2016-2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Um aumento de 10 µg/cm³ na concentração de O₃ aumentaria o risco relativo nas internações por doenças respiratórias, podendo ser observados na figura 14. O lag 7 apresentou um maior risco relativo para crianças menores de 14 anos apresentando um maior risco relativo. Os valores do risco relativo de O₃ com incremento de 10 µg/cm³, pode ser observado na figura 15.

Figura 15. Risco Relativo das internações por doenças do aparelho respiratório com incremento de $10 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de O_3 . Taubaté – SP, 2016-2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2 APARELHO CIRCULATÓRIO

Analisando no modelo multivariada, adicionando somente a temperatura o poluente SO_2 apresentou significância positiva no lag 07(0,114), e quando se adicionou a amplitude térmica foi possível notar uma potencialização do efeito da amplitude no SO_2 (0,117). Já o NO_2 apresentou significância positiva no lag 0 (0,0152) somente com a temperatura máxima, quando adicionado a amplitude, o poluente também apresentou um aumento no seu coeficiente lag 07(0,0175), demonstrando o efeito potencializador da amplitude dos poluentes e internações. Os valores dos coeficientes somente com a temperatura máxima podem ser observados na tabela 3, enquanto o valor dos coeficientes adicionando a amplitude térmica podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura máxima (1) comparados com os coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura máxima adicionando a amplitude como possível potencializador (2), em adultos acima de 50 anos, de forma multivariada, Taubaté – SP, 2016-2018

	SO2		NO2	
	1	2	1	2
lag0	-0,0265	-0,0275	0,0152*	0,0175 *
lag1	-0,0106	-0,0105	0,0068	0,0067
lag2	0,0192	0,0190	0,0111	0,0118
lag3	-0,0057	-0,0057	0,0039	0,0067
lag4	0,0615	0,0622	0,0058	0,0031
lag5	-0,0294	-0,0267	0,0026	-0,0029
lag6	0,0731	0,0743	-0,0041	-0,0079
lag7	0,1146*	0,1169*	0,0121	0,0061

***p<0,05**

Fonte: Elaborado pelo Autor

O O₃ apesar de não apresentar significância positiva teve seu efeito potencializado pela amplitude térmica no lag 0. Assim como o PM₁₀ que teve seu efeito potencializado no lag 03 e lag 07 quando adicionado a amplitude térmica o CO não apresentou significância, e nenhuma mudança quando adicionado a amplitude. Os valores dos coeficientes podem ser observados na tabela 5.

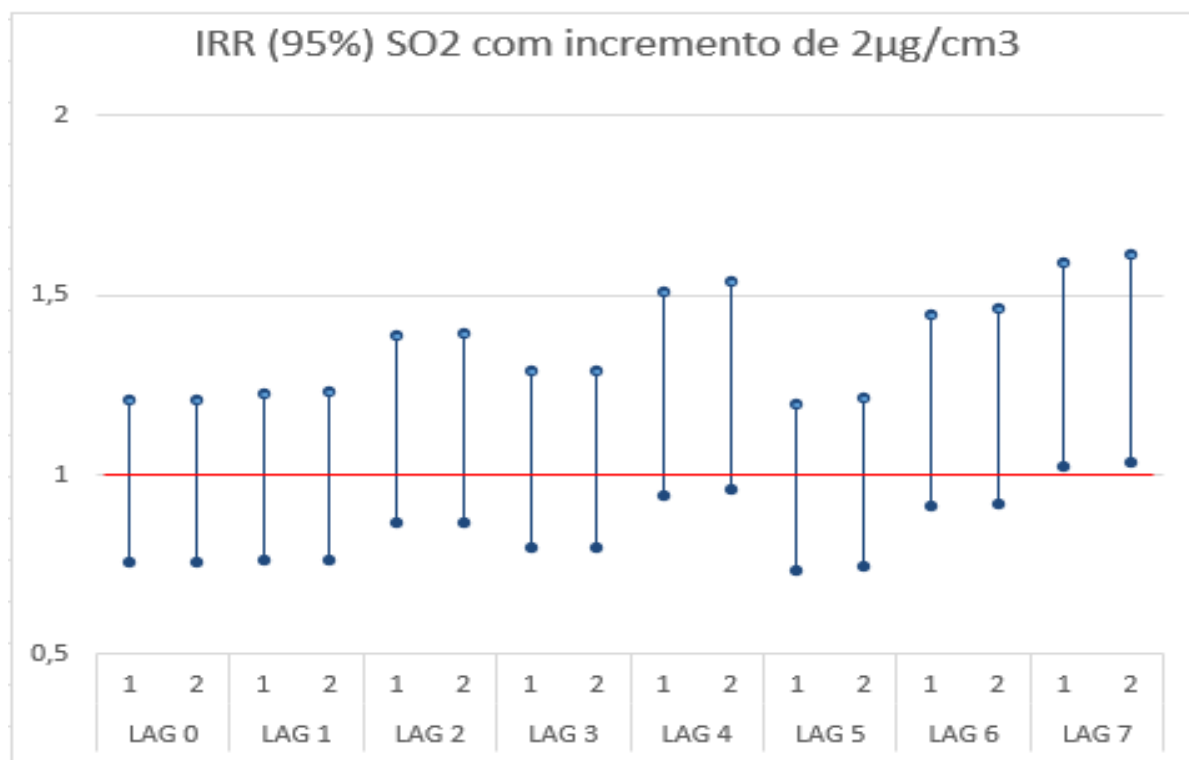
Tabela 5. Coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura maxima (1) comparados com os coeficientes dos poluentes relacionados com a temperatura máxima adicionando a amplitude como possível potencializador (2), em adultos acima de 50 anos, de forma multivariada, Taubaté – SP, 2016-2018.

	O ₃		PM ₁₀	
	1	2	1	2
lag0	0,0029	0,0033	-0,0067	-0,0061
lag1	0,0025	0,0024	-0,0065	-0,0066
lag2	-0,0035	-0,0034	-0,0039	-0,0038
lag3	0,0009	0,0014	-0,0053	0,0045
lag4	-0,0006	-0,0011	-0,0066	-0,0075
lag5	-0,0003	-0,0013	-0,0055	-0,0073
lag6	0,0004	-0,0003	-0,0027	-0,0037
lag7	0,0027	0,0018	-0,0091	0,0104

Fonte: Elaborado pelo Autor

Um aumento de $2\mu\text{g}/\text{cm}^3$ na concentração de SO_2 aumentaria o risco relativo nas internações, podendo ser observados na figura 2. O lag 7 apresentou o maior risco relativo, onde estes resultados indicam que 51% das internações podem ser atribuídas a um aumento de $2\mu\text{g}/\text{cm}^3$; o que custaria 5,4 milhões de reais (US\$1,4 milhões) aos cofres públicos, considerando um período de 3 anos. Os valores do risco relativo de SO_2 com incremento de $2\mu\text{g}/\text{cm}^3$, pode ser observado na figura 16.

Figura 16. Índice de risco relativo do poluente SO₂ com incremento de 2 µg/cm³ correlacionados somente com a temperatura máxima (1), adicionando a amplitude térmica (2), de forma multivariada, Taubaté – SP, 2016-2018.

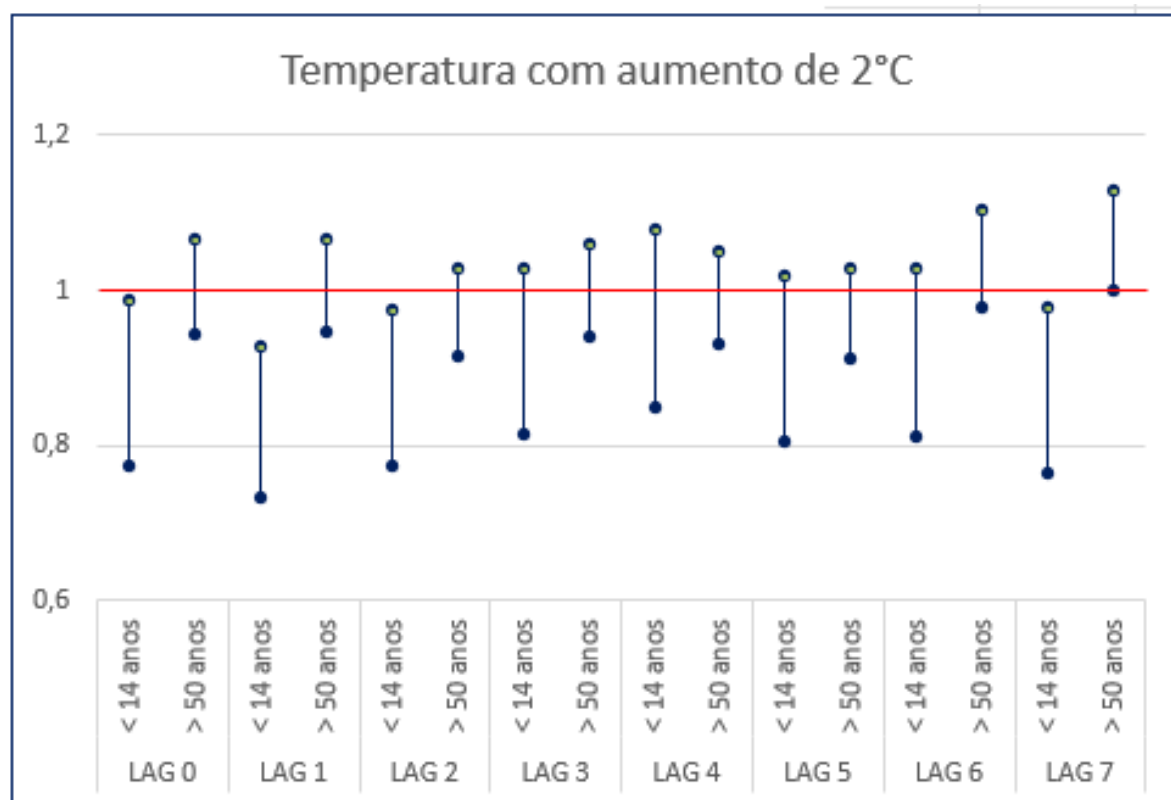


Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3 INCREMENTO DE TEMPERATURA

Caso a temperatura aumente 2°C, esse aumento pode vir a custar aos cofres públicos no prazo de 3 anos cerca de 320 mil reais (U\$ 65 mil) considerando as internações por doenças respiratórias em adultos acima de 50 anos, na cidade de Taubaté, uma cidade de médio porte com cerca de 300 mil habitantes, Pensando em uma escala maior a nível global esse custo pode ser ainda maior, Um estudo realizado na china por Chen F e Chen G (2021) também apontou que um aumento de 10% na poluição do ar resultaria em um aumento de 193,26 bilhões de dólares com gastos nacionais na saúde considerando um período de 30 dias, podendo ser observado na figura 17.

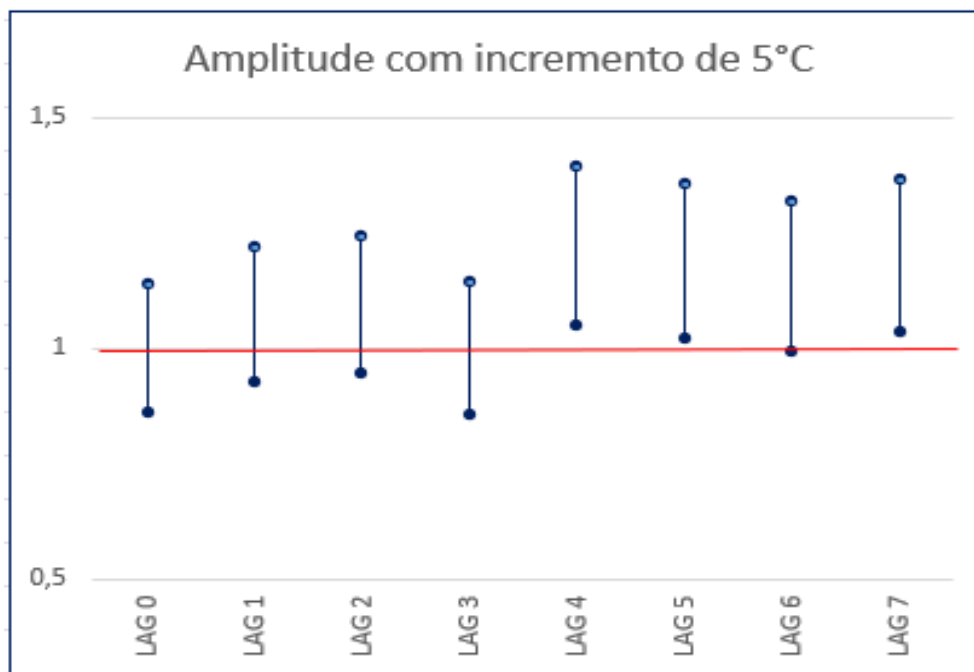
Figura 17. Riscos relativo das internações por doenças respiratórias em crianças abaixo de 14 anos e adultos acima de 50 anos em relação a temperatura máxima com incremento de 2°C, Taubaté – SP, 2016-2018



Fonte: Elaborado pelo Autor

Um aumento de 5°C na amplitude térmica aumentaria o risco relativo nas internações cardiovasculares, podendo ser observados na figura 17. O lag 4 apresentou o maior risco relativo, onde estes resultados indicam que 38% das internações podem ser atribuídas a um aumento de 5°C; o que custaria 4 milhões de reais (U\$815 mil) aos cofres públicos, considerando um período de 3 anos.

Figura 18. Risco Relativo das internações por doenças do aparelho circulatório com incremento de 5°C.Taubaté – SP, 2016-2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor

No presente estudo pode ser observada uma sazonalidade nas concentrações do PM₁₀ e PM_{2,5}, com aumento mais acentuado nos meses de inverno, e picos de concentração nos meses de julho e agosto, o que corrobora com os estudos de Ribeiro et al. (2019), realizado no município de Taubaté-SP que também encontrou um aumento de PM_{2,5} entre os meses de julho a outubro e Braga et al. (2007) que observou uma sazonalidade nas concentrações do PM₁₀, com aumento mais acentuado nos meses de inverno, de abril a agosto, em Itabira -MG.

Na primavera e verão há menores índices de concentrações de PM₁₀, devido a ocorrência de altas temperaturas e chuvas regulares, fazendo com que os poluentes de forma geral, sejam removidos por deposição úmida (Silva et al., 2018). Já no outono e inverno, com a diminuição da temperatura, a atmosfera fica com menor teor de umidade e, com isso, as chuvas diminuem e consequentemente os índices de poluição aumentam (Silva et al., 2018; Silveira et al., 2021).

A variação da temperatura contribui para a ocorrência e a distribuição das chuvas nas diferentes épocas do ano e conseqüentemente oferecem um papel na remoção dos poluentes da atmosfera (Santos *et al.*, 2019).

A rápida mudança de temperatura e as ocorrências de eventos extremos podem interferir significativamente no desempenho do corpo humano e deixar o ambiente mais propício às condições que auxiliam no aumento do risco de internações e mortalidade (Morais *et al.*, 2019).

Há diversos estudos relacionando temperatura, ondas de calor e amplitude térmica as internações por doenças cardiovasculares, em diferentes cidades com faixas etárias variadas, entre eles alguns achados apontam a variação de temperatura como possível potencializador desses efeitos, como o demonstrado no estudo de Xu *et al* (2020), onde ele analisou 1814 cidades brasileiras correlacionando o nível socioeconômico e associações entre exposição ao calor e internação por todas as causas.

Ao analisar as associações com incremento de 5°C pode -se constatar um aumento no risco relativo das internações, outro achado também utilizou 5°C de incremento, onde analisando os efeitos da exposição a temperaturas elevadas, constataram que cidades menos desenvolvidas apresentaram associações mais fortes entre exposição ao calor e internações por todas as causas e certos tipos de internações por causas específicas no Brasil; tal estudo realizado por Rowland *et al.* (2021) demonstrou que esse aumento pode aumentar ainda mais as desigualdades econômicas devido à variabilidade climática, sendo a população de baixa renda mais suscetível.

A variação da temperatura não afeta somente o meio ambiente e a saúde da população, ela também gera um enorme gasto a saúde pública, como o encontrado neste estudo de Chen e Chen (2021), onde uma cidade de médio porte caso viesse a ter um aumento de 5°C na amplitude térmica teria como gasto, no período de 3 anos, cerca de 4 milhões de reais (US\$ 815 mil) com internações. Pensando em uma escala maior a nível global esse custo pode ser ainda maior, um estudo realizado na China apontou que um aumento de 10% na poluição do ar resultaria em um aumento de 193,26 bilhões de dólares com gastos nacionais na saúde considerando um período de 30 dias.

Esses achados em Taubaté mostram o efeito da associação da amplitude térmica nessas internações. Geralmente, o papel da temperatura, e da umidade

relativa do ar na série temporal, é ajustar os efeitos da exposição a poluentes atmosféricos sobre os riscos de internações por doenças cardiovasculares. É comum observar que os valores de temperatura geralmente estão negativamente associados às internações, ou seja; quanto maior a temperatura, menor o risco de internação. Essas informações de amplitude não são geralmente incluídas nestes estudos de séries temporais onde as concentrações de poluentes são os alvos específicos como analisado por Ribeiro *et al* 2019 e Zhao *et al* 2019.

Por se tratar de um modelo multivariado, os poluentes foram analisados de acordo com a temperatura mínima, máxima e média. Os dados foram menos significativos/ expressivos quando utilizada a temperatura mínima, e mais expressivos quando utilizada a temperatura máxima, o que difere do estudo de Tuan, Venâncio e Nascimento (2016), que encontraram maior associação entre os poluentes quando utilizaram a temperatura mínima.

O método escolhido para análise dos dados foi o modelo da regressão de Poisson utilizado em outros estudo como Shin *et al.* (2021), no entanto outras técnicas podem ser utilizadas como o modelo Fuzzy e o sistema neuro-fuzzy ANFIS realizado por Castellões *et al.* (2024), onde foi apontado uma comparação desses dois modelos e verificado que a principal desvantagem do sistema neuro-fuzzy ANFIS em comparação ao sistema fuzzy é a necessidade de trabalho computacional mais intenso e uma quantidade significativa de dados para atingir um bom desempenho, mas ambos pode ser utilizados para associações mais complexas.

Na análise multivariada com esse presente estudo verificou que o poluente SO₂ em crianças menores de 14 anos apresentou significância positiva no lag2 e lag7, tanto ajustado pela temperatura máxima quanto pela mínima, foi possível observar o efeito potencializador da temperatura mínima no poluente. Já o poluente O₃ em crianças menores de 14 anos apresentou um comportamento oposto, sendo que o ozônio só apresentou significância positiva quando ajustado pela temperatura máxima (lag7). Os demais valores não apresentaram significância positiva, no entanto fica evidente o efeito potencializador da temperatura máxima no poluente, já que os coeficientes relacionados com a temperatura mínima foram menores que os coeficientes ajustados pela máxima. Diferente do encontrado por Yu *et al.* (2024) onde Exposições independentes a NO₂, CO e SO₂ foram causalmente associadas a riscos

aumentados de mortalidade total, não acidental e cardiovascular, enquanto nenhuma associação evidente com O₃ foi identificada.

Essa estratificação por sexo e idade pode ser encontrada em artigos como o de Shin *et al.* (2022) onde foi verificado que as diferenças de sexo formam mais comuns em hospitalizações respiratórias do que circulatórias, bem como a frequência das hospitalizações são maiores do que na mortalidade. López (2024) também constatou, em Bogotá na Colômbia, um aumento do risco de doenças isquêmicas do coração em 3% na faixa etária entre 45 e 64 anos para o acréscimo de 10 µg/m³ de PM_{2,5}. Ribeiro *et al.* (2019) constatou que um incremento de 5mg/m³ na concentração de PM_{2,5} aumentou o risco de internação em até aproximadamente 18% no município de Taubaté. Zhao *et al.* (2017) analisaram 48 estudos e constataram que aumentando 10 µg/m³ de PM_{2,5}, observa-se uma adição de 17%, ou seja, 5 vezes mais o número de mortalidade e incidência de doenças cardiovasculares.

Reforçando essa pesquisa de Lopez *et al.* (2024) afirmam que o PM_{2,5} está associado às admissões por DPOC-E (doença pulmonar obstrutiva crônica). Durante a estação chuvosa e a temperatura mínima da série, para cada aumento de 10 µg/m³ na concentração de PM_{2,5}, as admissões por DPOC-E (atrasadas de 0-3 dias) aumentaram com RR 1,03 (IC 95%: 1,01-1,06). Uma maior magnitude de associação foi observada em homens (PM_{2,5}, 1,04 IC 95%:1,01 – 1,06 e O₃, 1,04 IC 95%:1,02 – 1,05, defasagem 0-7 dias) do que em mulheres.

O presente estudo apesar de não apresentar significância positiva o PM₁₀ teve seu efeito potencializado pela amplitude térmica no lag 03 e lag 07 quando adicionado a amplitude térmica. De acordo com esse estudo, Nascimento e Francisco (2013), Gouveia *et al.* (2006), Nascimento (2011) constataram respectivamente que a adição de 10µg/m³ de PM₁₀, aumenta entre 9 e 13% em São José dos Campos - SP, 2% em São Paulo – SP e 6% em São José dos Campos – SP, o risco relativo de hospitalizações devido às doenças cardiovasculares. Reforçando os dados encontrados, Braga *et al.* (2007) também observaram um efeito agudo decorrente do acréscimo de PM₁₀ que pode levar ao aumento de mais de 4% nos atendimentos de emergência por doenças cardiovasculares e respiratórias em Itabira. Por fim, Zhao *et al.* (2017) analisaram 48 estudos e constataram que aumentando 10 µg/m³ de PM₁₀, observa-se adição de 12%, ou seja, 4 vezes mais o número de mortalidade e incidência de doenças cardiovasculares.

Os resultados obtidos representam o impacto da poluição atmosférica na saúde da população, com risco de internações e óbitos por doenças cardiovasculares. Estudos observaram uma associação estatisticamente significativa entre o aumento do nível de poluentes na atmosfera e o aumento de hospitalizações (Jin *et al.*, 2022; Dong *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2012; Lin *et al.*, 2020; Devries *et al.*, 2017; Kloog *et al.*, 2014; Ko *et al.*, 2007; Xie, 2019).

Em relação a valoração em termos financeiros, causada pelo impacto decorrente dos poluentes atmosféricos estudados, em Taubaté SP, no cenário mais expressivo, na análise univariada, indicam que 38% das internações podem ser atribuídas a um aumento de 5°C; o que custaria 4 milhões de reais (U\$ 815 mil) aos cofres públicos, considerando um período de 3 anos.

Corroborando com este estudo, pesquisas encontraram um valor bastante expressivo quando analisada a associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos, em especial o material particulado e o número de internações por doenças cardiovasculares. Mantovani *et al.*, (2016) constataram um gasto de R\$1,9 milhão atribuídos a cerca de 650 internações em São José do Rio Preto –SP. Ribeiro, et al. (2019) verificaram no município de Taubaté-SP que cerca de 59 internações poderiam ter sido evitadas, resultando num gasto de aproximadamente US\$ 150.000,00.

Outros estudos também estimaram o custo das internações e óbitos associados aos poluentes atmosféricos, em especial o material particulado. Miraglia e Gouveia (2014) encontraram em seu estudo realizado em 29 regiões metropolitanas um gasto total de US\$1,7 bilhão anualmente, decorrentes das mortes prematuras no Brasil. Machin e Nascimento (2018) constataram que o incremento de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ gera o aumento de 89 internações resultando em custos acima dos R\$ 95 mil para o Sistema Único de Saúde no município de Cuiabá - Mato Grosso.

Em termos econômicos é necessário evidenciar os eventos de saúde que estão associados com a poluição do ar, a fim de proporcionar um embasamento eficiente para a formulação de políticas de saúde públicas que minimizem o impacto ambiental decorrente da poluição do ar. Essa valoração econômica dos danos ambientais da poluição atmosférica, traduzidos em termos de indicadores de saúde, revela como é importante a implementação de tecnologias menos poluentes, políticas públicas, alteração na matriz energética, uso de combustíveis mais limpos e melhoria dos transportes públicos, resultando assim, em menores efeitos decorrentes da poluição

atmosférica na saúde humana e consequentemente na diminuição da taxa de internação hospitalar e mortalidade (Miraglia e Gouveia, 2014).

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, aprovados pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 2015, visam garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todos. Entre as metas estabelecidas, destaca-se a redução da mortalidade prematura por doenças crônicas não transmissíveis em 30% até 2030. Para alcançar essa meta, a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou evidências que reforçam a necessidade de ações voltadas à promoção da saúde, como a implementação de políticas públicas que incentivem hábitos saudáveis. Essas ações incluem uma alimentação equilibrada, diminuição do consumo de sal, criação de espaços públicos que estimulem a prática de atividades físicas, ambientes livres de fumo, e regulamentação da propaganda de bebidas alcoólicas, além de investimentos na atenção primária à saúde e no acesso a tecnologias médicas de média e alta complexidade para o tratamento de doenças crônicas (Malta *et al.*, 2020). Para efetivar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, é crucial promover mais pesquisas que forneçam dados sólidos, incentivando as autoridades públicas a investirem em estratégias de redução da poluição, uma vez que os efeitos da poluição do ar, como os discutidos aqui, são apenas um dos muitos impactos sobre a saúde. Desfecho aqui estudado é apenas um dos muitos efeitos causados pela poluição do ar.

Este estudo pode ter limitações tais como o uso de bases secundárias pode agregar vieses como o sub-registro e as inconsistências no preenchimento das causas de morte/ internação. Além disso, é válido ressaltar as limitações de estudos ecológicos, não sendo possível apontar a causalidade entre exposição e desfecho, apenas realizar uma associação entre exposição e desfecho. As concentrações de poluentes foram consideradas homogêneas em todo município e não foi considerada a existência de comorbidades prévias que pudessem agravar o quadro, afinal o DataSUS não disponibiliza essas informações. Embora haja essas limitações, a robustez do estudo reside no fato da existência da associação entre os poluentes do ar e o número de internações e óbitos por doenças cardiovasculares, além do custo altíssimo decorrente da poluição na saúde humana.

5 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que, em Taubaté, os níveis de NO_2 e SO_2 estão associados a internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, sendo que as internações por doenças respiratórias apresentam diferenças quando separadas por idade. Quando analisada a amplitude térmica, o poluente apresentou um aumento no seu coeficiente, demonstrando o efeito potencializador da amplitude nos poluentes e internações. Por isso, é de extrema importância a implementação de medidas públicas para mitigar as emissões resultantes principalmente da queima de biomassa e monitoramento da qualidade do ar que vêm sendo adotadas tanto por parte da empresa responsável quanto por parte das autoridades públicas. Portanto, mesmo com os custos elevados para implementar medidas de mitigação da poluição do ar, esses investimentos são menores quando comparados às despesas decorrentes dos efeitos adversos sobre a saúde pública provocados por mudanças climáticas e poluição.

REFERÊNCIAS

- ACHILLEOS, S. *et al.* I. Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. **Environment International**, Nova York, v. 109, p. 89–100, 2017. DOI: 10.1016/j.envint.2017.09.010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5689473/pdf/nihms914059.pdf>. Acesso em: 13 maio. 2024.
- AMANCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Association of sulfur dioxide exposure with circulatory system deaths in a medium-sized city in Brazil. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 45, n. 11, p. 1080-1085, 2012. DOI: 10.1590/S0100-879X2012007500131. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjmb/a/4QZmm4BMw4r34g5xxyQhbwP/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- AMANCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Environmental pollution and deaths due to stroke in a city with low levels of air pollution: ecological time series study. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v. 132, n.6, 2014. DOI: 10.1590/1516-3180.2014.1326733. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spmj/a/FRZzPpP4VtVbwCjNpB6pR9R/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- ARBEX, M. A. *et al.* A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012. DOI: 10.1590/S1806-37132012000500015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/sD3cLkXqQwmDFpgzsyj7gBm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- ARBEX, M. A. *et al.* Impact of outdoor biomass air pollution on hypertension hospital admissions. **Journal of Epidemiology and Community Health**, Londres, v. 64, n. 7, p. 573-81579, 2010. DOI: 10.1136/jech.2009.094342. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/64/7/573.long>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- BRAGA, A. L. F. *et al.* Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 570-578, 2007. DOI: 10.1590/S0102-311X2007001600017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/SH7yDyS89QH667ZxGnxR49g/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- BRAGA, A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n.51, p. 58-71, 2001. DOI:10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/35099/37838>. Acesso em: 28 abr. 2022.
- BRAGA, A. L. F. *et al.* Air pollution and pediatric hospital admissions in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Medicine**, Nagoya, v. 1, n. 2, p. 95-102, 1999. DOI:10.1002/(SICI)1099-1301(199904/06). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/%28SICI%291099->

1301%28199904/06%291%3A2%3C95%3A%3AAID-JEM16%3E3.0.CO%3B2-S.
Acesso em: 26 abr. 2021.

BRASIL. Resolução Conama Nº 003/90 de 28/06/90. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Estabelece os padrões primários e secundários de qualidade do ar e ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Brasília DF, 1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 17 dez. 2022.

BRILHANTE, O. M.; TAMBELLINI, A. M. Particulate suspended matters and cases of respiratory disease in Rio de Janeiro city (Brazil). **International Journal of Environmental Health Research**, Londres, v. 12, n. 2, p. 169-174, 2002. DOI: 10.1080/09603120220129337. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09603120220129337>. Acesso em: 28 abr. 2021.

BROOK, R. D. *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, Dallas, v. 121, n. 21, p. 2331-2378, 2010. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181d8e1. Disponível em: https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0b013e3181d8e1?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed. Acesso em: 28 abr. 2021.

BROOK, R. D. *et al.* Cardiovascular effects of air pollution. **Clinical Science**, London, Londres, v. 115, n. 6, p. 175-187, 2008. DOI: 10.1042/CS20070444. Disponível em: <https://portlandpress.com/clinsci/article-abstract/115/6/175/68474/Cardiovascular-effects-of-air-pollution?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 29 abr. 2021.

CANÇADO, J. E. D. *et al.* Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 5- 11, 2006. DOI: 10.1590/S1806-37132006000800003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/yH38LJFNcw4yCMRR5zdqW8m/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2021.

CANÇADO, J. E. D. *et al.* The impact of sugar cane- burning emissions on the respiratory system of children and elderly. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 114, n.5, p. 725-729, 2006. DOI: 10.1289/ehp.8485. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.8485>. Acesso em: 12 jul. 2021.

CENDON, S. *et al.* Air pollution effects on myocardial infarction. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 414-419, 2006. DOI: 10.1590/S0034-89102006000300008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/QB6rDgZvQqYV4qYpSqwXCXN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 13 abr. 2021.

CÉSAR, A. C. G.; CARVALHO JR., J. A.; NASCIMENTO, L. F. C. Associação entre exposição ao NOx e óbitos por doenças respiratórias em cidades brasileiras de

médio porte. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v.48, n.12, p.1130-1135, 2015

CESAR, A. C. G.; NASCIMENTO, L. F. C.; CARVALHO JR, J. A. Association between exposure to particulate matter and hospital admissions for respiratory disease in children. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n. 6, p. 1-4, 2013. DOI:10.1590/S0034-8910.2013047004713. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/hJc4Htx57sLq74PTqTJbpVf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 abr. 2021.

CHEN, F.; CHEN, Z. Cost of economic growth: Air pollution and health expenditure, **Science of The Total Environment**, v.755, n.1, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720360721>. Acesso em: 28 fev 2022.

CONCEIÇÃO, G. M. *et al.* Air pollution and child mortality: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 109, n. 3, p. 347-50, 2001. DOI: 10.1289/ehp.109-1240551. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.109-1240551>. Acesso em: 28 fev. 2022.

DAUMAS, R. P.; MENDONÇA, G. A. S; LEON, A. P. Poluição do ar e mortalidade no Município do Rio de Janeiro: análise de série temporal. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 311-319, 2004. DOI: 10.1590/S0102-311X2004000100049. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/ptZ6Fhzv5F3qsLjKbcjJBcB/?lang=pt>. Acesso em: 28 fev. 2022.

D'IPPOLITI, D. *et al.* Air pollution and myocardial infarction in Rome: a case-crossover analysis. **Epidemiology**, Cambridge, v. 14, n. 5, p. 528-535, 2003. DOI: 10.1097/01.ede.0000082046.22919.72. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/9088068_Air_Pollution_and_Myocardial_Infarction_in_Rome_A_Case-Crossover_Analysis. Acesso em: 28 fev. 2022.

DOCKERY, D. W. Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 109, n. 4, p. 483-486, 2001. DOI: 10.1289/ehp.01109s4483. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.01109s4483>. Acesso em: 13 dez. 2022.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JR, J. A. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)*. **Revista Política Hoje**, Pernambuco, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article>. Acesso em: 13 dez. 2022.

GARCIA, B. B. M.; GOMES, C. F. S. As variáveis econômicas no Brasil e o PIB: uma análise em períodos de crises financeiras através da correlação de Pearson. **Engevista**, Niterói, v. 19, n.5, p. 1466-1484, 2017. DOI:10.22409/engevista.v19i5.99. Disponível em:

<http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/amp/article/view/4640/2587>. Acesso em: 20 dez. 2022.

GOUVEIA, N. *et al.* Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil.

Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 22, n. 12, p. 2669-2677, 2006.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/csp/a/cjGHmQb6wT9PbZWn5tkjv3b/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 13 dez. 2022.

GOUVEIA, N.; BREMNER, S. A.; NOVAES, H. M. Association between ambient air pollution and birth weight in São Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology and**

Community Health, Londres, v. 58, p. 11-17, 2004. DOI: 10.1136/jech.58.1.11.

Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/jech/58/1/11.full.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2022.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. **Journal of Epidemiology and**

Community Health, Londres, v. 54, n. 10, p. 750-755, 2000. DOI:

10.1136/jech.54.10.750. Disponível em:

<https://jech.bmj.com/content/jech/54/10/750.full.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

HE, X. *et al.* Interactive short-term effects of meteorological factors and air pollution on hospital admissions for cardiovascular diseases. **Environmental Science and**

Pollution Research, Germany, v.29, n. 45, p. 68103-68117, 2022.

HEE, V. C. V. *et al.* Exposure to traffic and left ventricular mass and function.

American journal of respiratory and critical care medicine, Nova York, v. 179, n. 9, p. 827-834, 2009. DOI: 10.1164/rccm.200808-1344OC. Disponível em:

<https://www.atsjournals.org/doi/epdf/10.1164/rccm.200808-1344OC?role=tab>.

Acesso em: 22 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Taubaté. Disponível

em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355410>. Acesso em: 12 dez. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Relatório Especial do IPCC – Aquecimento Global de 1.5°C. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/publicacao>.

Acesso em: 20 dez. 2023.

HOST, S. *et al.* Short-term associations between fine and coarse particles and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in six French cities. **Occupational**

Environmental Medicine, Londres, v. 65, n. 8, p. 544-551, 2008. DOI:

10.1136/oem.2007.036194. Disponível em:

<https://oem.bmj.com/content/65/8/544.long>. Acesso em: 22 out. 2022.

IGNOTTI, E. *et al.* Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 44, n.1, p.

121-30, 2010. DOI:10.1590/S0034-89102010000100013. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rsp/a/bp9BffF785sJmcC6hqX366d/?lang=en>. Acesso em: 13 dez. 2022.

KAN, H. et al. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China. **Environment International**, Nova York, v. 33, n. 3, p. 376–384, 2007. DOI: 10.1016/j.envint.2006.12.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412006002108>. Acesso em: 22 out. 2022.

KETTUNEN, J. et al. Associations of fine and ultrafine particulate air pollution with stroke mortality in an area of low air pollution levels. **Stroke**, Dallas, v. 38, n. 3, p. 918–22, 2007. DOI: 10.1161/01.STR.0000257999.49706.3b. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/epub/10.1161/01.STR.0000257999.49706.3b>. Acesso em: 13 dez. 2022.

KIM, K. H.; KABIR, E.; KABIR, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment International**, Nova York, v. 74, p.136–46, 2015. Doi: 10.1016/j.envint.2014.10.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412014002992?via%3Di> hub. Acesso em: 10 set. 2021.

KOTTEK, M. *et al.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Met. Zeit.** v.15, n 3, p. 259–263,2006.

LEE, W. *et al.* Projections of excess mortality related to diurnal temperature range under climate change scenarios: a multi-country modelling study. **Lancet Planet Health**, Londres, v. 4, p. e512–e521,2020 .Disponível em: <https://www.thelancet.com/journals/lanplh>. Acesso em 14 fev. 2022.

LIN, C. A. *et al.* Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. **Environmental Research**, San Diego, v. 92, n. 1, p. 57–63, 2003. DOI: 10.1016/s0013-9351(02)00054-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935102000543>. Acesso em: 10 set. 2021.

LIN, Y.K.*et al.* Mortality and morbidity associated with ambient temperatures in Taiwan. **Science Total Environment**, Londres, v.651, p. 210–217, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.161>. Acesso em : 14 fev. 2022.

LIRA, S. A. **Análise de correlação**: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004. Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/dissertacao_sachiko.pdf. Acesso em: 30 mar. 2022.

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**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 1–9, 2018. Doi: 10.1590/0102-311x00006617. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/csp/a/PHTDFfhv4DFmNBXnGH4Q3tJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2021.

MAHESWARAN, R. *et al.* Impact of outdoor air pollution on survival after stroke: population based cohort study. **Stroke**, Dallas, v. 41, n. 5, p. 869-877, 2010. DOI: 10.1161/STROKEAHA.109.567743. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/epub/10.1161/STROKEAHA.109.567743>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MAHESWARAN, R. *et al.* Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study. **European Heart Journal**, Oxford, v. 26, n. 23, p. 2543-2549, 2005. DOI: 10.1093/eurheartj/ehi457. Disponível em: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/26/23/2543/453556>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MALTA, D. C. *et al.* Mortalidade e anos de vida perdidos por violências interpessoais e autoprovocadas no Brasil e Estados: análise das estimativas do Estudo Carga Global de Doença, 1990 e 2015. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 142-156, 2017. DOI: 10.1590/1980-5497201700050012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/pnF4pBTGcdPrjnp43SK6rvz>. Acesso em: 10 set. 2021.

MALTA, D. C. *et al.* Mortalidade por Doenças Cardiovasculares Segundo o Sistema de Informação sobre Mortalidade e as Estimativas do Estudo Carga Global de Doenças no Brasil, 2000-2017. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, Rio de Janeiro, v. 115, n. 2, p. 152-160, 2020. DOI:10.36660/abc.20190867. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/mX3zDLy43CbWt6sjm6J6GDc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MANTOVANI, K. C. *et al.* Air pollutants and hospital admissions due to cardiovascular diseases in São José do Rio Preto, Brazil. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n.2, p. 509-515, 2016. DOI: 10.1590/141381232015212.16102014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MARTINS, L. C. *et al.* Air pollution and emergency room visits due to chronic lower respiratory diseases in the elderly: an ecological time-series study in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, Filadélfia, v. 44, n. 7, p. 622-627, 2002. DOI: 10.1097/01.jom.0000023250.57933.f2. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/26925>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MARTINS, L. C. *et al.* The effects of air pollution on cardiovascular diseases: lag structures. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 677-683, 2006. DOI: 10.1590/S0034-89102006000500018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/rN7L4N7W9WXgFvHwbrHRBrh/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MCCULLAGH, P. Quasi-likelihood functions. **Annals of Statistics**, Filadélfia, v. 11, n. 1, p. 59-67, 1983. Disponível em: <https://projecteuclid.org/journals/annals-of->

statistics/volume-11/issue-1/Quasi-Likelihood-Functions/10.1214/aos. Acesso em: 16 fev. 2022.

MILLS, N. L. *et al.* Adverse cardiovascular effects of air pollution. **Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine**, Reino Unido, v. 6, n.1, p. 36-44, 2009. DOI: 10.1038/ncpcardio1399. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncpcardio1399>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. DATASUS Tecnologia da Informação a Serviço do SUS. **DATASUS**, Brasília [2020]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthotm.exe?sih/cnv/nisp.def>. Acesso: 12 dez. 2020.

MIRAGLIA, S. G. K.; GOUVEIA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 10, p. 4141-4147, 2014. DOI: 10.1590/1413-812320141910.09232014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/>. Acesso em: 16 fev. 2022.

MIRAGLIA, S. G. E. K.; SALDIVA, P. H. N.; BOHM, G. M. An evaluation of air pollution health impacts and costs in São Paulo, Brazil. **Environmental Management**, Nova York, v. 35, n. 5, p. 667-676, 2005. DOI: 10.1007/s00267-004-0042-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article>. Acesso em: 02 dez. 2021.

MURRAY, C. J. L., LOPEZ, A. D. World Health Organization, World Bank & Harvard School of Public Health. (1996). The Global Burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020. **World Health Organization**. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle>. Acesso em: 30 mar. 2022.

NARDOCCI, A. C. *et al.* Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n.9, p.1867-1876, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/Shdfzjmts5LFmZy55Pz4Qy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2021.

NASCIMENTO, L. F. Air pollution and cardiovascular hospital admissions in a medium-sized city in São Paulo State, Brazil. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, São Paulo, v. 44, n. 7, p. 720-724, 2011. DOI: 10.1590/S0100-879X2011007500079. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjmb/a/ZWS3P7vVkbWG6VfqCfSLhnm/?lang=en>. Acesso em: 16 fev. 2022.

NASCIMENTO, L. F. C.; FRANCISCO, J. B. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 8, p. 1565-1571, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00127612>. Disponível em: <https://scielosp.org/pdf/csp/2013.v29n8/1565-1571/en>. Acesso em: 16 fev. 2022.

NASCIMENTO, L. F. C. *et al.* Environmental pollutants and stroke-related hospital admissions. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 7, p. 1319-1324, 2012. DOI: 10.1590/S0102-311X2012000700010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/csp/a/vqmc6BJW45ZDZBzqJyd99vD/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 13 dez. 2021.

NASCIMENTO, L. F. *et al.* Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 77-82, 2006. DOI: 10.1590/S0034-89102006000100013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/bSjMtCyWZxZZXTqQ4NxpmPD/?lang=pt>. Acesso em: 16 set. 2021.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2022. Clima de relance: Séries temporais. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov>. Acesso em 16 de out. de 2022.

NYBO L; KJELLSTROM T; BOGATAJ L K; FLOURIS A D. **Aquecimento global: atenção não é suficiente; precisamos de ações agudas e apropriadas**, Temperatura, Austin, 2017. v. 4, n.3 , p.199-201, DOI:10.1080/23328940.2017.1338930.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. **Global update 2005**. Summary of risk assessment. Geneva, 2005.

PIETERS, N. *et al.* An epidemiological appraisal of the association between heart rate variability and particulate air pollution: a meta-analysis. **Heart**, Londres, v. 98, n.15, p. 1127–1135, 2012. DOI:10.1136/heartjnl-2011-301505. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3392690/>. Acesso em: 16 set. 2021.

POPE, C. A. *et al.* Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution. **Circulation**, Dallas, v. 109, n. 1, p. 71-77, 2004. DOI: 10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/epub/10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F>. Acesso em: 12 dez. 2021.

RIBEIRO, P. C. *et al.* Fine particulate matter and ischemic heart diseases in relation to sex. An ecological time series study. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v. 137, n. 1, p. 60-65, 2019. DOI: 10.1590/1516-3180.2018.0239040119. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spmj/a/SBMKc4xRDXvtZyNPbRTqqdJ/>. Acesso em: 16 set. 2021.

RITZ, B.; WILHELM, M. Ambient air pollution and adverse birth outcomes: methodologic issues in an emerging field. **Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology**, Copenhagen, v. 102, n. 2, p. 182-190, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1742-7843.2007.00161.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1742-7843.2007.00161.x>. Acesso em: 16 set. 2021.

RITZ, B. *et al.* Ambient air pollution and risk of birth defects in Southern California. **American Journal of Epidemiology**, Oxford, v. 155, n. 1, p. 17-25, 2002. DOI: 10.1093/aje/155.1.17. Disponível em: <https://academic.oup.com/aje/article/155/1/17/134147>. Acesso em: 13 dez. 2021.

ROCHA, G.; ORAIS, R.L.; KLUG, L. **O custo econômico da poluição do ar:** estimativa de valor da vida estatística para o Brasil. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em:

https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2517_web.pdf. Acesso em: 20 dez. 2023.

RODRIGUES, P. C. O. *et al.* Variabilidade climática aumenta a morbimortalidade associada ao material particulado. **Rev Saude Publica**, São Paulo, v.51, n. 91, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2017051006952>. Acesso em: 29 jul. 2021

ROWLAND, S. T. *et al.* The association between ambient temperature variability and myocardial infarction in a New York-State-based case-crossover study: An examination of different variability metrics. **Environ Res.** v.197, n.111, p.207. Disponível em: 10.1016/j.envres.2021.111207. PMID: 33932478. Acesso em : 29 jul. 2021

SÁ, T. H. *et al.* Health impact modelling of different travel patterns on physical activity, air pollution and road injuries for São Paulo, Brazil. **Environment International**, Nova York, v. 108, p. 22-31, 2017. DOI: 10.1016/j.envint.2017.07.009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5632958/>. Acesso em: 29 jul. 2021.

SANTOS, V. P. *et al.* Poluentes atmosféricos associados ao peso insuficiente ao nascimento. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 89-99, 2016. DOI: 10.1590/1980-5497201600010008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/qVkcQdzBTszWLqWLqQsw3Qk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2021

SANTOS, F. S. *et al.* Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP_{2,5}) em Belo Horizonte, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 371-381, 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019174045. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/4kSVDKgVcYnwNFt5R6Yb5pp/?lang=pt>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SANTOS, U. P. *et al.* Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 62, n. 3, p. 267-272, 2008. DOI: 10.1136/jech.2006.058123. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/62/3/267>. Acesso em: 20 out. 2022.

SHAH, A. S. V. *et al.* Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet**, Londres, v. 382, n. 9897, p. 1039–1048, 2013. Doi:10.1016/S0140-6736(13)60898-3. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3809511/>. Acesso em: 20 out. 2022.

Shin, H. H. *et al.* Sex-difference in air pollution-related acute circulatory and respiratory mortality and hospitalization. **Science of the Total Environment**, v.806, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150515>. Acesso em: 19 jul. 2019

SILVA, M. T. *et al.* Análise temporal das condições meteorológicas e concentração de Material Particulado (MP10) na Região Metropolitana de São Paulo – SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 4, p. 1226-1240, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1226-1240>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/236248>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SILVEIRA, T. S. *et al.* Análise do clima e relevo na concentração de material particulado em madrid (Espanha) e São Paulo (Brasil), **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 520-543, 2021. DOI: 10.5380/rbclima. v28i0.76313. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/76313/43625>. Acesso em: 25 jul. 2021.

SIMKHOVICH, B. Z.; KLEINMAN, M. T.; KLONER, R. A. Particulate air pollution and coronary heart disease. **Current Opinion in Cardiology**, Ottawa, v. 24, n. 6, p. 604-609, 2009. DOI: 10.1097/HCO.0b013e32833161e5. Disponível em: https://journals.lww.com/co-cardiology/Abstract/2009/11000/Particulate_air_pollution_and_coronary_heart.15.aspx. Acesso em: 15 set. 2021.

SOARES, P. A.; NASCIMENTO, L. F. C. Análise Espacial das Interações por Doenças do Coração no Vale do Paraíba. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo, v. 94, n.6, 2010. DOI:10.1590/S0066-782X2010005000038. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/K53C68H5XzRwwFMV5TwsfLj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 jul. 2022.

SOUZA, P. A. *et al.* Variações temporais do material particulado inalável fino e grosso e íons inorgânicos solúveis em São José dos Campos, SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 71-82, 2011. DOI: 10.1590/S0102-261X2011000100005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbg/a/kzQxGfMCqpbkKVNFWVGm8xC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 out. 2022.

SRÁM, R. J. *et al.* Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 113, n. 4, p. 375-382, 2005. DOI:10.1289/ehp.6362. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.6362>. Acesso em: 16 jul. 2022.

STIEB, D. M.; JUDEK, S.; BURNETT, R. T. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season. **Journal of the Air & Waste Management Association**, Londres, v. 52, n. 4, p. 470-484, 2002. DOI: 10.1080/10473289.2002.10470794. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/10473289.2002.10470794?needAccess=true&role=button>. Acesso em: 16 jul. 2022.

STIEB, D. M. *et al.* Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. **Environmental Health**, Londres, v. 10, p. 8-25, 2009. DOI: 10.1186/1476-069X-8-25. Disponível em:

<https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-8-25>. Acesso em: 16 jul. 2022.

SUN, S. *et al.* Temperature as a modifier of the effects of fine particulate matter on acute mortality in Hong Kong. **Environmental Pollution**, Barking, v. 205, p. 357–364, 2015. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.06.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749115002894>. Acesso em: 20 jul. 2022.

TADANO, Y. S. **Análise do impacto de MP10 na saúde populacional: estudo de caso em Araucária**, PR. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp045475.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

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**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 241-255, 2009. DOI: 10.1590/S1414-753X2009000200003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/znrHQvBfVvBRRWyfMyg4Tmy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2022.

TOLEDO, G. I. F. M.; NARDOCCI, A.C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v.14, n.3, p.445-454, 2011. DOI:10.1590/S1415-790X2011000300009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/c5tMDk9hFmtkW9896bd3n3d/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2022.

TRAEBERT, J. *et al.* A carga das doenças cardiovasculares no estado de Santa Catarina no ano de 2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 331-338, 2017. DOI:10.5123/S1679-49742017000200010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/6TkT7Ftg9Wbv8rPWrw3GfXR/?lang=pt>. Acesso em: 18 nov. 2022.

TSAL, S. *et al.* Evidence for an association between air pollution and daily stroke admissions in Kaohsiung, Taiwan. **Stroke**, Dallas, v. 34, n. 11, p. 2612-2616, 2003. DOI: 10.1161/01.STR.0000095564.33543.64. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.str.0000095564.33543.64>. Acesso em: 16 fev. 2022.

TUAN, T. S.; VENÂNCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar no infarto agudo do miocárdio, segundo gêneros. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo, v. 107, n. 3, p. 216-222, 2016. DOI: 10.5935/abc.20160117. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/s637XCZLtYMhB6mrMf6mxdS/?lang=en>. Acesso em: 18 nov. 2022.

TUAN, T. S.; VENÂNCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. F. C. Air pollutants and hospitalization due to pneumonia among children. An ecological time series study. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v.133, n. 5, p.408-413, 2015.

DOI:10.1590/1516-3180.2014.00122601. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/spmj/a/Z9HLgkVSCkZdMqDbspwJ3XC/?lang=en>. Acesso em:
 25 mar. 2022.

VIDALE, S. *et al.* Air pollution positively correlates with daily stroke admission and in hospital mortality: a study in the urban area of Como, Italy. **Neurological Sciences**, Amsterdam, v. 31, n. 2, p.179-82, 2010. DOI: 10.1007/s10072-009-0206-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10072-009-0206-8>. Acesso em: 13 set. 2021.

VIEIRA, F. R.; BARBOSA, C. J. O método de valoração contingente (mac): Uma abordagem teórica. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2492-2510, 2012. Disponível em:
<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/multidisciplinar/o%20metodo.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

WELLENIUS, G. A.; SCHWARTZ, J.; MITTLEMAN, M. A. Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities. **The American Journal of Cardiology**, Dallas, v. 97, n. 3, p. 404-408, 2006. DOI: 10.1016/j.amjcard.2005.08.061. Disponível em:
[https://www.ajconline.org/article/S0002-9149\(05\)01831-X/fulltext](https://www.ajconline.org/article/S0002-9149(05)01831-X/fulltext). Acesso em: 15 fev. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global health risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks**. Geneva: World Health Organization, 2009. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44203>. Acesso em: 30 mar.2022.

XU, Z. *et al.* Impact of ambient temperature on children's health: A systematic review, **Environ Res**, Basileia, v.117, p. 120-131, 2012.

XU, Z. *et al.* The association between ambient temperature and childhood asthma: a systematic review. **Int J Biometeorol**, Amsterdam, v. 62, p.471–48, 2018.

XU, R. *et al.* Nível socioeconômico e associações entre exposição ao calor e internação por todas as causas e causas em 1.814 cidades brasileiras: Estudo nacional de case-crossover. **PLos Med** 2020, São Francisco, v.17, n.10, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33031393/>. Acesso em : 20 set. 2021

XU, Z.; HU, W.; TONG, S. Temperature variability and childhood pneumonia: anecological study. **Environ Health**, Londres, v.13, n. 51, 2014.

ZENG, W. *et al.* Estimating the Excess Mortality Risk during Two Red Alert Periods in Beijing, China. **Environmental Research and Public Health**, Basileia, v. 15, n. 1, p. 1-9, 2018. DOI:10.3390/ijerph15010050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/1/50>. Acesso em: 20 set. 2021.

ZHAO, Y. *et al.* PM10 and PM2,5 particles as main air pollutants contributing to rising risks of coronary heart disease: a systematic review. **Environmental technology**

reviews, Londres, v. 6, n. 1, p. 174-185, 2017.. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full>. Acesso em: 15 fev. 2021.

ZHAO, Q. *et al.* Spatiotemporal and demographic variation in the association between temperature variability and hospitalizations in Brazil during 2000-2015: A nationwide time-series study. **Environment International**, Nova York, 120, p.345-353, 2018. Disponível em: 10.1016/j.envint.2018.08.021. PMID: 30114624. Acesso em: 15 fev. 2021.

ZHAO, Q. *et al.* Temperature variability and hospitalization for cardiac arrhythmia in Brazil: A nationwide case-crossover study during 2000-2015. **Environmental Pollution**, Barking, v. 246, p.552-558, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30594895/>. Acesso em: 15 fev. 2021.

ZHAO, Q. *et al.* Temperature variability and hospitalization for ischaemic heart disease in Brazil: A nationwide case-crossover study during 2000-2015. **Science Total Environment**, Londres, v. 10, n. 664, p.707-712, 2019. disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30763851/>. Acesso em: 15 fev 2021.

ANEXO I - Classificação da qualidade do ar no município de Taubaté, de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

Quadro 1: Classificação da qualidade do ar no município de Taubaté, de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

Qualidade	Índice	PM ₁₀ (µg/m ³ /m3) 24h	PM _{2,5} (µg/m ³ /m3) 24h	O ₃ (µg/m ³ /m3) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³ /m3) 1h	SO ₂ (µg/m ³ /m3) 24h
N1 – Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 – 200	0 - 20
N2 – Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3- Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4- Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5- Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: CETESB (a) <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>

ANEXO II - Associação entre a qualidade do ar e a ocorrência de agravos de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

Quadro 2: Associação entre a qualidade do ar e a ocorrência de agravos de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 - 40	
N2 – Moderada	41 - 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3- Ruim	81 - 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4- Muito Ruim	121 - 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5- Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB (a) <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>