



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SANTOS

CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E SAÚDE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM SAÚDE COLETIVA

TÚLIO HENRIQUE DA SILVA

**ASSOCIAÇÃO ENTRE INTERNAÇÕES POR SÍNDROME RESPIRATÓRIA AGUDA
GRAVE (SRAG) E VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA BAIXADA SANTISTA, 2015–2024**

SANTOS - SP

2026



TÚLIO HENRIQUE DA SILVA

**ASSOCIAÇÃO ENTRE INTERNAÇÕES POR SÍNDROME RESPIRATÓRIA AGUDA
GRAVE (SRAG) E VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA BAIXADA SANTISTA, 2015–2024**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva da Universidade Católica de Santos como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Saúde Coletiva.

Área de Concentração: Saúde, ambiente e mudanças sociais. Linha de pesquisa: Epidemiologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Álfésio Luis Ferreira Braga

SANTOS – SP

2026

[Dados Internacionais de Catalogação]
Departamento de Bibliotecas da Universidade Católica de Santos
Viviane Santos da Silva - CRB 8/6746

- S586a Silva, Túlio Henrique da
Associação entre interações por Síndrome Respiratória Aguda (SRAG) e variáveis ambientais na Baixada Santista / Túlio Henrique da Silva; orientador Alfésio Luis Ferreira Braga - 2026.
125 f.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Católica de Santos, Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Saúde Coletiva, 2026.
Inclui bibliografia
1. Síndrome Respiratória Aguda Grave. 2. Material particulado. 3. Temperatura do ar. 4. Umidade relativa. 5. Saúde ambiental. I. Braga, Alfésio Luis Ferreira. II. Título.

CDU: Ed. 1997 -- 614(043.3)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por toda a força que ele me enviou diante das dificuldades enfrentadas até hoje.

Ao Espírito Santo, que sempre esteve ao meu lado nas fraquezas e nas horas difíceis, me dando sabedoria, discernimento, força e coragem para enfrentar esse desafio.

Agradeço aos meus pais e irmãos, Selma e Vicente, Tales, Tharcia e em especial aos meus sobrinhos que amo: Álvaro e Arthur.

Ao meu cunhado Marcelo pelo apoio e a torcida.

À Professora Luzana, que sem ela, jamais teria esta oportunidade de entrar no programa de pós-graduação.

Ao Fábio, pelo companheirismo e alegria, além da inquestionável força em todos os momentos, por sempre incentivar e acreditar em mim.

Ao meu orientador Professor Dr Álfésio pela paciência, e todo carinho e cuidado na orientação e pelos diversos ensinamentos.

Ao Lázaro e Olga, que mesmo distante sempre torceu pela minha trajetória profissional.

À Iries(In memorian) que sempre torceu por mim.

Aos meus colegas de trabalho da Central de Curativos, por sempre serem compreensivos durante minhas ausências para cursar as disciplinas.

A minha amiga e companheira de trabalho Karen Helena e seu esposo Caio, por em todos os momentos, sempre estar presente, rindo e chorando juntos.

As minhas chefias de trabalho: Elisângela, Valéria por sempre me darem apoio desde o primeiro momento.

Em especial aos meus primos Mateus e Rafael pela parceria nas dúvidas nas horas de incertezas.

À banca examinadora pela gentileza em aceitar o convite:

Dr Marco Bumba e Dr. Luiz Henrique Gagliani

À CAPES, pelo apoio financeiro para esta pesquisa.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Católica de Santos, por ter proporcionado experiências, aprendizados e amadurecimento indispensáveis para minha carreira profissional.

Muito obrigado!

ASSOCIAÇÃO ENTRE INTERNAÇÕES POR SÍNDROME RESPIRATÓRIA AGUDA GRAVE(SRAG) E VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA BAIXADA SANTISTA, 2015–2024

RESUMO

As infecções respiratórias agudas, especialmente quando evoluem para Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), representam importante problema de saúde pública, devido aos impactos sobre a morbidade, a mortalidade e a demanda por assistência hospitalar. Na Baixada Santista, características como elevada densidade populacional, clima tropical úmido, intensa circulação veicular e atividades portuárias e industriais podem influenciar a ocorrência e o agravamento dos quadros respiratórios. Este estudo teve como objetivo analisar a associação entre os registros de SRAG e as concentrações de material particulado inalável (MP10), material particulado fino (MP2,5), temperatura do ar e umidade relativa do ar nos nove municípios da Baixada Santista, no período de 2015 a 2024. Trata-se de um estudo ecológico longitudinal, de abordagem quantitativa, realizado com dados epidemiológicos secundários e informações ambientais obtidas no sistema QUALAR, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Foram analisados 33.616 registros de SRAG, segundo município de residência, faixa etária, sexo, raça/cor e evolução temporal. As análises incluíram estatística descritiva, séries temporais e modelos de regressão para dados de contagem, com avaliação dos efeitos acumulados e defasados entre zero e sete dias. Santos concentrou o maior número de registros, seguido por São Vicente, Guarujá e Praia Grande. Os indivíduos com 60 anos ou mais representaram 26,6% dos casos, seguidos pelas faixas etárias de 36 a 60 anos, com 20,5%, e de 1 a 4 anos, com 18,7%. Na análise ambiental, observou-se associação não linear entre as exposições e a ocorrência de SRAG. Para o MP10, a concentração de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ apresentou risco relativo acumulado de 1,044, com intervalo de confiança de 95% de 1,011 a 1,079, indicando aumento de 4,4% no risco em relação ao valor de referência. Para o MP2,5, a associação tornou-se estatisticamente significativa a partir de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com risco relativo de 1,025 e intervalo de confiança de 95% de 1,002 a 1,049. Concentrações mais elevadas dos dois tipos de materiais particulados apresentaram aumento progressivo do risco relativo. Temperaturas superiores a 30 °C também foram associadas ao aumento da ocorrência de SRAG, especialmente nas faixas de 35 °C ou mais. A umidade relativa apresentou comportamento não linear, com associações estatisticamente significativas em torno de 70% e 80%, enquanto, na maior parte das defasagens analisadas, os intervalos de confiança incluíram o valor de nulidade. Conclui-se que concentrações elevadas de MP10 e

MP2,5 e temperaturas mais altas estiveram associadas ao aumento do risco de SRAG, embora a magnitude e a distribuição temporal dos efeitos tenham variado entre as exposições. O monitoramento integrado dos indicadores epidemiológicos, da qualidade do ar e das condições meteorológicas pode contribuir para o planejamento de ações preventivas, a organização da rede assistencial e a formulação de políticas públicas de saúde ambiental na Baixada Santista.

Palavras-chave: Síndrome Respiratória Aguda Grave. Material particulado. Temperatura do ar. Umidade relativa. Saúde ambiental.

ASSOCIATION BETWEEN HOSPITALIZATIONS FOR SEVERE ACUTE RESPIRATORY SYNDROME (SARS) AND ENVIRONMENTAL VARIABLES IN THE BAIXADA SANTISTA, 2015–2024

ABSTRACT

Acute respiratory infections, particularly when they progress to Severe Acute Respiratory Infection (SARI), represent an important public health problem because of their impact on morbidity, mortality, and the demand for hospital care. In the Baixada Santista region, characteristics such as high population density, a humid tropical climate, intense vehicular traffic, and port and industrial activities may influence the occurrence and worsening of respiratory conditions. This study aimed to analyze the association between SARI cases and concentrations of inhalable particulate matter (PM₁₀), fine particulate matter (PM_{2.5}), air temperature, and relative humidity in the nine municipalities of the Baixada Santista region from 2015 to 2024. This was a longitudinal ecological study with a quantitative approach, based on secondary epidemiological data and environmental information obtained from the QUALAR system of the São Paulo State Environmental Company. A total of 33,616 SARI records were analyzed according to municipality of residence, age group, sex, race/skin color, and temporal distribution. The analyses included descriptive statistics, time-series analysis, and regression models for count data, with assessment of cumulative and lagged effects from zero to seven days. Santos accounted for the largest number of records, followed by São Vicente, Guarujá, and Praia Grande. Individuals aged 60 years or older represented 26.6% of the cases, followed by those aged 36 to 60 years, with 20.5%, and children aged 1 to 4 years, with 18.7%. The environmental analysis showed a nonlinear association between the exposures and the occurrence of SARI. For PM₁₀, a concentration of 100 µg/m³ was associated with a cumulative relative risk of 1.044, with a 95% confidence interval of 1.011 to 1.079, indicating a 4.4% increase in risk compared with the reference value. For PM_{2.5}, the association became statistically significant from 15 µg/m³ onward, with a relative risk of 1.025 and a 95% confidence interval of 1.002 to 1.049. Higher concentrations of both pollutants were associated with a progressive increase in relative risk. Air temperatures above 30 °C were also associated with an increased occurrence of SARI, particularly at temperatures of 35 °C or higher. Relative humidity showed a nonlinear pattern, with statistically significant associations at approximately 70% and 80%,

whereas, for most of the lag periods analyzed, the confidence intervals included the null value. It was concluded that higher concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} and higher air temperatures were associated with an increased risk of SARI, although the magnitude and temporal distribution of the effects varied across exposures. Integrated monitoring of epidemiological indicators, air quality, and meteorological conditions may contribute to the planning of preventive actions, the organization of healthcare services, and the development of environmental health policies in the Baixada Santista region.

Keywords: Severe Acute Respiratory Infection. Particulate matter. Air temperature. Relative humidity. Environmental health.

SIGLAS E ABREVIATURAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CDC – Centers for Disease Control and Prevention

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNS – Conselho Nacional de Saúde

DLNM – Modelo não linear com defasagem distribuída

EMA – European Medicines Agency

FDA – Food and Drug Administration

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz

GLM – **Modelo linear generalizado**

HEPA – High Efficiency Particulate Air

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC95% – Intervalo de confiança de 95%

IRA – Infecção Respiratória Aguda

MP10 – Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micrômetros

MP2,5 – Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros

N95 – Respirador com eficiência mínima de 95% na filtração de partículas

OMS – Organização Mundial da Saúde

PAHO – Pan American Health Organization

PFF2 – Peça facial filtrante de classe 2

QGIS – Quantum Geographic Information System

QUALAR – Sistema de Informações da Qualidade do Ar

R – Linguagem de programação e ambiente para análise estatística

RR – Risco relativo

RT-PCR – Reação em cadeia da polimerase com transcrição reversa em tempo real

SIH/SUS – Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde

SIVEP-Gripe – Sistema de Informação da Vigilância Epidemiológica da Gripe

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences

SRAG – Síndrome Respiratória Aguda Grave

SUS – Sistema Único de Saúde

UTI – Unidade de Terapia Intensiva

VIF – Fator de inflação da variância

VPC10 – Vacina pneumocócica conjugada 10-valente

VPC13 – Vacina pneumocócica conjugada 13-valente

VPP23 – Vacina pneumocócica polissacarídica 23-valente

VSR – Vírus sincicial respiratório

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos casos de SRAG por município de residência, Baixada Santista, 2015–2024.....	37
Tabela 2 - Distribuição dos casos de SRAG por faixa etária, Baixada Santista, 2015–2024...	38
Tabela 3 - Distribuição dos casos de SRAG por sexo, Baixada Santista, 2015–2024.....	39
Tabela 4 - Distribuição dos casos de SRAG por raça/cor, Baixada Santista, 2015-2024.....	40
Tabela 5 - Série temporal anual dos casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024.....	41
Tabela 6 - Estatísticas descritivas das variáveis ambientais analisadas, 2015- 2024.....	64
Tabela 7 - Risco relativo acumulado do MP10 sobre os casos de SRAG, Baixada Santista, 2015–2024.....	74
Tabela 8 - Riscos relativos acumulados associados às variáveis ambientais para os casos de SRAG, considerando defasagem de até sete dias, na Baixada Santista, 2015–2024.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura1- Análise descritiva dos casos de SRAG no município da Bertiooga entre os anos 2015 e 2024.....	42
Figura 2 - Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Guarujá entre os anos 2015 e 2024.	43
Figura 3 – Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Cubatão entre os anos 2015 e 2024.....	44
Figura 4 - Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Santos entre os anos 2015 e 2024.....	44
Figura 5 - Análise descritiva dos casos de SRAG no município de São Vicente entre os anos 2015 e 2024.....	45
Figura 6 - Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Praia Grande entre os anos 2015 e 2024.....	46
Figura 7 - Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Mongaguá entre os anos 2015 e 2024.....	47
Figura 8 - Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Itanhaém entre os anos 2015 e 2024.....	49
Figura 9 - Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Peruíbe entre os anos 2015 e 2024.....	50
Figura10 - Série temporal MP 10 CETESB, SANTOS/SP 2015-2024.....	52
Figura 11 - Série temporal MP 2,5 CETESB, SANTOS/SP 2015-2024.....	53
Figura 12 - Série temporal da temperatura do ar CETESB, SANTOS/SP 2015-2024.....	54
Figura 13 - Série temporal da umidade relativa do ar CETESB, SANTOS/SP 20125-2024.....	55
Figura 14 - Série temporal comparativa entre as notificações de SRAG e os valores diários de MP10 na Baixada Santista 2015-2024.....	57
Figura 15 - Série temporal comparativa entre as notificações de SRAG e os valores diários de MP2,5 na Baixada Santista 2015-2024.....	59
Figura 16 - Série temporal comparativa entre as notificações por SRAG e os valores diários temperatura na Baixada Santista 2015-2024.....	61
Figura 17 - Série temporal comparativa entre as notificações por SRAG e os valores diários Umidade do ar na Baixada Santista 2015-2024.....	63

Figura 18 - Série temporal da concentração de MP10 na Baixada Santista, 2015-2024.....	66
Figura 19 - Série temporal das concentrações diárias de MP2,5, Baixada Santista, 2015-2024.....	68
Figura 20 - Série temporal da concentração de MP2,5 na Baixada Santista, 2015-2024.....	70
Figura 21 - Série temporal da umidade relativa do ar na Baixada Santista, 2015-2024.....	72
Figura 22 - Boxplot anual das concentrações diárias de MP10 na Baixada Santista, 2015-2024.....	76
Figura 23 - Boxplot anual da concentração diária de MP 2,5, Baixada Santista, 2015-2024.....	77
Figura 24 - Boxplot anual da temperatura do ar, com média anual e desvio padrão, Baixada Santista, 2015-2024.....	79
Figura 25 - Boxplot anual da umidade relativa do ar, com média anual e desvio padrão, Baixada Santista, 2015-2024.....	80
Figura 26 - Comparações múltiplas pelo teste de Tukey para as concentrações anuais de MP10 na Baixada Santista, 2015-2024.....	82
Figura 27 - Comparações múltiplas pelo teste de Tukey para as concentrações anuais de MP2,5 na Baixada Santista, 2015-2024.....	84
Figura 28 - Efeito defasado do MP10 sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, expresso como aumento percentual do risco, Baixada Santista, 2015-2024.....	88
Figura 29 - - Efeito defasado do MP2,5 sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, expresso como aumento percentual do risco por incremento de 10 µg/m ³ , Baixada Santista, 2015-2024.....	90
Figura 30 - Efeito defasado da temperatura do ar sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, Baixada Santista, 2015-2024.....	91
Figura 31 - - Efeito defasado da umidade relativa do ar sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, expresso como aumento percentual do de umidade relativa, Baixada Santista, 2015-2024.....	93
Figura 32 - Efeito anual da temperatura do ar sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015-2024.....	94
Figura 33 - Efeito anual da umidade relativa do ar sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015-2024.....	95

Figura 34 - Efeito anual do MP10 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024.....	96
Figura 35 - Efeito anual do MP2,5 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024.....	97

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 O monitoramento da qualidade do ar no município de Santos.....	16
1.2 Poluição atmosférica, material particulado e saúde respiratória.....	16
1.3 Umidade relativa do ar e saúde respiratória.....	18
1.4 Temperatura do ar, estabilidade atmosférica e infecções respiratórias.....	19
1.5 Precipitação e remoção de poluentes atmosféricos.....	19
1.6 Determinantes ambientais e vulnerabilidade respiratória na Baixada Santista.....	20
1.7 Impacto clínico, epidemiológico e assistencial da SRAG.....	20
1.8 Mecanismos de associação entre poluentes atmosféricos e agravos respiratórios.....	21
1.9 Temperatura, umidade e dinâmica das doenças respiratórias.....	22
1.10 Estudos epidemiológicos sobre poluição, clima e doenças respiratórias.....	23
1.11 Prevenção da SRAG e vigilância integrada.....	23
1.12 Justificativa do estudo.....	27
2 OBJETIVOS.....	29
2.1 Objetivo geral.....	29
2.2 Objetivos específicos.....	29
3. METODOLOGIA.....	29
3.1 Tipo de estudo.....	29
3.2 Local de estudo.....	29
3.3 Período da pesquisa.....	30
3.4 Coleta de dados.....	30
3.5 Análise estatística.....	31
3.6 Justificativas das escolhas analíticas.....	34
3.7 Aspectos éticos.....	36
4 RESULTADOS.....	36
4.1 Perfil epidemiológico da SRAG na Baixada Santista.....	37
4.2 Evolução temporal dos casos de SRAG.....	50
4.3 Análise técnica dos gráficos de qualidade do ar e variáveis meteorológicas.....	51
4.4 Perfil Ambiental e climático da Baixada Santista.....	73
4.5 Associação estatística entre variáveis ambientais e SRAG.....	85
4.6 Análise dos efeitos defasados das variáveis ambientais sobre os casos de SRAG.....	87
5 DISCUSSÃO.....	98
5.1 Limitações do estudo.....	105
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
7 REFERÊNCIAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

As infecções respiratórias agudas constituem importante problema de saúde pública em âmbito mundial, em razão de sua elevada frequência, potencial de agravamento clínico e impacto sobre os serviços de saúde. Essas infecções podem acometer diferentes segmentos do trato respiratório e apresentar evolução variável, desde quadros leves, caracterizados por febre, tosse e congestão nasal, até formas graves, como pneumonia, insuficiência respiratória e Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), podendo resultar em hospitalização e óbito (Albuquerque et al., 2023; Yang et al., 2024).

Entre os principais agentes etiológicos associados às infecções respiratórias destacam-se o vírus influenza, o vírus sincicial respiratório, os rinovírus e, mais recentemente, o SARS-CoV-2. A pandemia de COVID-19 evidenciou a capacidade das doenças respiratórias de produzir impactos sanitários, sociais e econômicos expressivos, além de modificar os padrões de vigilância, notificação, circulação viral e demanda assistencial nos sistemas de saúde (Albuquerque et al., 2023).

Influenza, pneumonia e infecções pelo vírus sincicial respiratório estão entre as condições que podem evoluir com comprometimento respiratório grave e necessidade de hospitalização. Entretanto, a presença desses diagnósticos no Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS) não permite confirmar, isoladamente, que todos os registros atenderam à definição clínica ou epidemiológica de SRAG. Dessa forma, os registros foram analisados como internações hospitalares por causas respiratórias selecionadas, não sendo possível afirmar que todos preencheram integralmente os critérios clínicos e epidemiológicos de SRAG.

A SRAG representa uma das manifestações mais graves das infecções respiratórias, sendo caracterizada por comprometimento respiratório importante e maior risco de hospitalização, especialmente entre idosos, crianças pequenas, pessoas com comorbidades e indivíduos imunossuprimidos. Sua ocorrência está relacionada a múltiplos fatores, incluindo características individuais, circulação de vírus respiratórios, cobertura vacinal, condições socioeconômicas, acesso aos serviços de saúde e exposições ambientais (Guo et al., 2023; Ye et al., 2021).

Nos últimos anos, a relação entre ambiente, clima e saúde respiratória tem recebido crescente atenção na literatura científica. Variáveis meteorológicas, como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, podem influenciar a sazonalidade, a transmissibilidade

e a gravidade das infecções respiratórias. Alterações térmicas, períodos de baixa umidade e eventos climáticos extremos podem comprometer a integridade das vias aéreas, favorecer a permanência de partículas em suspensão e contribuir para o aumento da vulnerabilidade respiratória da população (Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023b; Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024).

Além das variáveis climáticas, a poluição atmosférica constitui fator relevante para o agravamento das doenças respiratórias. Os materiais inaláveis, como o material particulado (MP10) e o material particulado fino (MP2,5), apresentam reconhecida importância epidemiológica, pois podem penetrar no sistema respiratório, desencadear processos inflamatórios, exacerbar doenças preexistentes e aumentar a demanda por atendimentos e internações. O MP2,5, em razão de seu menor diâmetro aerodinâmico, possui maior capacidade de atingir regiões profundas do trato respiratório, representando maior risco à saúde, especialmente em populações vulneráveis (Ye et al., 2021; Guo et al., 2023; Requia et al., 2023c).

Estudos nacionais recentes têm demonstrado associações relevantes entre exposição de curto prazo à poluição atmosférica e aumento das internações por doenças respiratórias. Pesquisa realizada em todo o território brasileiro, envolvendo aproximadamente 23,8 milhões de internações hospitalares, identificou associação significativa entre poluição atmosférica e hospitalizações cardiorrespiratórias, com variações segundo o poluente, a região, o sexo e a faixa etária (Requia et al., 2023a). Esses achados reforçam a importância de considerar as especificidades populacionais e territoriais na análise dos efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde.

Outro estudo de abrangência nacional, envolvendo 1.814 municípios brasileiros, identificou associação entre a exposição diária ao MP2,5 e as hospitalizações, demonstrando que os efeitos podem variar entre diferentes grupos populacionais e territórios (Guo et al., 2023). Esses resultados evidenciam que análises regionais são necessárias para compreender particularidades ambientais, climáticas e sociais que podem não ser integralmente representadas em estudos realizados em escala nacional.

As condições meteorológicas também podem influenciar a ocorrência e o agravamento das doenças respiratórias. Estudos brasileiros recentes demonstraram que tanto temperaturas elevadas quanto temperaturas reduzidas podem estar associadas ao aumento das internações respiratórias. Em estudo nacional envolvendo mais de 23 milhões de hospitalizações,

observou-se associação entre temperaturas elevadas e maior risco relativo de internações por doenças respiratórias, com diferenças segundo região, sexo e faixa etária (Requia et al., 2023b). Esses achados demonstram que a relação entre temperatura e desfechos respiratórios pode apresentar comportamento complexo e variar conforme características climáticas e populacionais de cada região.

A Baixada Santista apresenta características socioambientais que justificam a realização de estudos sobre a relação entre internações por causas respiratórias, condições climáticas e poluição do ar. A região é composta por nove municípios: Santos, São Vicente, Cubatão, Praia Grande, Guarujá, Bertioga, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe. Reúne elevada densidade populacional, intensa urbanização, atividade portuária, circulação veicular, áreas industriais e importantes desigualdades territoriais. Essas condições podem interferir tanto na exposição da população aos poluentes atmosféricos quanto na dinâmica de ocorrência e agravamento das doenças respiratórias (Requia et al., 2023c; Guo et al., 2023).

No município de Santos, o monitoramento da qualidade do ar realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo permite acompanhar variáveis ambientais relevantes, como MP10, MP2,5, temperatura do ar e umidade relativa. Essas informações são fundamentais para compreender a dinâmica ambiental da região e avaliar possíveis associações com as internações por causas respiratórias ao longo do tempo. Considerando as características costeiras, urbanas, portuárias e industriais da Baixada Santista, a integração entre dados ambientais e epidemiológicos pode contribuir para a identificação de períodos de maior risco respiratório (Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023b; Requia et al., 2023c).

Nesse contexto, compreender a associação entre internações por SRAG e variáveis ambientais torna-se relevante para o planejamento de ações de vigilância em saúde, prevenção de agravos respiratórios e organização da rede assistencial. A análise temporal das internações, associada ao comportamento dos poluentes atmosféricos e das variáveis meteorológicas, pode fornecer subsídios para políticas públicas voltadas à saúde ambiental, à adaptação às mudanças climáticas e à proteção de grupos populacionais mais vulneráveis (Ye et al., 2021; Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023c; Yang et al., 2024).

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a associação entre as internações hospitalares por síndrome respiratória aguda grave (SRAG) e as variáveis ambientais e

climáticas na Baixada Santista, no período de 2015 a 2024, considerando os nove municípios da região e os dados disponíveis sobre qualidade do ar e condições meteorológicas.

1.1 O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SANTOS

A avaliação da qualidade do ar em Santos integra a rede de monitoramento mantida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, responsável pelo acompanhamento contínuo dos poluentes atmosféricos no estado. Atualmente, a CETESB disponibiliza dados provenientes das redes automática e manual por meio do sistema QUALAR, permitindo a consulta de informações horárias, valores diários, médias mensais, boletins meteorológicos e características das estações de monitoramento (Cetesb, 2024a; Cetesb, 2026).

No município de Santos, destacam-se as estações automáticas Santos Boqueirão e Santos Ponta da Praia, instaladas em áreas com diferentes características de ocupação e fontes potenciais de emissão. A estação Santos Boqueirão contribui para o acompanhamento das condições atmosféricas em uma área de intensa ocupação urbana e circulação veicular. A estação Santos–Ponta da Praia, localizada nas proximidades do complexo portuário, permite acompanhar a influência potencial da movimentação de cargas, do tráfego de veículos pesados e das atividades portuárias sobre a qualidade do ar (Cetesb, 2023; Cetesb, 2024a; Cetesb, 2026). A presença dessas estações possibilita acompanhar as concentrações de poluentes relevantes para a saúde respiratória, entre eles o material particulado inalável e o material particulado fino. Os dados produzidos também contribuem para o diagnóstico das condições atmosféricas da Baixada Santista e para o planejamento de ações de controle e vigilância ambiental (Cetesb, 2024a; Cetesb, 2026).

Neste estudo, os dados da estação Santos–Boqueirão, localizada no município de Santos, foram utilizados como indicador regional da exposição ambiental nos nove municípios da Baixada Santista.

Entretanto, essa estratégia deve ser interpretada com cautela, pois as medições realizadas em estações fixas não representam integralmente a variabilidade espacial da poluição atmosférica e das condições meteorológicas entre municípios com diferentes características urbanas, portuárias, industriais e territoriais.

1.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, MATERIAL PARTICULADO E SAÚDE RESPIRATÓRIA

A poluição atmosférica constitui um dos principais determinantes ambientais associados ao agravamento das doenças respiratórias, especialmente em regiões urbanas, industriais e portuárias. Entre os poluentes de maior relevância epidemiológica destacam-se o material particulado inalável, denominado MP10, e o material particulado fino, denominado MP2,5. Seus efeitos sobre a saúde dependem do tamanho e da composição química das partículas, da concentração ambiental, do tempo de exposição e das condições de vulnerabilidade da população exposta (Guo et al., 2023; Requia et al., 2023c; Li et al., 2023).

O MP10 é constituído por partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micrômetros, capazes de penetrar nas vias aéreas superiores e brônquicas. Suas principais fontes em ambientes urbanos incluem poeira ressuspensa, tráfego veicular, movimentação de cargas, construção civil e processos industriais. O MP2,5, devido ao seu menor diâmetro aerodinâmico, possui maior capacidade de alcançar bronquíolos e alvéolos e pode desencadear estresse oxidativo, inflamação local e sistêmica, alterações na resposta imunológica e agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares (Coker et al., 2022; Guo et al., 2023; Requia et al., 2023c).

Estudo nacional realizado com aproximadamente 23,8 milhões de internações identificou que cada aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de MP2,5 esteve associado ao crescimento de 3,28% no risco de hospitalização por doenças respiratórias no Brasil. Outro estudo, envolvendo 1.814 municípios brasileiros, encontrou efeitos mais expressivos da exposição entre crianças de zero a quatro anos e pessoas com 80 anos ou mais (Requia et al., 2023c; Guo et al., 2023).

Na Baixada Santista, a presença do complexo portuário, a circulação de veículos pesados, a urbanização intensa e a proximidade entre áreas residenciais, portuárias e industriais tornam necessário o acompanhamento contínuo da qualidade do ar. A exposição ao material particulado pode aumentar a suscetibilidade a infecções respiratórias, agravar condições clínicas preexistentes e elevar a demanda por atendimento de urgência e internações, especialmente entre idosos, crianças pequenas e pessoas com comorbidades (Ye et al., 2021; Coker et al., 2022; Godoy; Silva, 2023; Guo et al., 2023).

1.3 UMIDADE RELATIVA DO AR E SAÚDE RESPIRATÓRIA

A umidade relativa do ar influencia a dinâmica dos poluentes atmosféricos, a sobrevivência de agentes infecciosos e o funcionamento das defesas naturais do sistema respiratório. Em condições de baixa umidade, pode ocorrer ressecamento das mucosas nasais e brônquicas, redução da eficiência do transporte mucociliar e maior irritação das vias aéreas, favorecendo o agravamento de doenças respiratórias e aumentando a vulnerabilidade a infecções (Tang et al., 2021; Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024).

Períodos de baixa umidade também podem favorecer a ressuspensão de partículas depositadas no solo e aumentar sua permanência no ambiente. Em níveis mais elevados, a umidade pode modificar o tamanho, a deposição e o comportamento aerodinâmico das partículas higroscópicas, além de contribuir para condições favoráveis à presença de fungos, ácaros e outros alérgenos em ambientes internos (D'Amato et al., 2015; Tang et al., 2021; Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024).

A relação entre umidade e internações respiratórias não ocorre necessariamente de forma linear. Seus efeitos podem variar de acordo com a faixa de umidade, o desfecho analisado, a idade da população, as condições climáticas regionais e o período de defasagem considerado (Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024).

1.4 TEMPERATURA DO AR, ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA E INFECÇÕES RESPIRATÓRIAS

A temperatura do ar interfere na dispersão dos poluentes, na estabilidade atmosférica e na resposta fisiológica das vias respiratórias. O aquecimento da superfície geralmente favorece a convecção e a dispersão vertical dos poluentes. Entretanto, em situações de inversão térmica, uma camada de ar mais quente atua como barreira sobre o ar frio próximo à superfície, dificultando a dispersão e favorecendo o acúmulo de poluentes nas camadas inferiores da atmosfera (Seinfeld; Pandis, 2016).

Temperaturas reduzidas podem favorecer vasoconstrição local, alterações nas defesas das mucosas, maior permanência da população em ambientes fechados e maior estabilidade de alguns agentes respiratórios. Temperaturas elevadas podem produzir estresse térmico, alterar os padrões de ventilação e intensificar a formação de poluentes secundários. Dessa maneira, tanto o frio quanto o calor podem aumentar o risco de agravamentos respiratórios (Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023b; Zhang et al., 2023; Yang et al., 2024).

Estudo nacional com mais de 23 milhões de hospitalizações identificou associação entre baixas temperaturas e internações respiratórias no Brasil. Outra análise nacional

observou que temperaturas elevadas também aumentaram o risco de internações, com maior impacto sobre doenças respiratórias, idosos e mulheres (Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023b).

1.5 PRECIPITAÇÃO E REMOÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A precipitação pluviométrica participa da remoção de poluentes da atmosfera por meio da deposição úmida. Durante a chuva, partículas suspensas podem ser capturadas pelas gotas e transferidas para a superfície, reduzindo temporariamente as concentrações de MP10 e MP2,5.

A intensidade desse processo depende da quantidade e da duração da precipitação, do tamanho das partículas e das condições meteorológicas (Jacobson, 2002; Loosmore; Cederwall, 2004; United States Environmental Protection Agency, 2025). (Jacobson, 2002; Loosmore; Cederwall, 2004; United States Environmental Protection Agency, 2025).

Embora a precipitação não tenha sido incluída nos modelos estatísticos finais, sua relação com a qualidade do ar e com a sazonalidade das doenças respiratórias é importante para interpretar o contexto ambiental. A chuva pode reduzir temporariamente a concentração de partículas, mas também favorecer maior permanência da população em ambientes fechados, modificando os padrões de contato e transmissão de agentes respiratórios (Tang et al., 2021; Zhai et al., 2023).

1.6 DETERMINANTES AMBIENTAIS E VULNERABILIDADE RESPIRATÓRIA NA BAIXADA SANTISTA

A Baixada Santista reúne características ambientais, climáticas, territoriais e socioeconômicas capazes de influenciar a ocorrência e o agravamento das doenças respiratórias. A região apresenta clima tropical úmido, elevada urbanização, intensa circulação de pessoas, veículos leves e pesados, atividades portuárias, áreas industriais e desigualdades territoriais.

Esses fatores podem atuar conjuntamente, aumentando a exposição ao material particulado e modificando os efeitos das condições meteorológicas sobre a saúde. Estudos nacionais recentes indicam que os impactos da poluição e das temperaturas extremas variam entre regiões e grupos populacionais, sendo mais expressivos entre crianças, idosos e populações socialmente vulneráveis (Ye et al., 2021; Guo et al., 2023; Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023c).

Nesse sentido, a análise integrada de MP10, MP2,5, temperatura e umidade permite compreender os agravos respiratórios como resultado de interações entre exposição ambiental, circulação de agentes infecciosos, vulnerabilidade individual, condições sociais e organização da rede assistencial.

1.7 IMPACTO CLÍNICO, EPIDEMIOLÓGICO E ASSISTENCIAL DA SRAG

A Síndrome Respiratória Aguda Grave representa uma das manifestações mais graves das infecções respiratórias, podendo envolver insuficiência respiratória, necessidade de hospitalização, suporte ventilatório e internação em unidade de terapia intensiva. Crianças pequenas, idosos, pessoas com doenças crônicas e indivíduos imunossuprimidos apresentam maior risco de evolução desfavorável (Carvalho et al., 2022; Albuquerque et al., 2023; Grohsgopf et al., 2023).

Além da gravidade clínica, a SRAG produz impacto epidemiológico e assistencial, principalmente em períodos de maior circulação de vírus respiratórios. O aumento das hospitalizações pode causar maior procura por serviços de urgência, ocupação de leitos, necessidade de suporte ventilatório e ampliação dos custos assistenciais (Albuquerque et al., 2023; Grohsgopf et al., 2023).

A pandemia de COVID-19 alterou os padrões de atendimento, notificação, testagem, hospitalização e circulação de outros agentes respiratórios, produzindo mudanças importantes nas séries epidemiológicas. Pesquisa nacional demonstrou alterações nas internações e na mortalidade hospitalar por doenças respiratórias não relacionadas à COVID-19 durante o período pandêmico (Albuquerque et al., 2023).

A ocorrência de quadros respiratórios graves resulta da interação entre circulação viral, vacinação, características demográficas, comorbidades, condições socioeconômicas, acesso aos serviços e exposições ambientais (Ye et al., 2021; Albuquerque et al., 2023; Guo et al., 2023).

1.8 MECANISMOS DE ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUENTES E AGRAVOS RESPIRATÓRIOS

Após a inalação, o material particulado pode depositar-se em diferentes regiões do sistema respiratório, conforme seu diâmetro, composição química e concentração ambiental. O MP10 atinge principalmente as vias aéreas superiores e brônquicas, enquanto o MP2,5

possui maior capacidade de alcançar bronquíolos e alvéolos (Coker et al., 2022; Guo et al., 2023; Li et al., 2023).

A deposição das partículas pode desencadear estresse oxidativo, inflamação local e sistêmica, alterações na resposta imunológica e prejuízo do transporte mucociliar. Esses mecanismos podem reduzir a capacidade de defesa das vias respiratórias, agravar doenças preexistentes e aumentar a suscetibilidade a infecções (Domínguez-Romero et al., 2020; Coker et al., 2022; Guo et al., 2023).

O MP2,5 também pode transportar compostos orgânicos, metais e outras substâncias potencialmente tóxicas. Estudos epidemiológicos recentes associaram sua exposição ao aumento de sintomas respiratórios, atendimentos de urgência, hospitalizações e mortalidade, com efeitos mais importantes em crianças pequenas e idosos (Ye et al., 2021; Coker et al., 2022; Guo et al., 2023; Requía et al., 2023c).

Esses mecanismos não significam que a poluição atmosférica seja a causa direta de todos os casos de SRAG. A interpretação mais adequada é que a exposição ambiental pode atuar como fator agravante ou modulador do risco, em conjunto com circulação viral, comorbidades e condições sociais.

Após a inalação, o material particulado pode depositar-se em diferentes regiões do sistema respiratório, de acordo com o diâmetro, a composição química e a concentração ambiental. O MP10 atinge principalmente as vias aéreas superiores e brônquicas, enquanto o MP2,5 possui maior capacidade de alcançar bronquíolos e alvéolos (Coker et al., 2022; Guo et al., 2023; Li et al., 2023).

A deposição dessas partículas pode desencadear estresse oxidativo, inflamação local e sistêmica, alterações da resposta imunológica e prejuízo do transporte mucociliar. Esses mecanismos podem comprometer as defesas das vias respiratórias, agravar doenças preexistentes e aumentar a suscetibilidade a infecções respiratórias (Domínguez-Romero et al., 2020; Coker et al., 2022; Guo et al., 2023).

O MP2,5 também pode transportar compostos orgânicos, metais e outras substâncias potencialmente tóxicas. Sua exposição tem sido associada ao aumento de sintomas respiratórios, atendimentos de urgência, hospitalizações e mortalidade, sobretudo entre crianças pequenas, idosos e pessoas com doenças crônicas (Ye et al., 2021; Coker et al., 2022; Guo et al., 2023; Requía et al., 2023c).

1.9 TEMPERATURA, UMIDADE E DINÂMICA DAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

A temperatura e a umidade relativa influenciam a circulação dos agentes respiratórios, a permanência da população em ambientes fechados, o funcionamento das defesas das vias aéreas e a dispersão dos poluentes. Temperaturas reduzidas podem comprometer as defesas das mucosas e contribuir para o aumento de internações respiratórias (Requia et al., 2023b; Zhang et al., 2023; Yang et al., 2024).

Temperaturas elevadas também podem representar risco, especialmente em razão do estresse térmico e da interação com características urbanas. Estudos recentes demonstraram associação entre calor e aumento de internações respiratórias, particularmente entre idosos e outros grupos vulneráveis (Requia et al., 2023a; Zhai et al., 2023; O'Lenick et al., 2025).

A umidade pode apresentar efeitos distintos nas faixas extremas. Valores baixos podem favorecer o ressecamento das mucosas, enquanto valores elevados podem contribuir para maior presença de fungos, ácaros e partículas higroscópicas. Por isso, a relação entre umidade e hospitalizações geralmente apresenta comportamento não linear (Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024).

A utilização de modelos não lineares com defasagem distribuída permite avaliar simultaneamente a forma da relação entre exposição e resposta e a distribuição temporal dos efeitos, sendo adequada para agravos que podem ocorrer no mesmo dia ou nos dias posteriores à exposição (Zhai et al., 2023; Requia et al., 2023a; Yang et al., 2024).

1.10 ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS SOBRE POLUIÇÃO, CLIMA E DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Estudos recentes realizados no Brasil identificaram associações entre exposição ao material particulado e aumento das internações por doenças respiratórias. Os efeitos podem ocorrer no mesmo dia ou permanecer nos dias posteriores à exposição, justificando a análise das defasagens temporais (Coker et al., 2022; Godoy; Silva, 2023; Guo et al., 2023; Requia et al., 2023c).

As séries temporais permitem analisar as variações diárias dos desfechos de saúde e das exposições ambientais, com controle de tendência de longo prazo, sazonalidade e dia da semana. Modelos quasi-Poisson e modelos não lineares com defasagem distribuída têm sido utilizados em estudos nacionais e internacionais para avaliar os efeitos de poluentes e

temperaturas extremas (Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023b; Requia et al., 2023c; Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024).

1.11 PREVENÇÃO DA SRAG E VIGILÂNCIA INTEGRADA

A prevenção da Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) exige a adoção de estratégias articuladas, uma vez que essa síndrome pode estar associada a diferentes agentes etiológicos, principalmente os vírus influenza, SARS-CoV-2, vírus sincicial respiratório e outros vírus respiratórios. Nesse contexto, as medidas preventivas devem contemplar tanto a redução da transmissão dos agentes infecciosos quanto a identificação precoce dos registros com potencial de agravamento, especialmente entre indivíduos pertencentes aos grupos de maior vulnerabilidade clínica e social (Brasil, 2024; World Health Organization, 2024).

A vacinação constitui uma das principais estratégias para a redução das formas graves, hospitalizações e óbitos relacionados às infecções respiratórias imunopreveníveis. A imunização contra a influenza deve ser realizada periodicamente, de acordo com as recomendações do Programa Nacional de Imunizações, considerando a constante circulação e modificação dos vírus influenza. Da mesma forma, a vacinação contra a COVID-19 permanece relevante para a prevenção de complicações, sobretudo entre pessoas idosas, imunocomprometidas, gestantes, indivíduos com comorbidades e profissionais da saúde. Estudos demonstram que a vacinação contra a influenza, embora não elimine completamente a possibilidade de infecção, reduz o risco de atendimento médico, hospitalização, evolução para formas graves e morte associada à doença (Grohskopf et al., 2023; Brasil, 2024).

A vacinação pneumocócica também deve ser considerada no conjunto das ações preventivas, particularmente para crianças, idosos, pessoas imunocomprometidas e indivíduos com doenças crônicas. As infecções provocadas por *Streptococcus pneumoniae* podem ocasionar pneumonia, bacteremia e meningite, além de contribuir para complicações bacterianas secundárias após infecções virais. Dessa forma, a ampliação da cobertura vacinal contra pneumococos pode reduzir a ocorrência de doenças invasivas e de complicações respiratórias graves nos grupos contemplados pelas recomendações nacionais de imunização (Brasil, 2024).

Além da vacinação, medidas não farmacológicas permanecem importantes para reduzir a transmissão de agentes respiratórios. Entre essas medidas estão a higienização frequente das mãos, a adoção da etiqueta respiratória, a utilização de máscara em situações de risco ou por pessoas sintomáticas, a permanência em casa durante a fase aguda da doença, a

limpeza de superfícies de contato frequente e a manutenção de ventilação adequada nos ambientes fechados. A renovação do ar contribui para diminuir a concentração de partículas respiratórias potencialmente infectantes, especialmente em locais com aglomeração, pouca circulação de ar ou permanência prolongada de pessoas (World Health Organization, 2023; World Health Organization, 2025).

A prevenção das formas graves também depende do reconhecimento oportuno dos sinais de agravamento. Dispneia, desconforto respiratório, queda da saturação de oxigênio, cianose, alteração do estado de consciência e piora clínica de doenças preexistentes são manifestações que requerem avaliação imediata. A identificação precoce desses sinais na atenção primária, nos serviços de urgência e em outros pontos da rede assistencial favorece o encaminhamento adequado, o início oportuno do tratamento e a redução do risco de complicações. Para isso, é necessário que os profissionais estejam capacitados para realizar triagem, avaliação clínica, coleta de amostras, notificação e acompanhamento dos registros suspeitos ou confirmados (Brasil, 2024).

A vigilância epidemiológica da SRAG constitui componente essencial da prevenção e da resposta às emergências respiratórias. No Brasil, os hospitalizados e os óbitos por SRAG devem ser investigados e notificados no Sistema de Informação da Vigilância Epidemiológica da Gripe SIVEP-Gripe. As informações produzidas por esse sistema permitem acompanhar a distribuição temporal e espacial dos casos, identificar os agentes etiológicos em circulação, reconhecer alterações no padrão epidemiológico e caracterizar os grupos com maior risco de hospitalização e morte. A qualidade da vigilância depende da oportunidade da notificação, da completude das variáveis, da coleta adequada de amostras e da integração entre unidades assistenciais, laboratórios e serviços de vigilância (Brasil, 2024).

A vigilância laboratorial complementa a vigilância epidemiológica ao possibilitar a identificação dos vírus respiratórios circulantes e de suas possíveis alterações. A análise integrada de dados epidemiológicos, clínicos e laboratoriais permite reconhecer o início de períodos de maior circulação viral, detectar agentes emergentes e apoiar decisões relacionadas à vacinação, ao manejo clínico e à organização da rede de atenção. A Organização Mundial da Saúde recomenda a integração da vigilância da influenza, do SARS-CoV-2 e do vírus sincicial respiratório, utilizando estruturas já consolidadas para ampliar a capacidade de preparação e resposta diante de epidemias e pandemias respiratórias (World Health Organization, 2024).

Entretanto, a prevenção da SRAG não deve restringir-se à vigilância dos agentes infecciosos. As condições ambientais também podem influenciar a ocorrência e a gravidade dos agravos respiratórios. A exposição ao material particulado inalável, especialmente às partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm MP10 e às partículas finas inferiores a 2,5 µm MP2,5 está associada à irritação das vias aéreas, à inflamação pulmonar, à exacerbação de doenças respiratórias preexistentes e ao aumento de atendimentos e hospitalizações por agravos respiratórios. As partículas finas apresentam especial relevância por sua capacidade de alcançar regiões mais profundas do sistema respiratório e atingir os alvéolos pulmonares (World Health Organization, 2021).

As variações de temperatura e umidade também podem modificar a dinâmica das doenças respiratórias. Temperaturas extremas podem aumentar a sobrecarga fisiológica, agravar doenças cardiovasculares e respiratórias e elevar o risco de descompensação entre pessoas vulneráveis. A umidade, por sua vez, pode influenciar a estabilidade dos vírus no ambiente, o funcionamento das mucosas respiratórias, a dispersão de partículas e o comportamento das pessoas em ambientes fechados. Entretanto, os efeitos dessas variáveis não ocorrem isoladamente, pois dependem das características climáticas locais, da circulação dos agentes infecciosos, das condições de moradia, da poluição atmosférica, da cobertura vacinal e do acesso aos serviços de saúde (World Health Organization, 2021; Requia et al., 2023a; Requia et al., 2023b; Requia et al., 2023c).

Nesse sentido, o monitoramento conjunto das concentrações de MP10 e MP2,5, da temperatura, da umidade e dos indicadores epidemiológicos pode contribuir para a identificação de períodos potencialmente desfavoráveis à saúde respiratória. A utilização dessas informações em sistemas de alerta deve considerar valores observados, tendências temporais, sazonalidade, previsões meteorológicas e características dos grupos populacionais expostos. Esses sistemas não permitem prever individualmente quem desenvolverá SRAG, mas podem auxiliar na identificação de cenários em que existe maior possibilidade de aumento da demanda por atendimento respiratório.

A integração entre vigilância epidemiológica, laboratorial, ambiental e assistência à saúde pode subsidiar a formulação de alertas precoces e a adoção de medidas proporcionais ao risco identificado. Entre as possíveis ações estão a orientação da população, a intensificação das campanhas de vacinação, o reforço das medidas de prevenção em instituições de longa permanência, escolas e unidades de saúde, a ampliação da testagem, a

organização da atenção primária e a preparação dos serviços de urgência, enfermarias e unidades de terapia intensiva. Também pode apoiar o planejamento de estoques de medicamentos, oxigênio, equipamentos de proteção individual e insumos laboratoriais.

A vigilância integrada deve conferir atenção especial às desigualdades sociais e territoriais. Populações residentes em áreas com maior poluição atmosférica, habitações precárias, elevada densidade domiciliar, menor acesso à vacinação e dificuldades de acesso aos serviços de saúde podem apresentar maior exposição e menor capacidade de proteção diante das infecções respiratórias. Idosos, crianças pequenas, gestantes, pessoas imunocomprometidas e indivíduos com doenças cardiovasculares, pulmonares, metabólicas ou neurológicas também apresentam maior risco de evolução desfavorável. Portanto, a análise territorial dos indicadores pode orientar ações específicas e contribuir para uma distribuição mais equitativa dos recursos de prevenção e assistência.

Na Baixada Santista, a integração dessas dimensões assume especial relevância em razão das características urbanas, industriais, portuárias, meteorológicas e demográficas da região. O acompanhamento simultâneo das internações e notificações de SRAG, da circulação viral, das concentrações de poluentes atmosféricos e das condições de temperatura e umidade pode ampliar a compreensão sobre os períodos de maior vulnerabilidade respiratória. Essa abordagem permite superar uma interpretação exclusivamente biológica da SRAG e reconhecer que sua ocorrência resulta da interação entre agentes infecciosos, características individuais, condições ambientais, desigualdades sociais e capacidade de resposta dos serviços de saúde.

Assim, a prevenção da SRAG deve ser compreendida como uma ação contínua e intersetorial, envolvendo imunização, educação em saúde, vigilância epidemiológica e laboratorial, monitoramento ambiental, atenção clínica oportuna e planejamento dos serviços. A produção e o compartilhamento sistemático dessas informações podem fortalecer a tomada de decisão, reduzir a exposição da população aos fatores de risco e contribuir para a diminuição das hospitalizações, complicações e óbitos relacionados às doenças respiratórias graves.

1.12 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

As doenças respiratórias permanecem entre os agravos de maior relevância para a Saúde Coletiva, em razão de sua elevada frequência, potencial de agravamento clínico e impacto sobre a demanda por atendimento de urgência, hospitalizações e utilização de leitos. Sua ocorrência não depende exclusivamente da circulação de agentes infecciosos, mas também resulta da interação entre características individuais, condições socioeconômicas, organização dos serviços de saúde e exposições ambientais.

A Baixada Santista apresenta características territoriais que justificam a realização de estudos sobre ambiente e saúde respiratória. A região reúne elevada densidade populacional, intensa urbanização, circulação de veículos leves e pesados, atividades portuárias, áreas industriais e desigualdades socioambientais. Além disso, suas condições costeiras, com elevada umidade relativa, influência marítima e variações de temperatura, podem interferir tanto na dispersão dos poluentes atmosféricos quanto na dinâmica das doenças respiratórias.

De forma semelhante, pesquisa sobre baixas temperaturas identificou associação com internações respiratórias no Brasil, com risco relativo de 1,07 para esse grupo de doenças (Requia et al., 2023c). Evidências recentes também mostram que a variabilidade térmica pode estar relacionada não somente ao aumento das hospitalizações respiratórias, mas também à duração das internações e aos custos hospitalares (Zhai et al., 2023).

A relação entre exposições ambientais e agravos respiratórios não ocorre necessariamente de forma linear ou apenas no mesmo dia da exposição. Os efeitos da poluição, da temperatura e da umidade podem manifestar-se de maneira imediata, acumulada ou nos dias subsequentes. Estudos recentes utilizaram modelos não lineares com defasagem distribuída para avaliar simultaneamente a forma da relação exposição/resposta e a distribuição temporal dos efeitos, demonstrando a pertinência dessa abordagem em pesquisas sobre ambiente e hospitalizações respiratórias (Requia et al., 2023b; Requia et al., 2023c; Zhai et al., 2023).

Nesse contexto, a análise conjunta das concentrações de MP10 e MP2,5, da temperatura do ar e da umidade relativa permite investigar diferentes dimensões da exposição ambiental e identificar períodos de maior vulnerabilidade respiratória. A avaliação dos efeitos acumulados e defasados entre zero e sete dias possibilita verificar se alterações ambientais estão associadas às internações no dia da exposição ou nos dias posteriores, oferecendo uma interpretação temporal mais abrangente.

Embora existam pesquisas nacionais sobre poluição atmosférica, temperaturas extremas e hospitalizações, ainda são necessários estudos regionais com séries temporais prolongadas em territórios que apresentem simultaneamente características urbanas, costeiras, portuárias e industriais. A Baixada Santista constitui um cenário particularmente relevante devido à proximidade entre áreas residenciais, corredores de transporte, instalações portuárias e polos industriais.

Além de sua contribuição científica, o estudo possui relevância prática para a vigilância em saúde. A identificação de associações entre variáveis ambientais e internações por síndromes respiratórias aguda grave (SRAG) pode apoiar o desenvolvimento de alertas precoces, a orientação de grupos vulneráveis, a organização da atenção básica e hospitalar e o planejamento de políticas intersetoriais envolvendo saúde, meio ambiente, transporte e desenvolvimento urbano.

Dessa forma, este estudo justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre a relação entre poluição atmosférica, condições meteorológicas e internações por causas respiratórias na Baixada Santista, considerando as especificidades ambientais e territoriais da região e a distribuição temporal dos efeitos ao longo de dez anos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a associação entre variáveis ambientais e climáticas e as internações por síndrome respiratória aguda grave (SRAG) potencialmente relacionadas a quadros de Síndrome Respiratória Aguda Grave na Baixada Santista, entre 2015 e 2024.

2.2 Objetivos Específicos

1-Descrever o perfil epidemiológico e temporal das internações hospitalares por causas respiratórias selecionadas na Baixada Santista entre 2015 e 2024.

2- Caracterizar o comportamento temporal das concentrações de MP10 e MP2,5, da temperatura do ar e da umidade relativa.

3- Avaliar a associação entre as variáveis ambientais e meteorológicas e a ocorrência diária das internações respiratórias selecionadas.

4- Estimar os efeitos não lineares, acumulados e defasados das exposições ambientais entre zero e sete dias.

5- Identificar implicações dos resultados para a vigilância em saúde ambiental e para o planejamento regional da assistência.

6- Identificar os municípios com maiores ocorrências de internações respiratórias.

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de Estudo

Trata-se de um estudo ecológico longitudinal, de abordagem quantitativa, destinado a analisar a associação entre variáveis ambientais e climáticas e as internações por síndrome respiratória aguda grave (SRAG) selecionadas na Baixada Santista, entre janeiro de 2015 e dezembro de 2024. A variável de desfecho foi definida como a contagem diária dessas internações, segundo o município de residência.

3.2 Local de Estudo

O estudo foi realizado na região da Baixada Santista, localizada no estado de São Paulo, composta por nove municípios: Santos, São Vicente, Cubatão, Praia Grande, Guarujá, Bertioga, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe.

A região apresenta características urbanas, costeiras, portuárias e industriais relevantes para estudos em saúde ambiental, incluindo elevada circulação populacional, intenso tráfego veicular, atividade portuária, áreas industriais e desigualdades territoriais, fatores que podem influenciar a exposição da população a poluentes atmosféricos e a ocorrência de agravos respiratórios.

3.3 Período da Pesquisa

O período analisado compreende 10 anos consecutivos: de janeiro de 2015 a dezembro de 2024.

3.4 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada a partir de bases secundárias oficiais, contemplando informações epidemiológicas sobre internações hospitalares por síndrome respiratória aguda grave (SRAG) e dados ambientais e meteorológicos referentes ao período de janeiro de 2015 a dezembro de 2024.

Os dados epidemiológicos foram obtidos no Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS), disponibilizado pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Foram selecionadas as internações de residentes dos

nove municípios da Baixada Santista por causas respiratórias previamente definidas, incluindo pneumonia, influenza, infecções associadas ao vírus sincicial respiratório e outros diagnósticos respiratórios selecionados segundo códigos da Classificação Internacional de Doenças, 10ª Revisão (CID-10).

Foram consideradas as seguintes variáveis epidemiológicas: data da internação registrada na base, município de residência, faixa etária, sexo, raça/cor e ano de ocorrência. Os registros foram filtrados para o período de 2015 a 2024 e organizados em série temporal diária, possibilitando sua posterior integração com as informações ambientais e meteorológicas.

Durante a preparação do banco epidemiológico, foram verificados os filtros referentes ao período do estudo, ao município de residência, aos diagnósticos selecionados e à variável de data utilizada para a agregação diária. O banco final foi constituído exclusivamente por internações registradas no SIH/SUS, evitando a combinação com bases de notificação epidemiológica e reduzindo o risco de duplicidade entre diferentes sistemas de informação.

Considerando que o período analisado abrangeu a pandemia de COVID-19, a disponibilidade e a consistência temporal dos registros foram consideradas na interpretação dos resultados, especialmente entre 2020 e 2024.

Os dados ambientais e meteorológicos foram obtidos no Sistema de Informações da Qualidade do Ar (QUALAR), mantido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Foram extraídas séries diárias das seguintes variáveis: material particulado inalável com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micrômetros (MP10), material particulado fino com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros (MP2,5), temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Para representar a exposição ambiental da região, foram utilizados os dados disponíveis das estações de monitoramento localizadas no município de Santos, especialmente as estações Santos–Boqueirão, em razão da disponibilidade histórica das séries e de sua relevância para a caracterização das influências urbanas, veiculares e portuárias.

Os dados das estações de Santos foram utilizados como indicador regional de exposição para os nove municípios da Baixada Santista. Reconhece-se, entretanto, que essa estratégia pode não representar integralmente a variabilidade espacial das concentrações de MP10 e MP2,5, da temperatura e da umidade relativa entre os diferentes municípios da região.

Após a padronização das datas, dos nomes das variáveis e das unidades de medida, os bancos epidemiológico e ambiental foram integrados pela variável data, formando uma base única para a análise temporal. A variável de desfecho foi definida como a contagem diária de internações hospitalares por causas respiratórias selecionadas registradas no SIH/SUS, enquanto as variáveis explicativas corresponderam aos valores diários de MP10, MP2,5, temperatura do ar e umidade relativa do ar.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas nos programas IBM SPSS Statistics e RStudio, utilizando-se a linguagem R. O SPSS foi empregado na organização inicial, conferência e tabulação dos dados, enquanto o RStudio foi utilizado para o tratamento da base temporal, realização das análises estatísticas, ajuste dos modelos e elaboração dos gráficos (IBM Corp., 2026; R Core Team, 2024).

No ambiente R, foram utilizados principalmente os pacotes dlnm, para a construção dos modelos não lineares com defasagem distribuída; splines, para o controle flexível das tendências temporais; e ggplot2, para a elaboração das representações gráficas (Gasparrini, 2011; R Core Team, 2024; Wickham, 2016).

Os modelos de regressão foram ajustados por meio da função glm, utilizando-se a família quasi-Poisson com função de ligação logarítmica (McCullagh; Nelder, 1989; Ver Hoef; Boveng, 2007). O pacote dlnm foi desenvolvido especificamente para representar, simultaneamente, relações não lineares entre exposição e desfecho e efeitos distribuídos ao longo do tempo.

Inicialmente, foi realizada análise descritiva das variáveis epidemiológicas e ambientais. Para as internações hospitalares por causas respiratórias selecionadas registradas no SIH/SUS, foram calculadas frequências absolutas e relativas segundo município de residência, faixa etária, sexo, raça/cor e ano de ocorrência. Para MP10, MP2,5, temperatura do ar e umidade relativa do ar, foram calculados o número de observações válidas, a média, o desvio-padrão e os valores mínimo e máximo, além da construção de séries temporais e gráficos exploratórios.

A variável de desfecho foi definida como a contagem diária de internações hospitalares por causas respiratórias selecionadas registradas no SIH/SUS. Como a variância da contagem diária foi superior à média, indicando superdispersão, foram utilizados modelos

lineares generalizados com distribuição quasi-Poisson e função de ligação logarítmica (McCullagh; Nelder, 1989; Ver Hoef; Boveng, 2007).

O diagnóstico de superdispersão foi realizado por meio da razão entre a estatística de Pearson e os graus de liberdade residuais. Valores substancialmente superiores a 1 foram interpretados como evidência de superdispersão, justificando a utilização da família quasi-Poisson em substituição ao modelo de Poisson convencional. Essa abordagem preserva a estrutura da média do modelo de Poisson, mas ajusta os erros-padrão por meio da estimação de um parâmetro de dispersão (Ver Hoef; Boveng, 2007).

Para investigar possíveis relações não lineares e efeitos temporalmente defasados das exposições ambientais, foram empregados modelos não lineares com defasagem distribuída, denominados *Distributed Lag Non-Linear Models* DLNM por meio da função crossbasis do pacote dlnm (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010; Gasparrini, 2011). Para cada variável ambiental, foi construída uma matriz de base cruzada, permitindo representar simultaneamente a dimensão da exposição e a dimensão temporal da defasagem. Os DLNM foram propostos justamente para modelar exposições cujos efeitos podem ser não lineares e ocorrer em diferentes períodos após a exposição.

As relações exposição/resposta e exposição-defasagem foram modeladas por funções polinomiais de terceiro grau. Foi considerado período máximo de defasagem de sete dias, abrangendo o dia da exposição, denominado *lag* 0, e os sete dias subsequentes, denominados *lags* 0 a 7. A escolha desse intervalo foi baseada na hipótese de que os efeitos agudos das alterações da qualidade do ar e das condições meteorológicas sobre os agravos respiratórios podem ocorrer no mesmo dia ou manifestar-se nos dias imediatamente seguintes (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010; Gasparrini, 2011).

Os modelos incluíram ajuste para tendência temporal de longo prazo e sazonalidade por meio de spline natural da variável tempo, utilizando-se a função ns do pacote splines, com 60 graus de liberdade distribuídos ao longo dos dez anos analisados (R Core Team, 2024). Também foi incluída a variável categórica correspondente ao dia da semana, com o objetivo de controlar possíveis variações sistemáticas na ocorrência ou no registro das internações entre os diferentes dias. A sazonalidade residual foi controlada pela função suavizada do tempo e, nos modelos em que essa variável foi utilizada, pelo ajuste para o mês do ano.

Foram inicialmente ajustados modelos contendo simultaneamente MP10, MP2,5, temperatura do ar e umidade relativa. Entretanto, considerando que MP10 e MP2,5 podem

apresentar correlação elevada por compartilharem fontes emissoras e condições meteorológicas semelhantes, a colinearidade entre os poluentes foi avaliada previamente. Essa avaliação foi realizada pelo coeficiente de correlação de Spearman e pelo fator de inflação da variância, denominado *Variance Inflation Factor* VIF (Fox; Monette, 1992; Dormann et al., 2013).

Correlações elevadas e valores aumentados de VIF foram considerados indicativos de possível instabilidade nas estimativas. Nessas situações, foram comparados modelos com um único poluente e modelos com dois poluentes, observando-se possíveis alterações nos coeficientes, erros-padrão e intervalos de confiança (Dormann et al., 2013).

Os valores ausentes nas séries ambientais foram identificados durante a preparação da base. Os dias sem informação para alguma das variáveis incluídas no respectivo modelo foram excluídos por análise de casos completos, sem realização de imputação. Consequentemente, o número de observações variou entre os modelos conforme a disponibilidade dos dados ambientais. Essa decisão foi adotada para evitar a introdução de valores estimados sem fundamentação na série original, reconhecendo-se que a análise de casos completos pode produzir perda de precisão e viés quando a ausência dos dados não ocorre de maneira completamente aleatória (Little; Rubin, 2019).

As estimativas foram obtidas por meio da função *crosspred* do pacote *dlm*, que permitiu calcular os efeitos específicos em cada defasagem e os efeitos acumulados ao longo do período de zero a sete dias (Gasparrini, 2011). Os resultados foram apresentados como riscos relativos, acompanhados dos respectivos intervalos de confiança de 95%.

Para a interpretação epidemiológica, foram considerados incrementos de 10 µg/m³ nas concentrações de MP₁₀ e MP_{2,5}, incremento de 1 °C na temperatura do ar e incremento de 10 pontos percentuais na umidade relativa. O aumento percentual do risco foi calculado pela expressão:

$$\text{Aumento percentual} = (RR - 1) \times 100.$$

Valores positivos indicaram aumento percentual do risco, enquanto valores negativos indicaram redução em relação ao valor de referência. Uma associação foi considerada estatisticamente significativa quando o intervalo de confiança de 95% do risco relativo não incluiu o valor 1, correspondente ao valor zero nos gráficos de variação percentual. Foi adotado nível de significância de 5%.

Os valores utilizados para a centralização das curvas de risco relativo corresponderam às referências definidas durante a construção de cada objeto de predição. Esses valores foram mantidos de maneira uniforme nas tabelas, nos gráficos e na descrição textual dos resultados. Os gráficos finais foram produzidos no RStudio com o pacote `ggplot2`, apresentando as estimativas pontuais e os respectivos intervalos de confiança de 95% (Wickham, 2016). A documentação oficial do pacote define o `ggplot2` como um sistema de visualização fundamentado na gramática dos gráficos.

3.6 JUSTIFICATIVA DAS ESCOLHAS ANALÍTICAS

Foi adotado período máximo de defasagem de sete dias, incluindo o dia da exposição (*lag* 0) e os sete dias subsequentes (*lags* 1 a 7). Essa escolha teve como finalidade avaliar os efeitos agudos das exposições ambientais sobre as internações respiratórias, considerando que alterações relacionadas à poluição atmosférica, à temperatura e à umidade podem ocorrer no mesmo dia ou manifestar-se nos dias imediatamente posteriores. A utilização de uma janela relativamente curta também reduziu a complexidade do modelo e a possibilidade de estimativas instáveis decorrentes da inclusão de defasagens muito longas.

As relações exposição/resposta e exposição–defasagem foram representadas por funções polinomiais de terceiro grau. Essa especificação foi escolhida por permitir a representação de curvaturas e mudanças de direção nas associações, sem impor uma relação estritamente linear entre as variáveis ambientais e o desfecho. O grau três foi considerado um equilíbrio entre flexibilidade e parcimônia, evitando modelos excessivamente simples ou com número elevado de parâmetros. Essa estrutura funcional foi mantida entre as exposições para facilitar a comparação dos resultados.

A tendência temporal de longo prazo e a sazonalidade foram controladas por meio de spline natural da variável tempo, com 60 graus de liberdade ao longo dos dez anos analisados, correspondendo aproximadamente a seis graus de liberdade por ano. Essa parametrização permitiu controlar variações sazonais e tendências de longo prazo sem retirar completamente as flutuações de curto prazo que constituíam o interesse principal da análise. A variável categórica referente ao dia da semana também foi incorporada aos modelos para controlar possíveis diferenças sistemáticas na ocorrência ou no registro das internações entre os dias.

A utilização da distribuição quasi-Poisson foi justificada pela presença de superdispersão na variável de desfecho. A razão entre a estatística de Pearson e os graus de liberdade residuais foi de 45,98, valor substancialmente superior a 1, indicando que a

variância das contagens diárias excedeu a média. Nessas condições, o modelo de Poisson convencional poderia subestimar os erros-padrão e produzir intervalos de confiança excessivamente estreitos.

Optou-se pelo modelo quasi-Poisson porque ele preserva a estrutura da média e a função de ligação logarítmica do modelo de Poisson, ao mesmo tempo que ajusta a variância por meio de um parâmetro de dispersão. A regressão binomial negativa também poderia ser aplicada a dados superdispersos, mas pressupõe uma estrutura específica para a relação entre média e variância. Como o objetivo principal foi estimar riscos relativos populacionais e corrigir a incerteza decorrente da superdispersão, adotou-se a abordagem quasi-Poisson de forma uniforme nos modelos.

Os dados ausentes das variáveis ambientais não foram imputados. Em cada modelo, foram utilizados somente os dias com informações completas para o desfecho, a exposição de interesse e as covariáveis incluídas. Essa estratégia, denominada análise por casos completos, foi adotada para evitar a introdução de valores ambientais estimados sem validação específica para as séries analisadas. Como consequência, o número de observações variou entre os modelos segundo a disponibilidade dos dados de MP10, MP2,5, temperatura e umidade. A análise por casos completos pode reduzir a precisão das estimativas e produzir viés quando a ausência dos dados não ocorre de maneira completamente aleatória.

O período completo compreendeu 3.653 dias, de 1º de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2024. Foram identificadas:

- 3.550 observações válidas de MP10, correspondendo a 103 dias sem informação;
- 3.555 observações válidas de MP2,5, correspondendo a 98 dias sem informação;
- 3.604 observações válidas de temperatura, correspondendo a 49 dias sem informação;
- 3.604 observações válidas de umidade relativa, correspondendo a 49 dias sem informação.

Esses valores representam a disponibilidade isolada de cada variável ambiental. O número efetivamente incluído nos modelos pode ter sido menor, pois a análise por casos completos exige disponibilidade simultânea do desfecho, da exposição e das covariáveis.

O período completo compreendeu 3.653 dias. Considerando a disponibilidade isolada das exposições ambientais, havia 3.550 dias com dados de MP10, 3.555 dias com dados de MP2,5 e 3.604 dias com dados de temperatura e umidade relativa. O número efetivamente

utilizado em cada modelo foi determinado pela disponibilidade simultânea da exposição analisada, do desfecho e das covariáveis de ajuste.

3.7 ASPECTOS ÉTICOS

Este estudo utilizou exclusivamente dados secundários, agregados e anonimizados, provenientes de bases oficiais de acesso público, sem identificação individual dos participantes. Não houve contato direto com seres humanos, coleta de dados primários ou acesso a informações pessoais identificáveis.

Considerando a natureza pública, agregada e não identificável dos dados analisados, a pesquisa não necessitou de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, em conformidade com as disposições éticas aplicáveis às pesquisas realizadas exclusivamente com informações de domínio público. Foram respeitados os princípios de confidencialidade, integridade científica e utilização responsável das informações durante todas as etapas do estudo.

4 RESULTADOS

Os resultados deste estudo foram organizados em três blocos analíticos. O primeiro apresenta o perfil epidemiológico da Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista, considerando a distribuição dos registros segundo município, faixa etária, sexo, raça/cor e evolução temporal. O segundo bloco descreve o perfil ambiental e climático da região, com análise das concentrações de MP10 e MP2,5, temperatura do ar e umidade relativa, incluindo medidas descritivas, séries temporais e boxplots. O terceiro bloco apresenta a análise de associação estatística entre as variáveis ambientais e os registros de SRAG, com modelos de regressão, risco relativo, efeito acumulado e defasagens temporais.

4.1 Perfil epidemiológico da SRAG na Baixada Santista

A análise epidemiológica da SRAG na Baixada Santista, no período de 2015 a 2024, permitiu caracterizar a distribuição dos casos segundo variáveis territoriais, demográficas e temporais. Esse perfil é fundamental para identificar os municípios com maior concentração de registros, os grupos populacionais mais acometidos e os padrões de ocorrência ao longo do tempo.

Foram analisados os registros de SRAG registrados nos nove municípios da Baixada Santista: Santos, São Vicente, Cubatão, Praia Grande, Guarujá, Bertioga, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe. A distribuição espacial dos casos permite observar diferenças entre os municípios, possivelmente relacionadas ao porte populacional, densidade urbana, acesso aos serviços de saúde, capacidade de notificação e características socioambientais locais.

A distribuição dos registros de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) segundo o município de residência é apresentada na Tabela 1. A análise dessa distribuição permite identificar a participação de cada município no total de casos registrados na Baixada Santista durante o período de 2015 a 2024, evidenciando diferenças territoriais na ocorrência da síndrome.

Tabela 1 – Distribuição dos casos de SRAG por município de residência, Baixada Santista, 2015–2024.

Município	Casos de SRAG	Percentual
Santos	13.894	41,3%
São Vicente	5.995	17,8%
Guarujá	4.137	12,3%
Praia Grande	3.381	10,1%
Bertioga	1.776	5,3%
Cubatão	1.564	4,7%
Mongaguá	1.380	4,1%
Itanhaém	990	2,9%
Peruíbe	499	1,5%
Total	33.616	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de SRAG da Baixada Santista, 2015–2024.

A distribuição dos registros por município evidenciou maior concentração nos municípios de maior porte populacional e pode estar relacionado a maior urbanização, especialmente Santos, São Vicente, Guarujá e Praia Grande. Esse padrão pode estar

relacionado à maior densidade populacional, pode refletir maior circulação de pessoas, pode ser interpretado maior disponibilidade de serviços hospitalares e pode ser interpretado maior capacidade de registro e notificação. Os municípios de menor porte populacional, como Peruíbe, Itanhaém e Mongaguá, apresentaram menor participação proporcional no total de casos, embora sua ocorrência deva ser interpretada considerando diferenças demográficas, territoriais e assistenciais.

A distribuição dos registros de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) segundo a faixa etária é apresentada na Tabela 2. Essa análise permite identificar os grupos etários mais acometidos no período de 2015 a 2024 e reconhecer possíveis diferenças na concentração dos casos entre crianças, adultos e idosos.

Tabela 2 – Distribuição dos casos de SRAG por faixa etária, Baixada Santista, 2015–2024.

Faixa etária	Casos de SRAG	Percentual
Menor de 1 ano	2.702	8,0%
1 a 4 anos	6.275	18,7%
5 a 9 anos	3.133	9,3%
10 a 14 anos	1.109	3,3%
15 a 19 anos	791	2,4%
20 a 35 anos	3.772	11,2%
36 a 60 anos	6.882	20,5%
60 anos ou mais	8.952	26,6%
Total	33.616	100%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de SRAG da Baixada Santista, 2015–2024.

A distribuição etária demonstra maior concentração de casos entre indivíduos com 60 anos ou mais. Esse achado é compatível com a maior vulnerabilidade clínica dos idosos às formas graves de infecções respiratórias, sobretudo em razão da presença mais frequente de comorbidades, da redução da resposta imunológica e do maior risco de hospitalização.

Também se observa participação expressiva de crianças pequenas, especialmente entre aquelas de 1 a 4 anos e os menores de 1 ano. Esse resultado reforça que os extremos de idade,

representados por crianças pequenas e idosos, constituem grupos particularmente vulneráveis à SRAG na região analisada.

A população adulta de 36 a 60 anos também apresentou participação relevante, demonstrando que a SRAG não se restringiu aos grupos etários extremos, mas atingiu de forma importante indivíduos em idade economicamente ativa.

A distribuição dos registros de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) segundo o sexo é apresentada na Tabela 3. A análise dessa variável permite identificar possíveis diferenças na participação de homens e mulheres entre os casos registrados na Baixada Santista durante o período de 2015 a 2024.

Tabela 3 – Distribuição dos casos de SRAG por sexo, Baixada Santista, 2015–2024

Sexo	Número de casos	Porcentagem
Masculino	18.778	55,9%
Feminino	14.838	44,1%
Total	33.616	100%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de SRAG da Baixada Santista, 2015–2024.

A distribuição por sexo indicou a participação de homens e mulheres entre os registros de SRAG, com discreta predominância do sexo masculino. Essa diferença pode estar associada a fatores biológicos, comportamentais, ocupacionais e de acesso aos serviços de saúde. Homens podem apresentar maior exposição ocupacional e ambiental a poluentes, poeiras, fumaça e agentes irritantes, além de menor procura por ações preventivas de saúde. Entretanto, essa interpretação deve ser realizada com cautela, considerando as características do banco de dados e possíveis diferenças no registro das informações.

A distribuição dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) segundo raça/cor é apresentada na Tabela 4. A análise dessa variável permite caracterizar o perfil

sociodemográfico dos registos e identificar diferenças na participação dos grupos raciais entre os casos notificados na Baixada Santista, no período de 2015 a 2024.

Tabela 4 – Distribuição dos casos de SRAG por raça/cor, Baixada Santista, 2015–2024.

Raça/cor	Casos	Percentual
Branca	12.506	37,2%
Parda	9.777	29,1%
Ignorado	8.623	25,7%
Preta	1.032	3,1%
Amarela	278	0,8%
Indígena	14	0,0%
Não informado	1.386	4,1%
Total	33.616	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de SRAG da Baixada Santista, 2015–2024.

A Tabela 4 apresenta a distribuição dos casos de SRAG por raça/cor na Baixada Santista entre 2015 e 2024. A maior proporção de casos ocorreu entre indivíduos brancos, seguida por pardos. Entretanto, destaca-se o elevado percentual de registros ignorados ou não informados, que somados representam quase um terço dos casos analisados, indicando limitação importante na qualidade do preenchimento da variável raça/cor e exigindo cautela na interpretação das desigualdades raciais associadas à SRAG.

A evolução anual dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista é apresentada na Tabela 5. A análise da série temporal permite identificar mudanças no número de registros ao longo do período de 2015 a 2024, bem como reconhecer anos de aumento, redução e maior concentração de casos.

Tabela 5 – Série temporal anual dos casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024

Ano	Casos de SRAG	Percentual
-----	---------------	------------

2015	4.495	13,4%
2016	3.892	11,6%
2017	3.767	11,2%
2018	3.564	10,6%
2019	3.506	10,4%
2020	2.595	7,7%
2021	2.360	7,0%
2022	2.990	8,9%
2023	638	1,9%
2024	5.809	17,3%
Total	33.616	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de SRAG da Baixada Santista, 2015–2024.

A Tabela 5 apresenta a distribuição anual dos registros de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024, evidenciando variação expressiva ao longo da série temporal. O menor número de registros foi observado em 2023, enquanto 2024 apresentou o maior valor do período analisado.

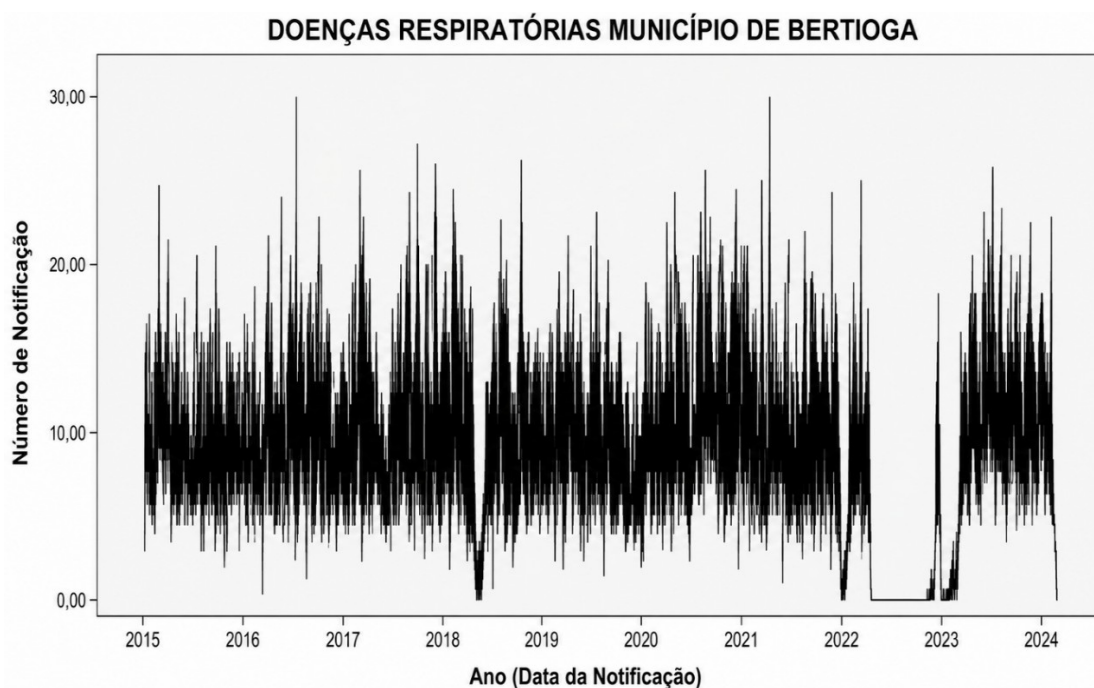
A interpretação dessa distribuição requer cautela, especialmente entre 2020 e 2024, devido às alterações epidemiológicas e operacionais provocadas pela pandemia de COVID-19. Nesse período, ocorreram mudanças na circulação dos vírus respiratórios, nos critérios de vigilância e notificação, na disponibilidade de testes diagnósticos, na procura pelos serviços de saúde, nas hospitalizações e na organização da assistência. Dessa forma, parte das oscilações anuais pode refletir não apenas alterações na ocorrência da SRAG, mas também mudanças na sensibilidade e na completude do sistema de informação.

O reduzido número de registros observado em 2023, seguido de elevação acentuada em 2024, constitui um achado que deve ser interpretado com prudência. Esse padrão pode estar relacionado a mudanças epidemiológicas, atualização ou consolidação tardia dos bancos, diferenças no processo de extração dos dados ou eventual incompletude dos registros.

Portanto, não é possível atribuir essa variação exclusivamente às condições ambientais ou à redução real da ocorrência de SRAG.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Bertioga é apresentada na Figura 1. A análise descritiva permite observar o comportamento dos registros ao longo do período de 2015 a 2024, identificando anos de aumento, redução e maior concentração de casos.

Figura 1 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município da Bertioga entre os anos 2015 e 2024.

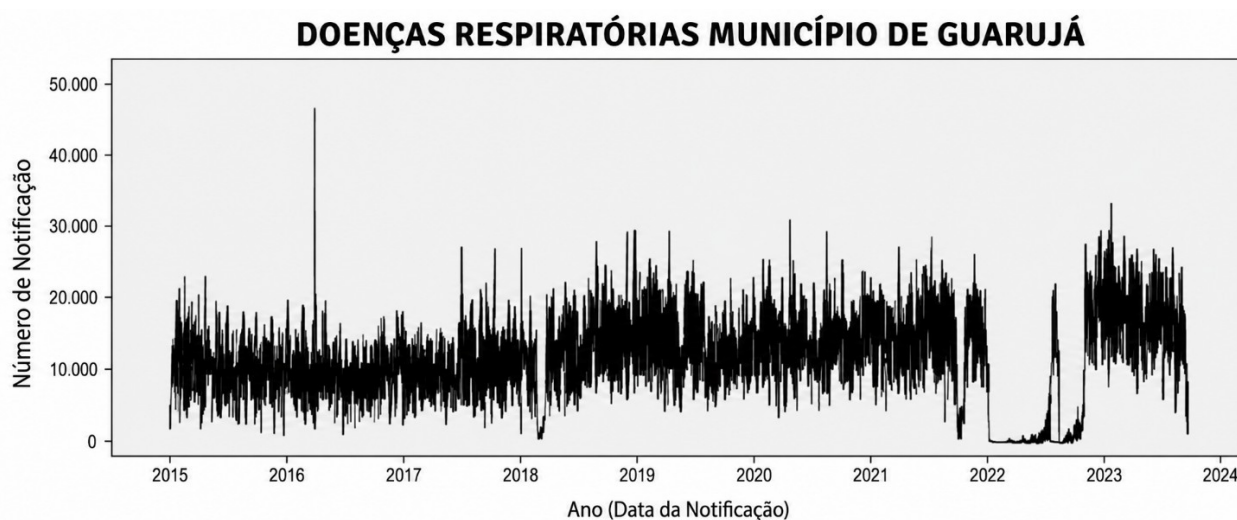


Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 1 ilustra a dinâmica sazonal das doenças respiratórias em Bertioga, com picos regulares em certas épocas do ano, especialmente no início do ano. O período de 2020-2021 mostra uma interrupção anômala, provavelmente influenciada pela pandemia, mas os padrões voltaram a se normalizar nos anos seguintes. O monitoramento contínuo desses dados é essencial para o planejamento de políticas públicas de saúde, especialmente em relação à prevenção e controle de surtos de doenças.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Guarujá é apresentada na Figura 2. A análise descritiva permite verificar o comportamento dos registros durante o período de 2015 a 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 2 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Guarujá entre os anos 2015 e 2024.



Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 2 ilustra a dinâmica sazonal das doenças respiratórias no Guarujá, com picos recorrentes em épocas específicas do ano. O período de 2020–2021 foi marcado por um pico inicial seguido por uma queda drástica, provavelmente influenciada pela pandemia de COVID-19. Após isso, houve uma retomada dos casos, com níveis mais altos em 2023 e 2024, indicando que o município está enfrentando a carga habitual de doenças respiratórias. A análise desse padrão é fundamental para intervenções planejadas de saúde pública, como campanhas de vacinação, campanhas de conscientização e reforço do sistema de saúde em épocas de maior demanda.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Cubatão é apresentada na Figura 3. A análise descritiva possibilita acompanhar

o comportamento dos registros entre 2015 e 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 3 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Cubatão entre os anos 2015 e 2024.



Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 3 ilustra a dinâmica sazonal das doenças respiratórias em Cubatão, com picos recorrentes em épocas específicas do ano, especialmente no início do ano. O município já apresentou episódios de alta incidência antes da pandemia, como os picos em 2018 e 2019. O período de 2020–2021 foi marcado por uma queda drástica nos casos, provavelmente influenciada pelas medidas de contenção da COVID-19. Após isso, houve uma retomada dos casos, com níveis mais altos em 2023 e 2024, indicando que o município está enfrentando a carga habitual de doenças respiratórias.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Santos é apresentada na Figura 4. A análise descritiva permite acompanhar o comportamento dos registros entre 2015 e 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 4-Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Santos entre os anos 2015 e 2024.



Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 4 ilustra a dinâmica sazonal das doenças respiratórias em Santos, com picos recorrentes em épocas específicas do ano, especialmente no início do ano. O município já apresentou episódios de alta incidência de notificação por internações respiratórias antes da pandemia, como o pico em junho de 2019. O período de 2020–2021 foi marcado por uma queda drástica nos casos, provavelmente influenciada pelas medidas de contenção da COVID-19. Após isso, houve uma retomada dos casos, com níveis mais altos em 2023 e 2024, indicando que o município está enfrentando a carga habitual de doenças respiratórias. A análise desse padrão é fundamental para intervenções planejadas de saúde pública, como campanhas de vacinação, campanhas de conscientização e reforço do sistema de saúde em épocas de maior demanda.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de São Vicente é apresentada na Figura 5. A análise descritiva permite acompanhar o comportamento dos registros entre 2015 e 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 5 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município de São Vicente entre os anos 2015 e 2024.

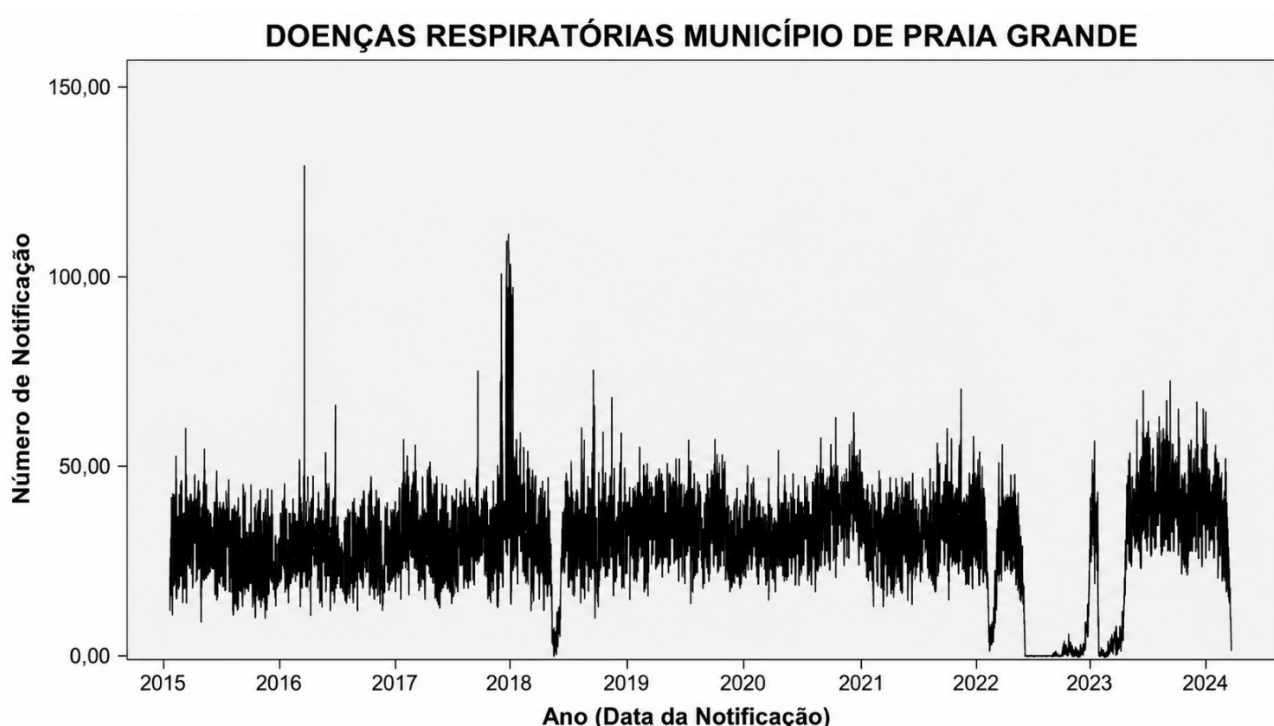


Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 5 revela uma variação sazonal persistente nos casos de doenças respiratórias em São Vicente, com picos regulares ao longo dos anos. O período da pandemia de COVID-19 (2020–2021) teve um impacto profundo, com alterações bruscas nos números, possivelmente devido a medidas de controle, mudanças no acesso aos serviços de saúde e deslocamento de doenças. Após 2022, houve uma retomada dos padrões anteriores, embora com algumas flutuações. O último ponto dos gráficos sugere uma possível redução recente, que merece monitoramento contínuo.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Praia Grande é apresentada na Figura 6. A análise descritiva permite acompanhar o comportamento dos registros entre 2015 e 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 6 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Praia Grande entre os anos 2015 e 2024.

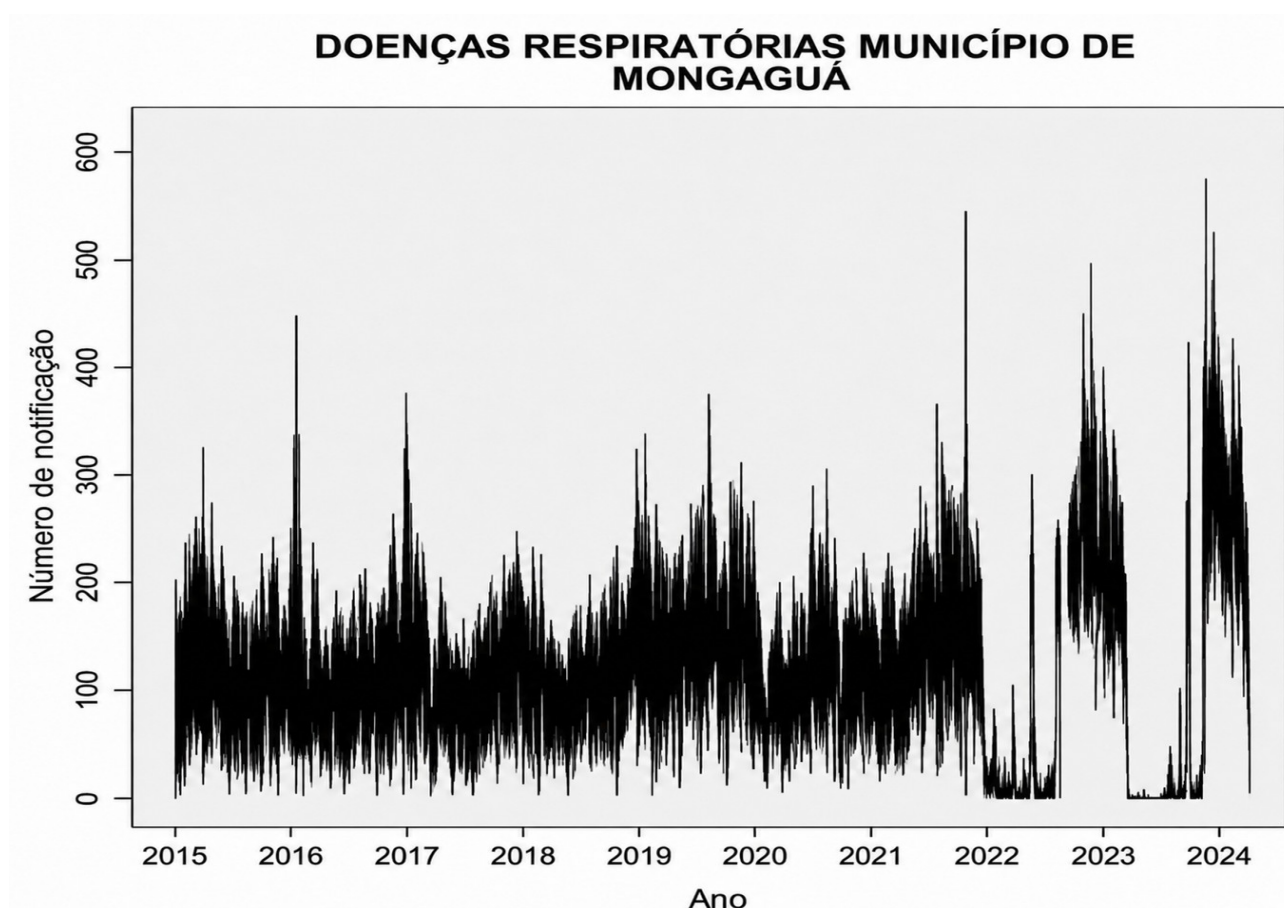


Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 6 revela que os casos de doenças respiratórias em Praia Grande seguem um padrão sazonal com variações anuais, influenciados por fatores climáticos e epidemiológicos. O período da pandemia de COVID-19 (2020–2021) teve um impacto profundo, com uma queda drástica nos registros, seguido por um breve aumento e depois uma quase ausência de casos. Desde 2022, houve uma retomada dos níveis históricos, com picos anuais recorrentes. A queda observada em 2024 merece atenção, podendo indicar mudanças na dinâmica da transmissão ou na vigilância sanitária.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Mongaguá é apresentada na Figura 7. A análise descritiva possibilita acompanhar o comportamento dos registros entre 2015 e 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 7 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Mongaguá entre os anos 2015 e 2024.

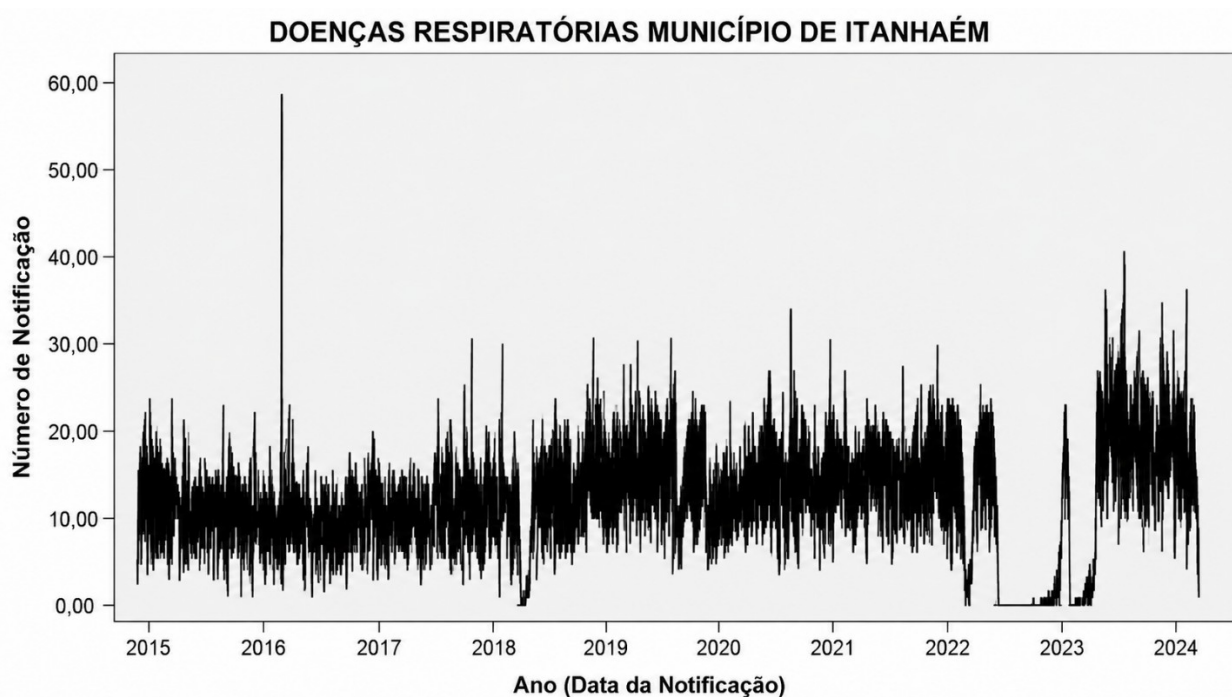


Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 7 revela que as doenças respiratórias em Mongaguá apresentam um padrão sazonal claro, com picos anuais, mas também mostram uma mudança significativa a partir de 2020, provavelmente influenciada pela pandemia de COVID-19. A alta variabilidade diária indica que o sistema de registro é sensível a mudanças nas condições ambientais, clínicas e sociais.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Itanhaém é apresentada na Figura 8. A análise descritiva permite acompanhar o comportamento dos registros entre 2015 e 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 8 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Itanhaém entre os anos 2015 e 2024.

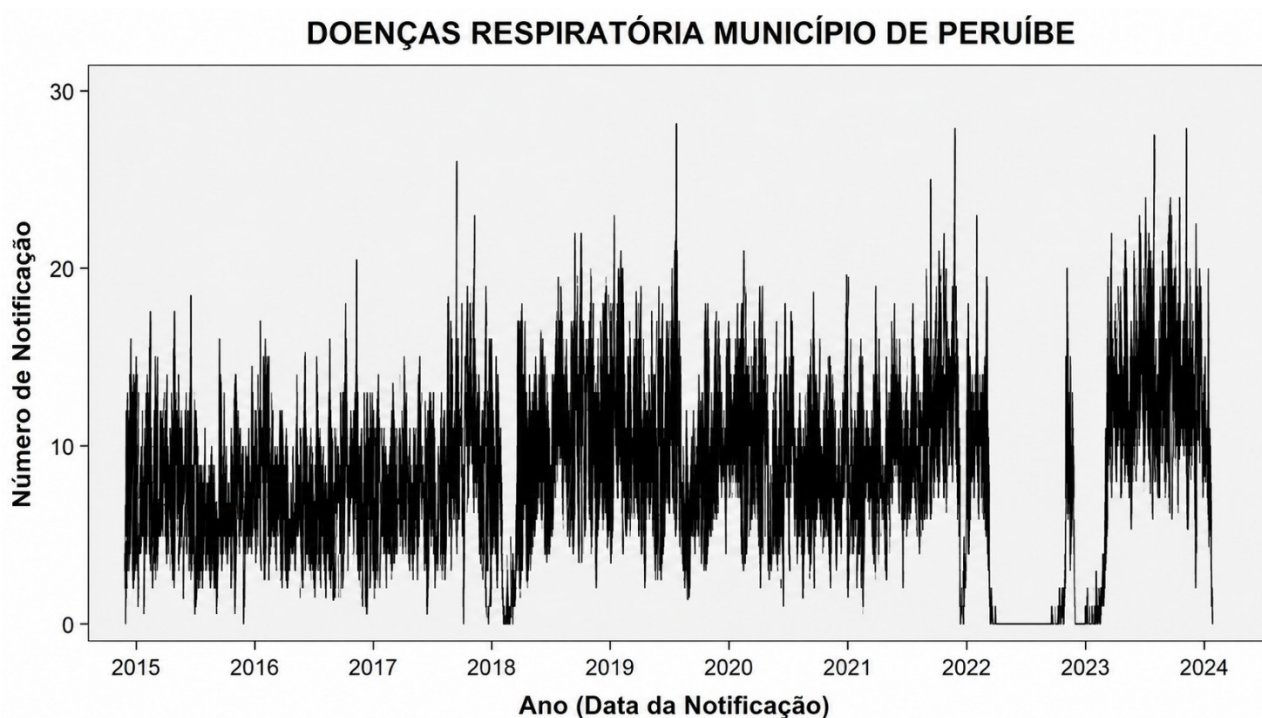


Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A **figura 8** revela que as doenças respiratórias em Itanhaém seguem um padrão sazonal claro, com picos anuais durante os meses mais frios. No entanto, a crise sanitária de 2020 provocou uma interrupção temporária nos registros, seguida por um aumento significativo e persistente nos casos a partir de 2021. Isso indica que o contexto da pandemia teve um impacto profundo no perfil epidemiológico do município, com possíveis mudanças nos comportamentos de busca por cuidados, no sistema de notificação e na transmissão de doenças respiratórias.

A distribuição temporal dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) no município de Peruíbe é apresentada na Figura 9. A análise descritiva permite acompanhar o comportamento dos registros entre 2015 e 2024, identificando oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos.

Figura 9 -Análise descritiva dos casos de SRAG no município de Peruíbe entre os anos 2015 e 2024.



Elaborado pelo autor com base nos dados SIH/SUS, 2015–2024.

A figura 9 revela que o município de Peruíbe apresenta um padrão semelhante ao observado na Baixada Santista como um todo, mas em escala menor devido ao tamanho populacional. Existe uma sazonalidade clara ao longo dos anos, interrompida por fortes alterações durante a pandemia. Nos últimos anos, o aumento dos casos pode indicar surtos mais intensos ou maior vulnerabilidade populacional pós-pandemia, exigindo atenção da vigilância epidemiológica local.

4.2 EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS CASOS DE SRAG

A evolução temporal dos casos de SRAG entre 2015 e 2024 permite identificar variações sazonais, tendências anuais e possíveis períodos epidêmicos. De modo geral, espera-se que os casos apresentem oscilações ao longo do tempo, com maior concentração em determinados meses e anos, influenciados por fatores climáticos, circulação de vírus respiratórios, condições ambientais e mudanças no padrão de vigilância epidemiológica.

No período analisado, a série temporal deve ser apresentada em gráfico de linhas, considerando a agregação dos casos por ano, mês ou semana epidemiológica. Essa visualização permite observar o comportamento da SRAG antes, durante e após o período pandêmico, além de possibilitar a comparação com as séries ambientais de MP10, MP2,5, temperatura e umidade.

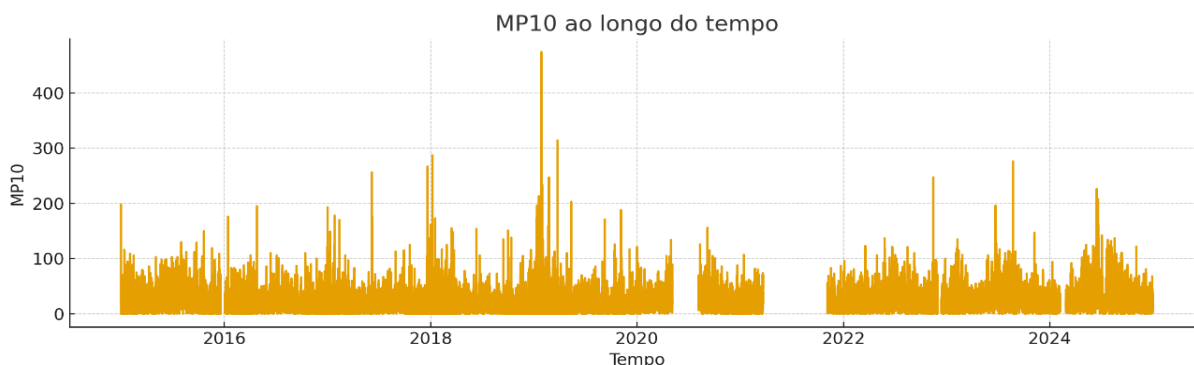
A análise temporal dos casos de SRAG ao longo dos anos de 2015 a 2024 é essencial para identificar padrões sazonais, tendências anuais e períodos de maior ocorrência. Essa etapa permite observar possíveis aumentos associados à sazonalidade respiratória, à circulação viral, às mudanças ambientais e ao impacto da pandemia de COVID-19 sobre a vigilância epidemiológica. Dessa forma, o perfil epidemiológico constitui a base descritiva necessária para as análises posteriores de associação entre SRAG, poluentes atmosféricos e variáveis climáticas.

4.3 Análise Técnica dos Gráficos de Qualidade do Ar e Variáveis Meteorológicas (10 anos QUALAR/CETESB)

A análise gráfica das quatro variáveis MP10, MP2,5, temperatura do ar e umidade relativa evidencia padrões claros de variação sazonal, ocorrência de extremos e modificações temporais ao longo da última década. Cada variável apresenta comportamento característico, mas também revela inter-relações diretas que ajudam a compreender os impactos das alterações climáticas regionais sobre a qualidade do ar.

A variação temporal das concentrações de material particulado inalável (MP10) registradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no município de Santos, é apresentada na figura 10. A série permite observar o comportamento desse poluente atmosférico entre 2015 e 2024, identificando oscilações, períodos de elevação e possíveis mudanças no padrão das concentrações ao longo do tempo.

Figura 10-Série temporal MP 10 CETESB, SANTOS/SP 2015-2024

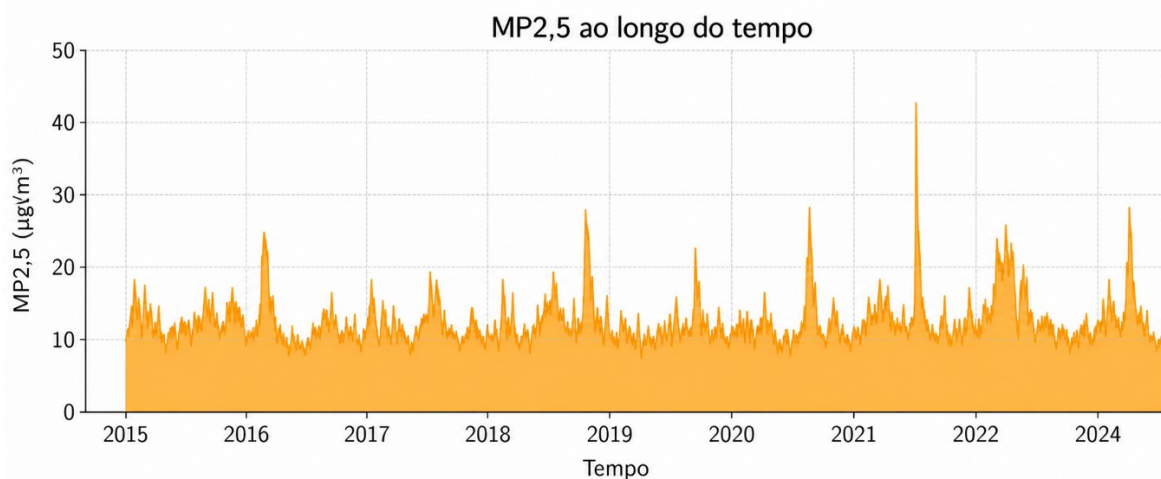


Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

Na figura 10, o MP10, destacam-se elevações recorrentes concentradas principalmente entre os meses mais secos, com maior frequência no inverno e na transição outono-inverno (aproximadamente de maio a setembro). Esse padrão é compatível com condições atmosféricas típicas do período, como maior estabilidade, ocorrência de inversões térmicas e redução da ventilação natural, fatores que favorecem o acúmulo de particulados próximos à superfície. Ao longo da série, foram observados episódios de elevação das concentrações de MP10, com valores máximos próximos de $340 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando importante variabilidade temporal. Adicionalmente, nota-se a presença de lacunas em determinados anos, compatíveis com interrupções operacionais em estações automáticas (por manutenção e calibração), aspecto relevante para a interpretação temporal e para a avaliação de completude da base. Ainda assim, o conjunto do traçado sugere aumento da variabilidade ao longo do tempo, com maior frequência de oscilações marcadas, achado que pode refletir tanto mudanças no padrão meteorológico regional quanto o incremento de situações propícias à ressuspensão e ao acúmulo de partículas.

A variação temporal das concentrações de material particulado fino (MP2,5) registradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no município de Santos, é apresentada na Figura 11. A série temporal permite acompanhar o comportamento desse poluente entre 2015 e 2024, identificando oscilações, períodos de elevação e possíveis alterações no padrão das concentrações ao longo do período analisado.

Figura 11-Série temporal MP 2,5 CETESB, SANTOS/SP 2015-2024



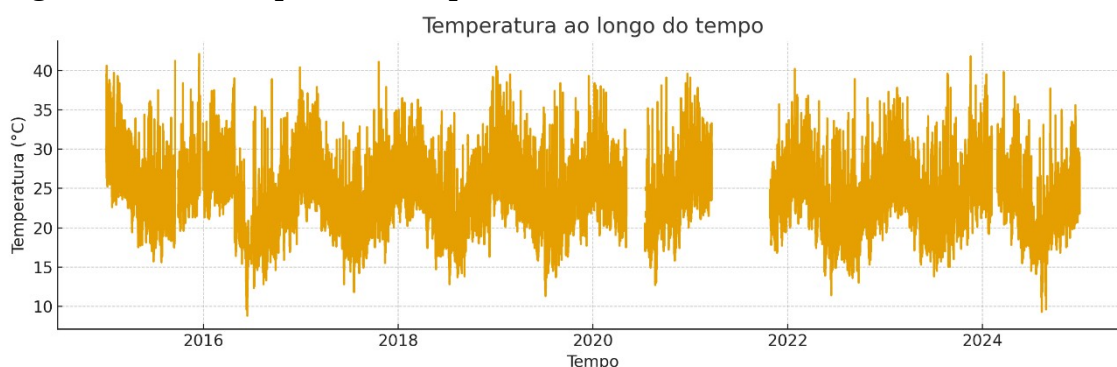
Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

Na figura 11 MP2,5 apresentou variabilidade ao longo do período, com concentração máxima de 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e média de 13,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Foram observados episódios de elevação pontual, embora os valores tenham permanecido consideravelmente inferiores aos mencionados na versão anterior. Observa-se elevada variabilidade interanual, com anos de maior ocorrência de picos contrastando com períodos de comportamento mais moderado, sugerindo dependência de fatores meteorológicos e de episódios específicos de emissão e transporte de poluentes. Entre as hipóteses explicativas, destacam-se a influência de fontes de combustão, emissões industriais, transporte marítimo e eventos regionais de queimadas, além de processos de formação secundária de aerossóis. De modo coerente com a literatura, há indicação de que picos de MP2,5 tendem a ocorrer em contextos de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa, condições que favorecem reações fotoquímicas e a permanência de partículas finas em suspensão. Do ponto de vista sanitário, tal padrão é particularmente relevante porque o MP2,5 apresenta maior capacidade de penetração no trato respiratório inferior, alcançando alvéolos pulmonares, o que é compatível com aumento de agravos

respiratórios, exacerbação de doenças cardiovasculares e elevação do risco de mortalidade associada à poluição do ar, sobretudo quando se trata de eventos de pico.

A Figura 12 apresenta o comportamento temporal da temperatura do ar registrada pela estação de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), localizada no município de Santos/SP, entre os anos de 2015 e 2024. A análise da série temporal permite observar as oscilações da temperatura ao longo do período estudado, evidenciando variações sazonais, períodos de aumento e redução dos valores registrados e possíveis mudanças no padrão térmico local.

Figura 12-Série temporal da temperatura do ar CETESB, SANTOS/SP 2015-2024

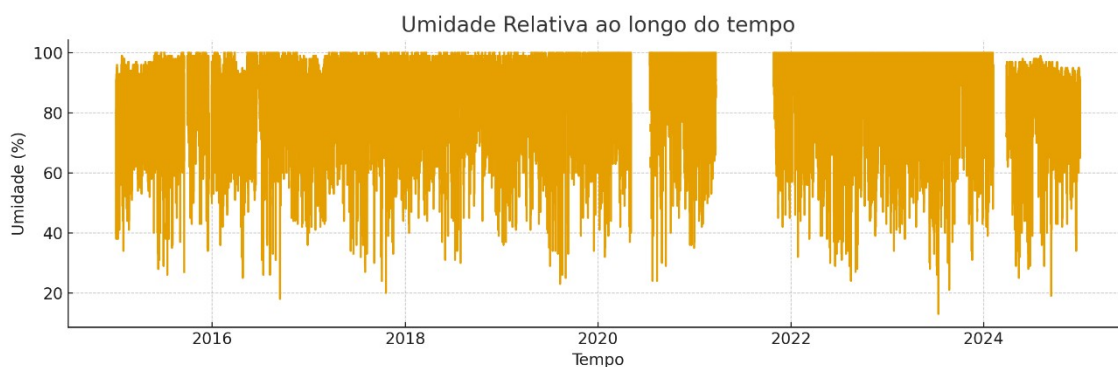


Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 12 de temperatura do ar apresenta ciclicidade sazonal bem definida, com máximas no verão frequentemente elevadas e mínimas no inverno situadas em faixas inferiores, refletindo o comportamento esperado para a região. Entretanto, ao longo da década, observa-se tendência de elevação das temperaturas máximas, mais evidente a partir de 2019, além de aumento da ocorrência de extremos térmicos em comparação aos primeiros anos da série. Esse padrão sugere aquecimento regional e maior frequência de ondas de calor, em consonância com descrições amplamente documentadas sobre mudanças climáticas de origem antropogênica. Do ponto de vista atmosférico, temperaturas mais elevadas podem influenciar diretamente a dinâmica do MP10 e, sobretudo, do MP2,5, ao favorecer a formação de poluentes secundários, intensificar processos fotoquímicos e contribuir para condições de estagnação do ar em determinados episódios, além de potencialmente aumentar a ressuspensão de partículas em contextos mais secos.

A Figura 13 apresenta o comportamento temporal da umidade relativa do ar registrada pela estação de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), localizada no município de Santos/SP, entre os anos de 2015 e 2024. A série temporal permite identificar as oscilações dessa variável meteorológica ao longo do período analisado, evidenciando variações sazonais e períodos de aumento ou redução dos níveis de umidade.

Figura 13-Série temporal da umidade relativa do ar CETESB, SANTOS/SP 2015-2024



Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

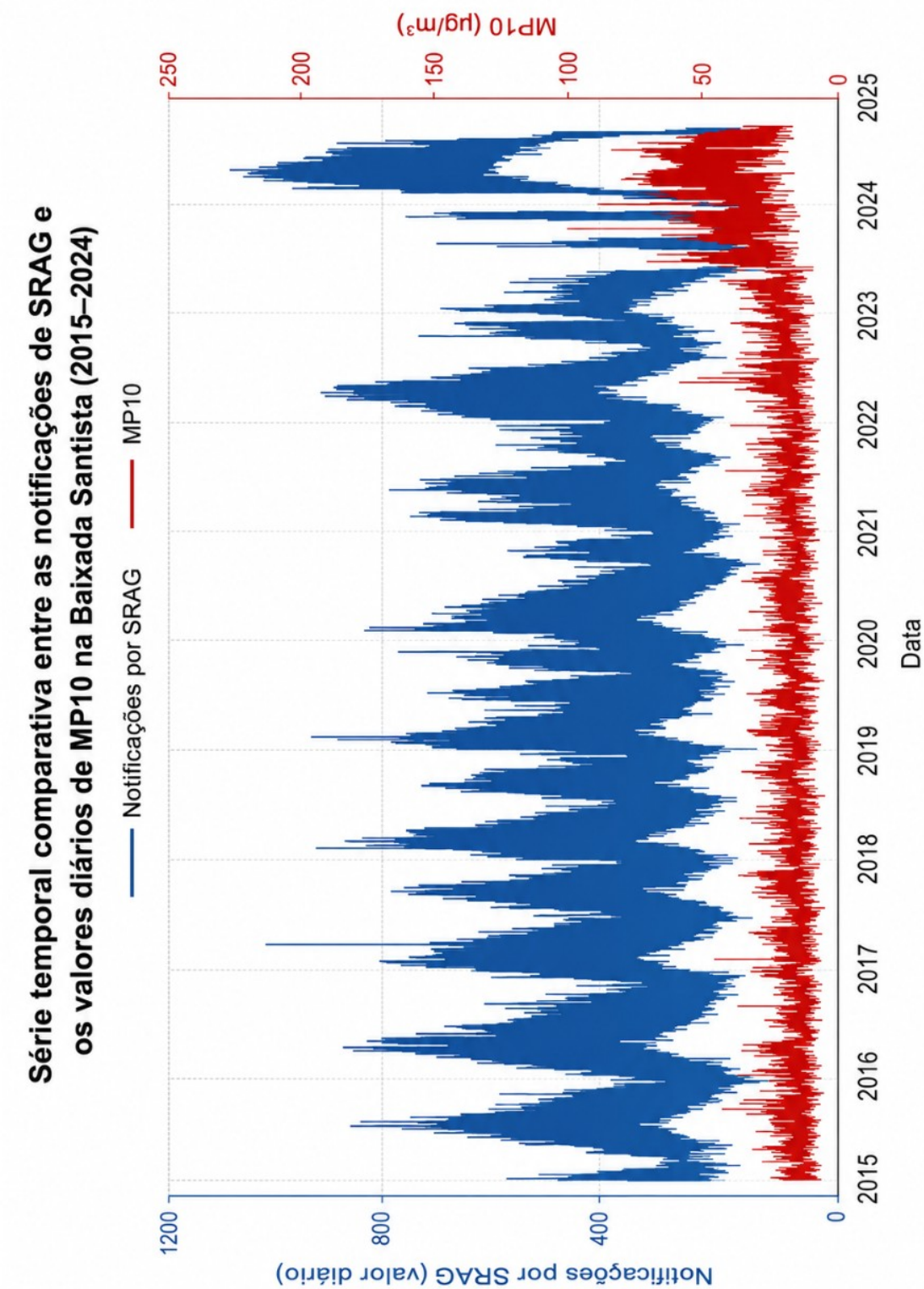
A figura 13, representa a umidade relativa do ar, por sua vez, apresenta amplitude interanual elevada, alternando períodos com predominância de valores muito altos (próximos à saturação) e episódios de quedas expressivas, por vezes abaixo de 30%. As quedas abruptas são compatíveis com situações de bloqueios atmosféricos e episódios de calor intenso, indicando que a variabilidade da umidade está fortemente vinculada à dinâmica térmica e à circulação local/regional. A intensificação da alternância úmido-seco nos anos mais recentes sugere aumento da instabilidade climática, com maior irregularidade na previsibilidade dos ciclos hidrometeorológicos. Além disso, ao longo de diferentes trechos, observa-se relação inversa entre umidade e concentrações de particulados, de modo que condições mais secas tendem a se associar a maior poluição por MP10 e MP2,5, enquanto períodos mais úmidos favorecem redução das concentrações, seja por deposição úmida, seja por processos higroscópicos e remoção atmosférica (especialmente quando associados à precipitação e à maior disponibilidade de água na coluna de ar).

A interpretação integrada das quatro variáveis reforça a hipótese de que a região apresenta sinais de instabilidade climática progressiva, expressos pela elevação de temperaturas, pela redução da regularidade dos ciclos de umidade e pela maior ocorrência de extremos. A qualidade do ar mostra dependência importante do estado meteorológico, com

concentração de picos de MP10 e MP2,5 em períodos quentes e secos e com modulação sensível às oscilações de umidade. Em termos de plausibilidade climática, o conjunto dos padrões é compatível com discussões consolidadas em relatórios internacionais sobre mudança do clima, que descrevem aumento de extremos, intensificação de ondas de calor e alterações nos regimes hidrológicos, processos que tendem a agravar episódios críticos de poluição atmosférica em áreas urbanas e costeiras.

A comparação temporal entre as notificações de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) e as concentrações diárias de material particulado inalável (MP10) na Baixada Santista é apresentada na Figura 14. A visualização conjunta das duas séries permite observar a evolução temporal das variáveis, identificar períodos de elevação e verificar possíveis coincidências entre as oscilações dos registros de SRAG e dos níveis do poluente atmosférico.

Figura 14 -Série temporal comparativa entre as notificações de SRAG e os valores diários de MP10 na Baixada Santista (2015–2024)



Elaborado pelo autor com base nos dados do SIH/SUS e QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 14 evidencia, de forma clara, que as notificações por SRAG e os valores diários de MP10 apresentam comportamento temporal semelhante, com flutuações que acompanham padrões sazonais e ambientais ao longo dos anos. Apesar de as séries apresentarem escalas distintas, observa-se que picos de concentração de MP10 tendem a coincidir com aumentos nas notificações respiratórias, especialmente em períodos de maior instabilidade atmosférica, seca prolongada ou episódios de poluição.

A presença de elevações abruptas no MP10, distribuídas de maneira recorrente ao longo da série temporal, acompanha aumentos paralelos nas notificações, sugerindo uma relação direta entre episódios de maior exposição a material particulado e o agravamento das doenças respiratórias. Além disso, períodos de quedas bruscas do poluente também se refletem em redução das notificações, reforçando esse padrão de associação ambiental.

Em diferentes momentos da série, principalmente em meses mais secos, nota-se sincronização de picos, fortalecendo o entendimento de que o MP10 funciona como um importante determinante ambiental para agravos respiratórios na Baixada Santista.

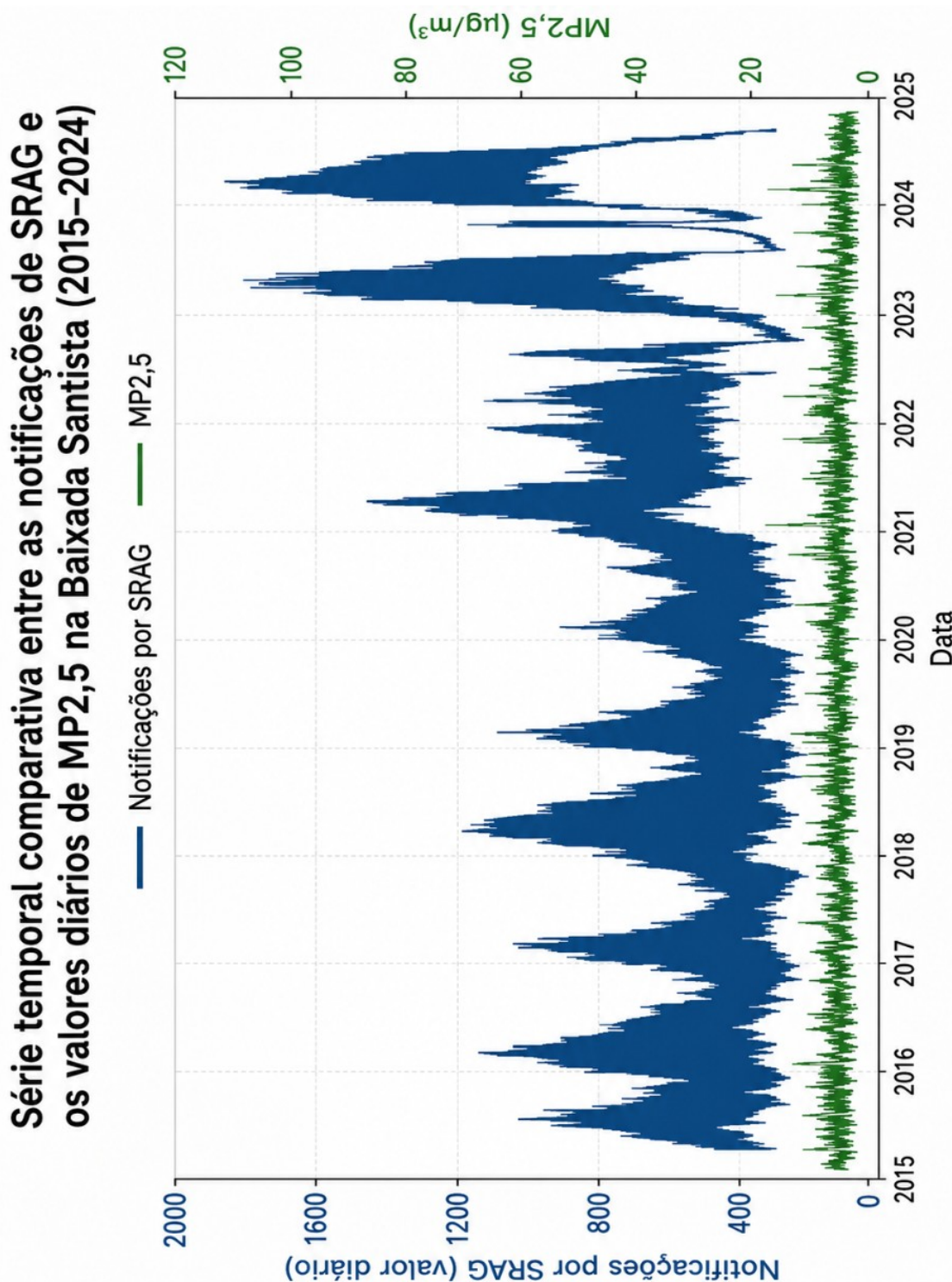
Assim, o gráfico permite concluir que existe um padrão consistente de associação entre as concentrações diárias de MP10 e a ocorrência de doenças respiratórias, demonstrando que aumentos no material particulado no ar correspondem a períodos de maior pressão sobre o sistema respiratório da população local.

A comparação temporal entre as notificações de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) e as concentrações diárias de material particulado fino (MP2,5) na Baixada Santista é apresentada na Figura 15. A visualização conjunta das séries permite acompanhar o comportamento das duas variáveis entre 2015 e 2024, identificando períodos de elevação e possíveis coincidências temporais entre as notificações de SRAG e as concentrações do poluente atmosférico.

Figura 15-Série temporal comparativa entre as notificações de SRAG e os valores diários de MP2,5 na Baixada Santista (2015–2024)

Elaborado pelo autor com base nos dados do SIH/SUS e QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 15 relaciona SRAG ao material particulado fino PM2.5 e mostra um comportamento claro: à medida que as concentrações de PM2.5 aumentam, há elevação



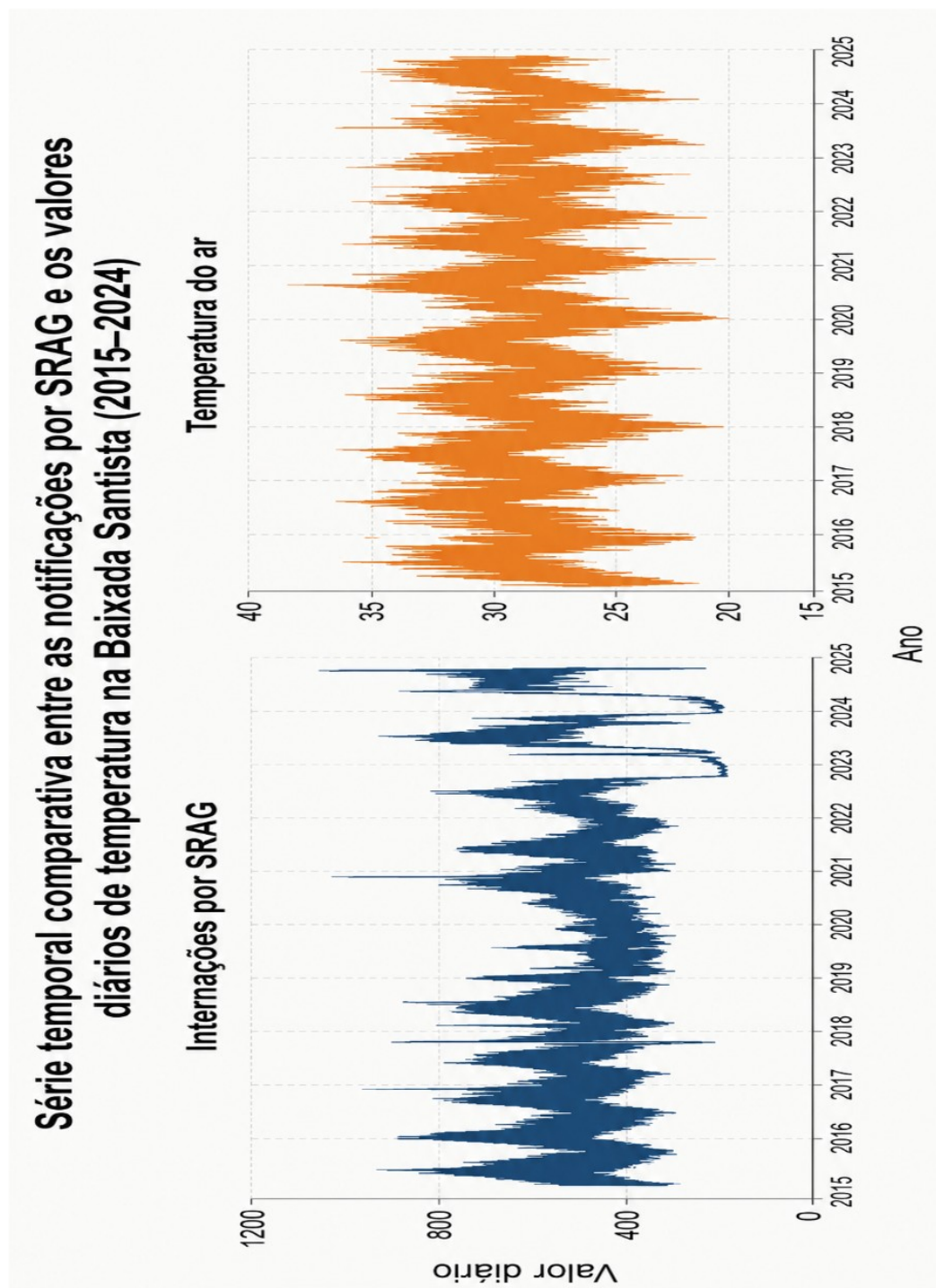
simultânea nos casos de doenças respiratórias. Esse padrão é consistente, indicando que

mesmo variações moderadas de partículas finas são suficientes para desencadear agravamentos clínicos, dada sua capacidade de penetrar profundamente no sistema respiratório. O gráfico apresenta a evolução temporal dos registros de SRAG e das concentrações de MP2,5 ao longo do período analisado. Em alguns momentos, observam-se elevações simultâneas ou próximas entre as duas séries; entretanto, a inspeção visual não permite determinar associação estatística, sequência temporal consistente ou relação causal. A possível associação entre MP2,5 e SRAG deve ser interpretada com base nos modelos estatísticos e nos respectivos riscos relativos e intervalos de confiança, considerando também a influência de sazonalidade, circulação viral, temperatura, umidade e outros fatores não mensurados.

A comparação temporal entre as notificações de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) e os valores diários de temperatura do ar na Baixada Santista é apresentada na Figura 16. A visualização conjunta das séries permite acompanhar o comportamento das duas variáveis entre 2015 e 2024, identificando oscilações sazonais, períodos de temperaturas mais elevadas ou reduzidas e possíveis coincidências temporais com alterações nas notificações de SRAG.

Figura 16 - Série temporal comparativa entre as notificações por SRAG e os valores diários temperatura na Baixada Santista (2015–2024)

Elaborado pelo autor com base nos dados do SIH/SUS e QUALAR/CETESB, 2015–2024.

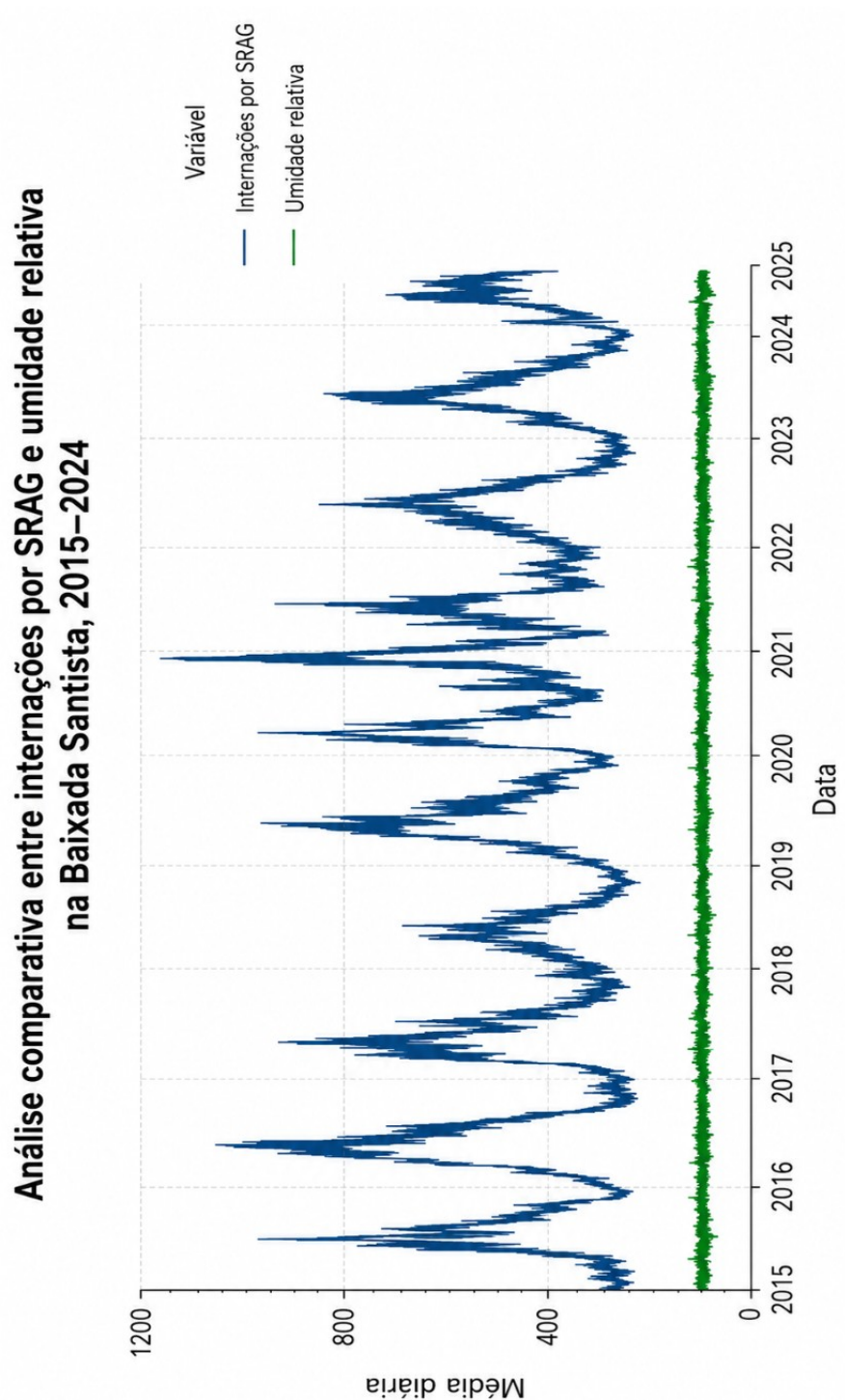


A figura 16 relaciona as notificações por SRAG com a temperatura ao longo dos anos, demonstrando um padrão consistente em que há aumento de casos durante períodos de maior variação térmica, especialmente quando ocorrem picos de calor. Observa-se que ondas de

calor ou elevação abrupta da temperatura tendem a coincidir com incrementos expressivos nos casos de SRAG, evidenciando a influência do estresse térmico sobre a inflamação das vias aéreas. A curva revela ainda que a temperatura atua como um modulador relevante, favorecendo o agravamento de quadros respiratórios, principalmente em populações vulneráveis. Assim, conclui-se que a variação térmica é um fator ambiental importante na dinâmica dos agravos respiratórios na Baixada Santista.

A comparação temporal entre as notificações de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) e os valores diários de umidade relativa do ar na Baixada Santista é apresentada na Figura 17. A visualização conjunta das séries permite acompanhar o comportamento das duas variáveis entre 2015 e 2024, identificando oscilações sazonais, períodos de maior ou menor umidade e possíveis coincidências temporais com alterações nas notificações de SRAG.

Figura 17-Série temporal comparativa entre as notificações por SRAG e os valores diários Umidade do ar na Baixada Santista (2015–2024)



Elaborado pelo autor com base nos dados do SIH/SUS e QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 17, representa a análise gráfica que correlaciona os casos de SRAG com a umidade relativa do ar revela dois comportamentos distintos que contribuem para o aumento dos agravos. Em períodos de umidade muito baixa, observa-se intensificação de irritação das vias aéreas e maior suscetibilidade a processos inflamatórios, refletindo-se em aumento de notificações. Em contrapartida, momentos de umidade extremamente elevada também se associam a picos de casos, provavelmente pela maior circulação de fungos, ácaros e partículas alergênicas. O gráfico, portanto, indica que tanto níveis muito baixos quanto muito altos de umidade têm impacto negativo sobre a saúde respiratória, reforçando que a instabilidade higrométrica da região é um fator determinante no padrão epidemiológico observado.

A caracterização das variáveis ambientais utilizadas no estudo é apresentada na Tabela 6. Foram analisadas as concentrações de material particulado inalável (MP10), material particulado fino (MP2,5), temperatura do ar e umidade relativa do ar entre 2015 e 2024. As medidas de tendência central e dispersão permitem identificar a magnitude, a variabilidade e a amplitude dos registros ambientais considerados nas análises estatísticas.

Tabela 6 – Estatísticas descritivas das variáveis ambientais analisadas (2015–2024)

VARIÁVEL AMBIENTAL	N	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.550	6,0	340,0	76,99	47,72	2.277,59
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.555	2,0	44,0	13,54	6,60	43,54
Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	3.604	16,0	42,5	29,01	4,31	18,59
Umidade relativa do ar (%)	3.604	13,0	100,0	68,14	15,85	251,27

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados ambientais do sistema QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A Tabela 6 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis ambientais analisadas na Baixada Santista no período de 2015 a 2024, contemplando os poluentes atmosféricos MP10 e MP2,5, além das variáveis meteorológicas temperatura do ar e umidade relativa do ar. Os dados evidenciam variações importantes nas condições ambientais da região ao longo da série histórica, com diferenças relevantes entre os valores mínimos, máximos, médias e medidas de dispersão.

O MP10 apresentou 3.550 registros válidos, com concentração mínima de $6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e máxima de $340,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A média foi de $76,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com desvio padrão de 47,72 e variância de 2.277,59, indicando elevada variabilidade nas concentrações diárias desse poluente. Essa ampla dispersão sugere a ocorrência de episódios pontuais de maior concentração de material particulado inalável, possivelmente associados a condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão atmosférica, fontes emissoras locais e variações sazonais.

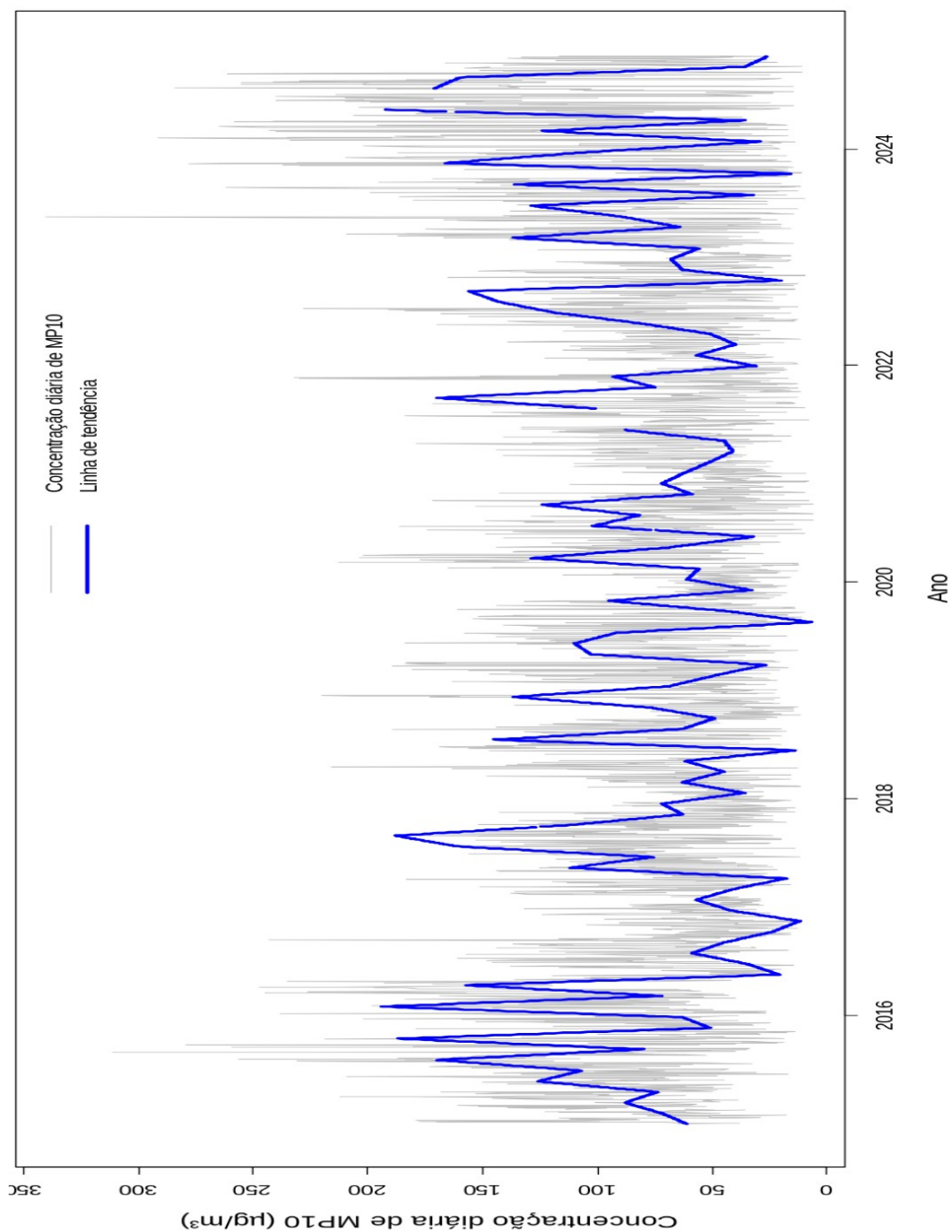
O MP2,5 apresentou 3.555 observações, com valores variando entre $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $44,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A média observada foi de $13,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com desvio padrão de 6,60 e variância de 43,54. Embora tenha apresentado menor amplitude quando comparado ao MP10, o MP2,5 possui grande relevância epidemiológica, uma vez que suas partículas finas apresentam maior capacidade de penetração no sistema respiratório, podendo atingir regiões mais profundas dos pulmões e contribuir para o agravamento de doenças respiratórias.

Em relação às variáveis meteorológicas, a temperatura do ar apresentou 3.604 registros válidos, com valores entre $16,0^\circ\text{C}$ e $42,5^\circ\text{C}$, média de $29,01^\circ\text{C}$, desvio padrão de 4,31 e variância de 18,59. Esses resultados indicam variação térmica moderada ao longo do período analisado, compatível com as características climáticas da região litorânea. Já a umidade relativa do ar variou entre 13,0% e 100,0%, com média de 68,14%, desvio padrão de 15,85 e variância de 251,27, demonstrando importante oscilação desse parâmetro climático durante os dez anos estudados.

De modo geral, os resultados da Tabela 6 demonstram que a Baixada Santista apresentou variações ambientais relevantes entre 2015 e 2024, especialmente nas concentrações de MP10 e nos níveis de umidade relativa do ar, que apresentaram maior dispersão. Esses achados reforçam a importância de analisar conjuntamente os poluentes atmosféricos e as variáveis meteorológicas, considerando seu possível papel na dinâmica dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na região.

A variação temporal da concentração de material particulado inalável (MP10) na Baixada Santista é apresentada na Figura 18. A análise dessa série permite observar o comportamento das concentrações ao longo do período de 2015 a 2024, identificando oscilações, períodos de elevação e possíveis mudanças no padrão de exposição ambiental ao poluente.

Figura 18 - Série temporal da concentração de MP10 na Baixada Santista, 2015-2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

Conforme apresentado na Figura 18, as concentrações diárias de MP10 demonstraram ampla variabilidade entre 2015 e 2024, com períodos de relativa estabilidade intercalados por

elevações e reduções mais acentuadas. A dispersão dos registros evidencia que a concentração desse poluente não se manteve constante ao longo da série temporal.

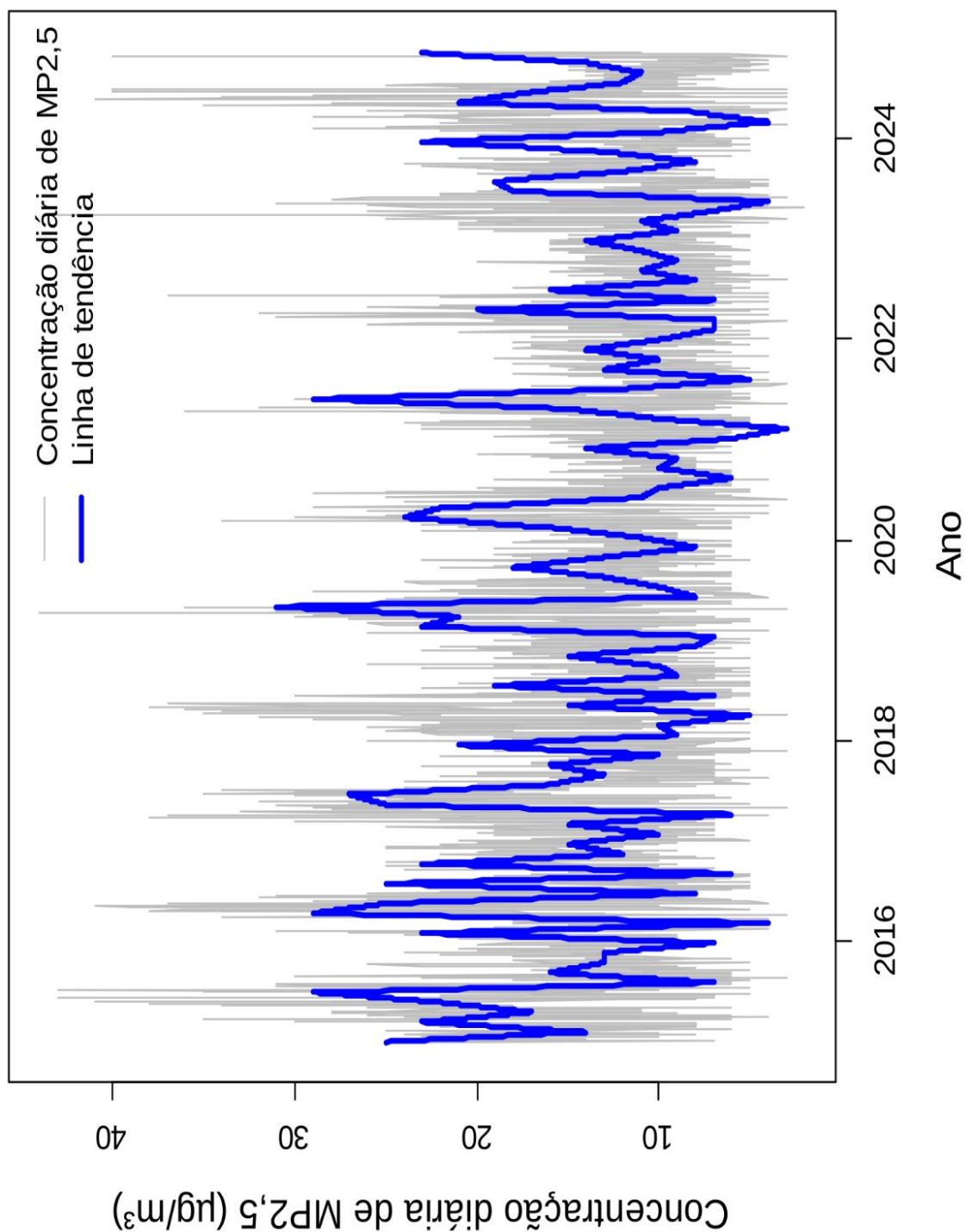
A linha de tendência suavizada indica a presença de oscilações em diferentes momentos do período analisado, sem evidenciar um comportamento linear contínuo de aumento ou redução. Em determinados intervalos, observam-se elevações mais expressivas, seguidas por períodos de diminuição das concentrações, demonstrando a dinâmica temporal do MP10 na região.

Essas variações podem estar relacionadas às condições meteorológicas, como precipitação, velocidade e direção dos ventos, temperatura e umidade relativa do ar, além da intensidade das fontes de emissão presentes na Baixada Santista, incluindo o tráfego de veículos, as atividades portuárias e industriais e a ressuspensão de partículas depositadas nas vias.

A elevada amplitude dos valores diários e a ocorrência de registros extremos reforçam a necessidade de interpretar a série considerando a possibilidade de eventos pontuais e a qualidade dos dados ambientais. A análise apresentada possui caráter descritivo e, isoladamente, não permite estabelecer associação causal entre as concentrações de MP10 e as notificações de SRAG.

A variação temporal das concentrações diárias de material particulado fino (MP2,5) na Baixada Santista é apresentada na Figura 19. A série permite acompanhar o comportamento desse poluente entre 2015 e 2024, identificando oscilações, períodos de elevação e possíveis alterações no padrão das concentrações ao longo do tempo.

Figura 19 - Série temporal das concentrações diárias de MP2,5, Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

Conforme apresentado na Figura 19, as concentrações diárias de MP_{2,5} apresentaram ampla variabilidade ao longo do período analisado, com alternância entre valores mais baixos e elevações mais expressivas. A dispersão observada demonstra que a presença do material particulado fino na atmosfera não ocorreu de maneira uniforme entre 2015 e 2024.

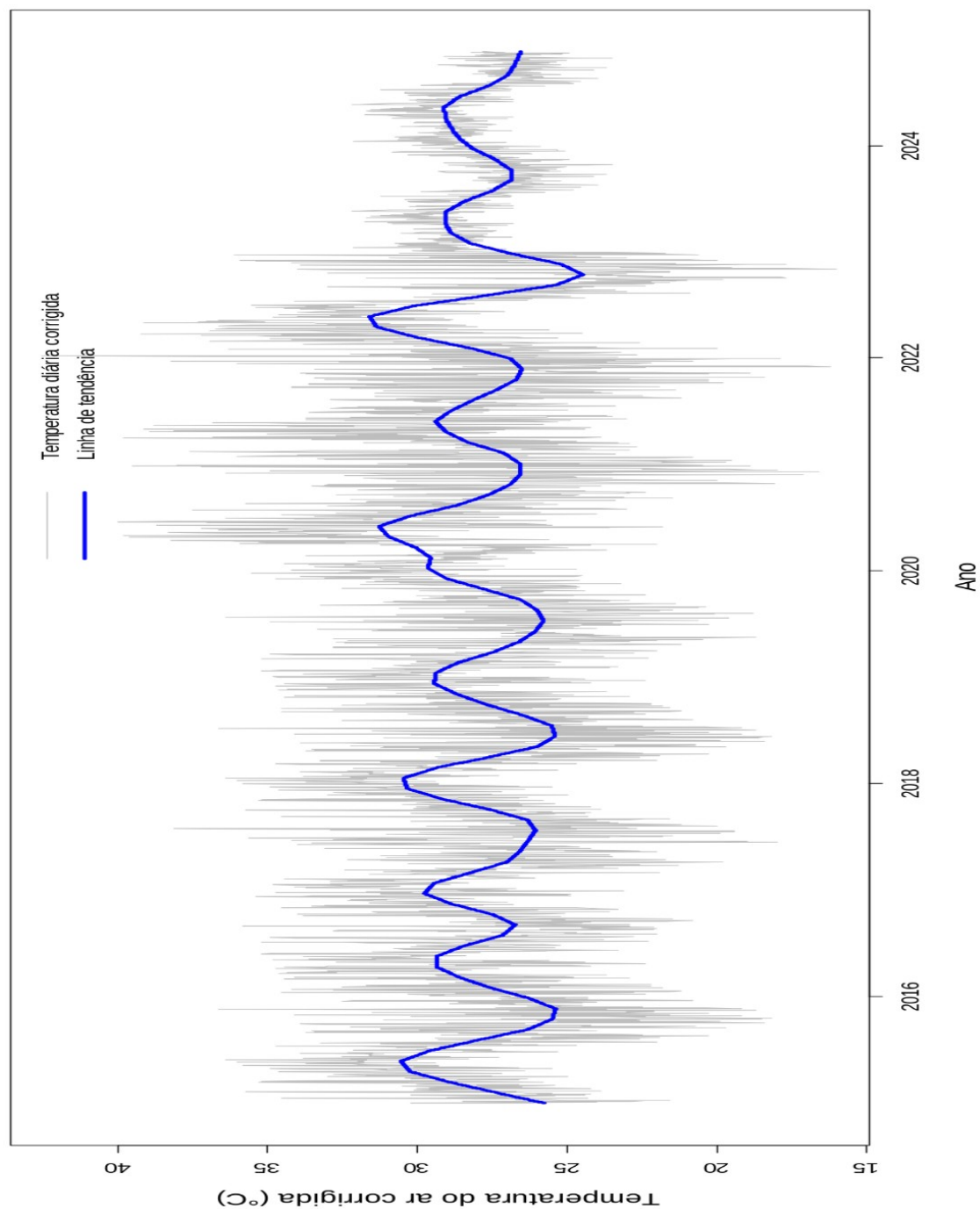
A linha de tendência suavizada evidencia oscilações em diferentes momentos da série temporal, com períodos de aumento seguidos por reduções das concentrações. Visualmente, não se observa um comportamento linear contínuo de crescimento ou diminuição durante todo o período, mas sucessivas mudanças na intensidade do poluente.

Essas variações podem estar relacionadas às condições meteorológicas que favorecem a dispersão ou o acúmulo das partículas, como precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e direção e velocidade dos ventos. Também devem ser consideradas as fontes de emissão presentes na região, incluindo tráfego veicular, atividades portuárias e industriais.

A ocorrência de valores extremos e a elevada variabilidade diária reforçam a importância de verificar a qualidade e a completude dos registros ambientais. A análise da figura possui caráter descritivo e não permite, isoladamente, estabelecer relação causal entre as concentrações de MP_{2,5} e as notificações de SRAG.

A variação temporal das concentrações de material particulado fino (MP_{2,5}) na Baixada Santista é apresentada na Figura 20. A série permite acompanhar o comportamento desse poluente atmosférico entre 2015 e 2024, identificando oscilações, períodos de maior concentração e alterações no padrão dos registros ao longo do tempo.

Figura 20 - Série temporal da concentração de MP2,5 na Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

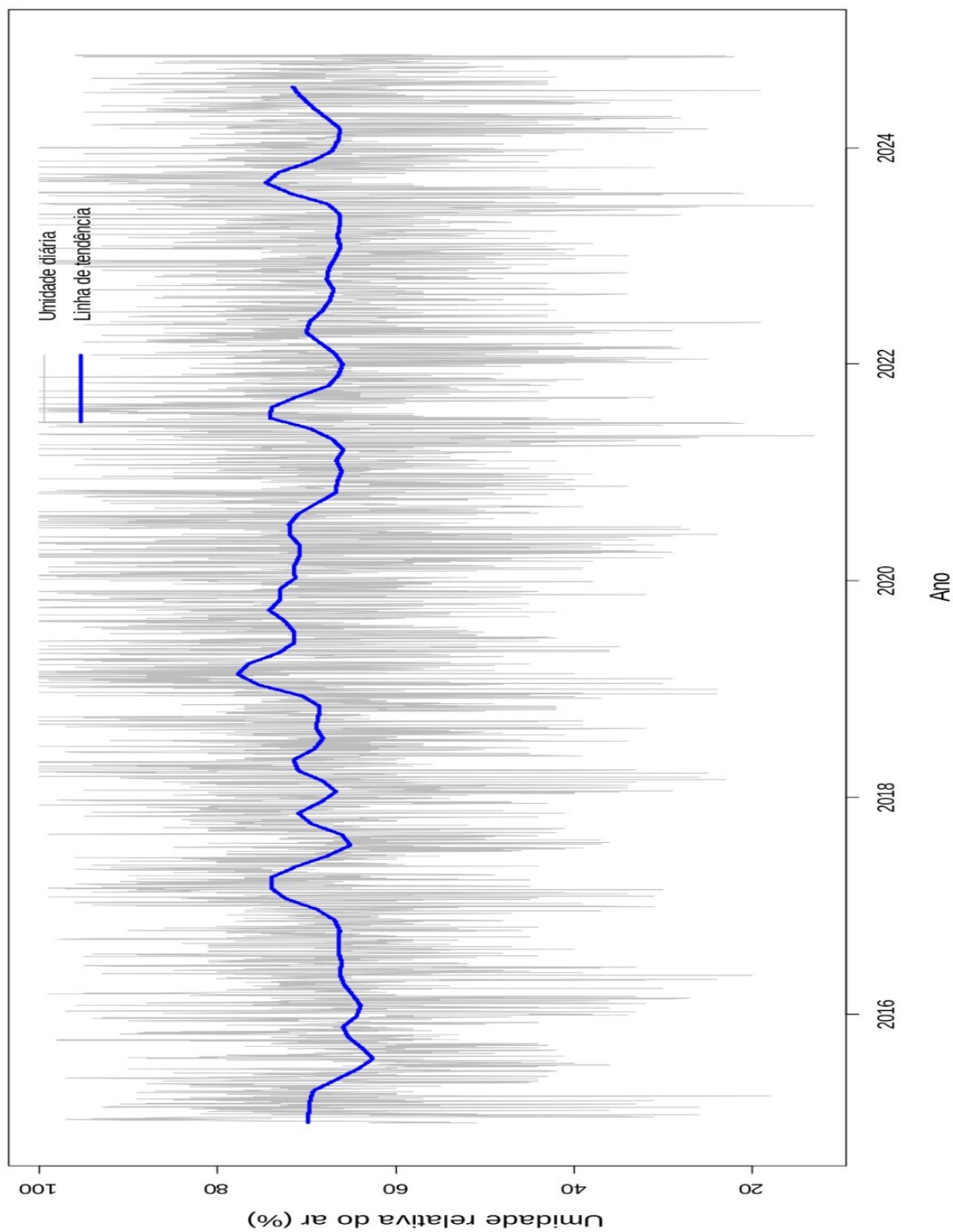
A figura 20 apresenta a série temporal diária das concentrações de material particulado fino (MP2,5) na Baixada Santista no período de 2015 a 2024. A linha cinza representa os valores diários observados, evidenciando a variabilidade das concentrações ao longo da série histórica, enquanto a linha azul indica a tendência suavizada, permitindo visualizar o comportamento geral do poluente no decorrer dos anos.

Observa-se que as concentrações de MP2,5 apresentaram oscilações ao longo do período analisado, com presença de picos em determinados momentos da série. Esses aumentos pontuais podem estar relacionados a variações nas condições meteorológicas, como menor dispersão atmosférica, períodos de baixa umidade relativa do ar, alterações na circulação dos ventos e maior estabilidade atmosférica, além da influência de fontes emissoras locais e regionais.

A tendência suavizada permite identificar o padrão geral da concentração do poluente ao longo do tempo, reduzindo o efeito das flutuações diárias. Esse comportamento é relevante para a análise ambiental da região, uma vez que o MP2,5 possui menor diâmetro aerodinâmico e maior capacidade de penetração no trato respiratório, podendo alcançar regiões mais profundas dos pulmões. Dessa forma, a análise temporal do MP2,5 contribui para compreender possíveis períodos de maior exposição da população e subsidiar a discussão sobre sua relação com os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista.

A variação temporal da umidade relativa do ar na Baixada Santista é apresentada na Figura 21. A série permite acompanhar o comportamento dessa variável meteorológica entre 2015 e 2024, identificando oscilações sazonais, períodos de maior ou menor umidade e alterações no padrão dos registros ao longo do tempo.

Figura 21 – Série temporal da umidade relativa do ar na Baixada Santista, 2015-2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 21 apresenta a série temporal diária da umidade relativa do ar na Baixada Santista no período de 2015 a 2024, com base nos dados obtidos pelo sistema QUALAR/CETESB. A linha cinza representa os valores diários observados, evidenciando as oscilações naturais desse parâmetro climático ao longo da série histórica, enquanto a linha azul corresponde à tendência suavizada, permitindo visualizar o comportamento geral da umidade ao longo dos dez anos analisados.

Observa-se que a umidade relativa do ar apresentou variações expressivas durante o período estudado, alternando entre dias com valores mais elevados e períodos de redução. Essas oscilações podem estar associadas às características climáticas da região costeira da Baixada Santista, à influência da maritimidade, à ocorrência de frentes frias, períodos chuvosos e episódios de maior estabilidade atmosférica. A presença de valores mais baixos de umidade em determinados momentos da série é relevante, pois condições de ar mais seco podem favorecer irritação das vias aéreas, ressecamento das mucosas respiratórias e maior vulnerabilidade a agravos respiratórios.

A tendência suavizada permite observar o padrão geral da umidade relativa do ar ao longo do tempo, reduzindo o efeito das flutuações diárias e facilitando a identificação de períodos de maior ou menor disponibilidade de umidade na atmosfera. Esse comportamento é importante para a análise ambiental e epidemiológica, uma vez que a umidade relativa do ar pode influenciar tanto a dispersão de poluentes atmosféricos quanto a dinâmica de circulação e transmissão de agentes respiratórios.

Dessa forma, o Gráfico 23 contribui para a compreensão das condições climáticas observadas na Baixada Santista entre 2015 e 2024 e subsidia a discussão sobre a possível relação entre fatores ambientais, qualidade do ar e ocorrência de casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na população da região.

4.4 Perfil ambiental e climático da Baixada Santista

O segundo bloco de resultados apresenta a caracterização ambiental e climática da Baixada Santista no período de 2015 a 2024. Foram analisadas as variáveis MP10, MP2,5, temperatura do ar e umidade relativa do ar, obtidas a partir do sistema QUALAR/CETESB.

Essas variáveis foram selecionadas por sua relevância na dinâmica da qualidade do ar e por sua possível associação com agravos respiratórios.

A associação acumulada entre a exposição ao material particulado inalável (MP10) e os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista é apresentada na Tabela 7. Os resultados expressam os riscos relativos estimados para diferentes concentrações do poluente, considerando o efeito acumulado durante o período de defasagem definido no modelo estatístico.

Tabela 7- Risco relativo acumulado do MP10 sobre os casos de SRAG, Baixada Santista, 2015–2024.

MP10 (µg/m³)	RR	IC95% inferior	IC95% superior
10	1,044	0,949	1,149
20	1,024	0,952	1,102
30	1,010	0,958	1,066
40	1,001	0,966	1,037
50	0,997	0,978	1,017
60	0,998	0,992	1,004
70	1,003	0,998	1,009
80	1,014	0,999	1,030
90	1,030	1,006	1,055
100	1,051	1,020	1,083
110	1,078	1,040	1,118

120	1,111	1,067	1,158
130	1,151	1,099	1,205
140	1,198	1,138	1,261
150	1,253	1,182	1,329
160	1,317	1,231	1,409
170	1,391	1,285	1,506
180	1,477	1,346	1,621
190	1,575	1,411	1,759
200	1,689	1,484	1,922
210	1,819	1,563	2,117
220	1,969	1,651	2,350
230	2,143	1,747	2,627
240	2,342	1,854	2,960
250	2,573	1,971	3,359
260	2,841	2,101	3,841
270	3,152	2,245	4,424

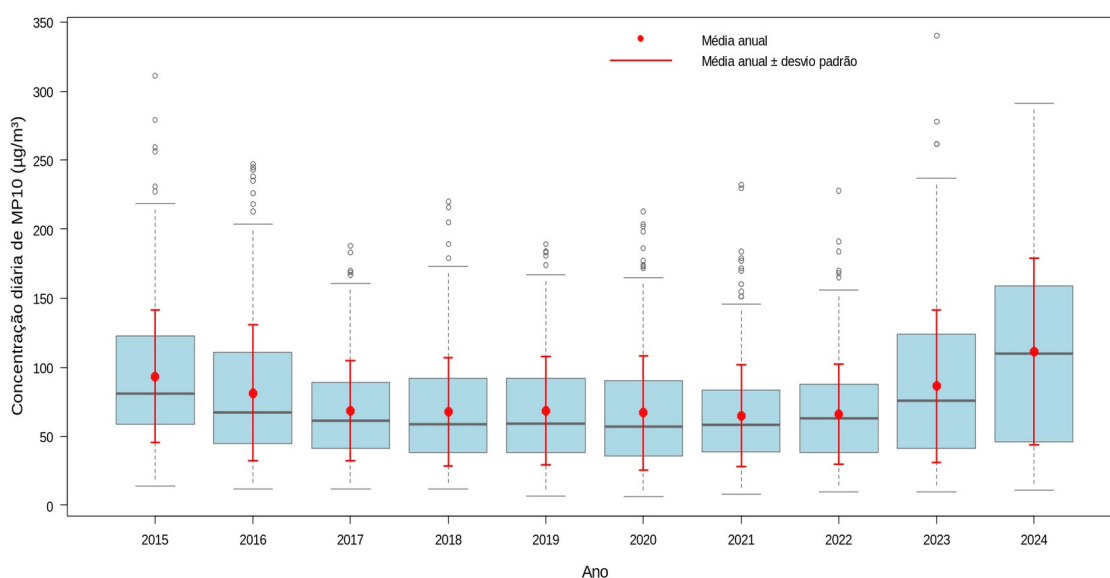
280	3,514	2,405	5,134
290	3,937	2,582	6,002
300	4,433	2,780	7,069
310	5,015	2,999	8,386
320	5,703	3,245	10,023
330	6,516	3,518	12,066
340	7,482	3,825	14,634

Fonte: Elaborado pelo autor com base no modelo GLM/DLNM aplicado aos dados de SRAG e MP10, Baixada Santista, 2015–2024.

A Tabela 7 apresenta o risco relativo acumulado do MP10 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, no período de 2015 a 2024. Observa-se que, em concentrações mais baixas de MP10, os valores de risco relativo permaneceram próximos de 1, com intervalos de confiança abrangendo a unidade, sugerindo ausência de associação estatisticamente significativa nesses níveis. A partir de aproximadamente 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o risco relativo passou a se elevar de forma progressiva, com intervalo de confiança acima de 1, indicando aumento estatisticamente significativo do risco de SRAG associado ao incremento da concentração de MP10. Em concentrações mais elevadas, as estimativas de risco relativo aumentaram progressivamente, alcançando RR de 7,482 em 340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entretanto, por se tratar de uma faixa extrema de exposição, com menor número provável de observações e intervalos de confiança mais amplos, esse resultado deve ser interpretado com cautela, sem inferência causal.

A distribuição anual das concentrações diárias de material particulado inalável (MP10) na Baixada Santista é apresentada na Figura 22. O boxplot permite comparar a mediana, a dispersão, a amplitude interquartílica e a ocorrência de valores extremos entre os anos de 2015 e 2024.

Figura 22- Boxplot anual das concentrações diárias de MP10 na Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados ambientais do sistema QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 22 apresenta o boxplot anual das concentrações diárias de MP10 na Baixada Santista no período de 2015 a 2024, com base nos dados ambientais obtidos pelo sistema QUALAR/CETESB. As caixas representam a distribuição dos valores diários observados em cada ano, permitindo visualizar a mediana, a variabilidade central dos dados e a dispersão das concentrações ao longo da série histórica.

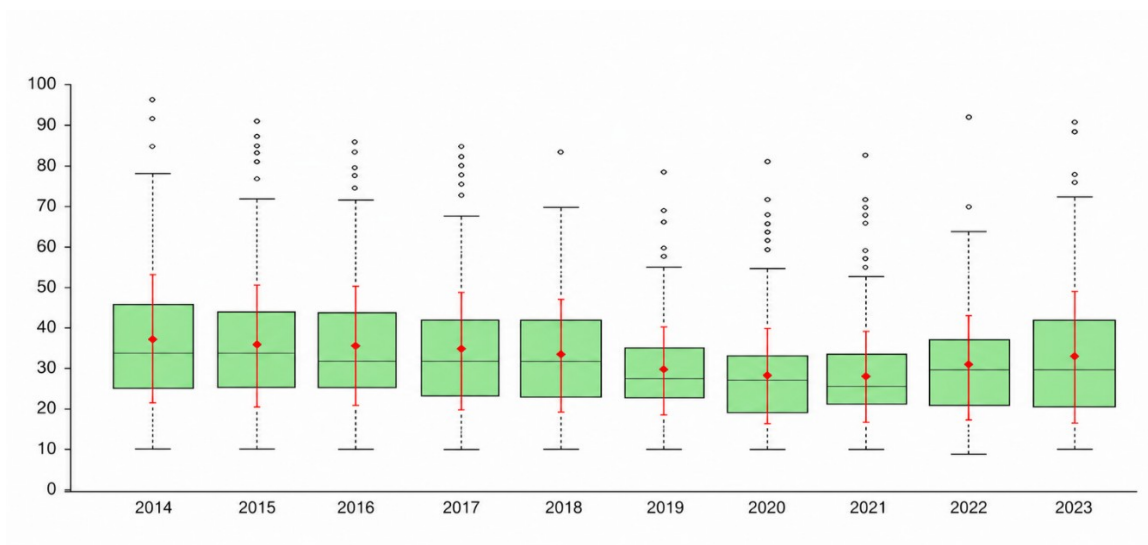
A linha central de cada caixa indica a mediana anual das concentrações de MP10, enquanto os limites inferior e superior da caixa representam o intervalo interquartil, ou seja, a faixa onde se concentram 50% dos valores observados no ano. Os pontos vermelhos correspondem às médias anuais, possibilitando comparar a tendência média de concentração do poluente entre os anos analisados. Já as barras verticais vermelhas indicam a média anual acrescida e reduzida de um desvio padrão, evidenciando o grau de dispersão das concentrações diárias em torno da média.

Observa-se que as concentrações de MP10 apresentaram variações entre os anos, com diferenças na amplitude dos valores, na posição das medianas e na dispersão anual. A presença de valores extremos indica a ocorrência de episódios pontuais de elevação das concentrações de material particulado inalável, possivelmente associados a condições meteorológicas menos favoráveis à dispersão atmosférica, maior estabilidade do ar, redução da umidade relativa ou influência de fontes emissoras locais e regionais.

A análise por boxplot permite identificar não apenas a tendência central das concentrações anuais de MP10, mas também a variabilidade e a ocorrência de picos de exposição ao longo do período estudado. Esses aspectos são relevantes para a compreensão da qualidade do ar na Baixada Santista, uma vez que o MP10 está associado à irritação das vias aéreas e ao agravamento de doenças respiratórias, podendo contribuir para maior vulnerabilidade da população a agravos como a Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG).

A distribuição anual das concentrações diárias de material particulado fino (MP2,5) na Baixada Santista é apresentada na Figura 23. O boxplot possibilita comparar a mediana, a amplitude interquartilica, a dispersão dos valores e a ocorrência de registros extremos entre os anos de 2015 e 2024.

Figura 23- Boxplot anual da concentração diária de MP 2,5, Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados ambientais do sistema QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 23 apresenta o boxplot anual das concentrações diárias de material particulado fino (MP2,5) na Baixada Santista no período de 2015 a 2024, com base nos dados ambientais obtidos pelo sistema QUALAR/CETESB. As caixas representam a distribuição dos valores diários observados em cada ano, permitindo visualizar a variabilidade anual das concentrações desse poluente ao longo da série histórica.

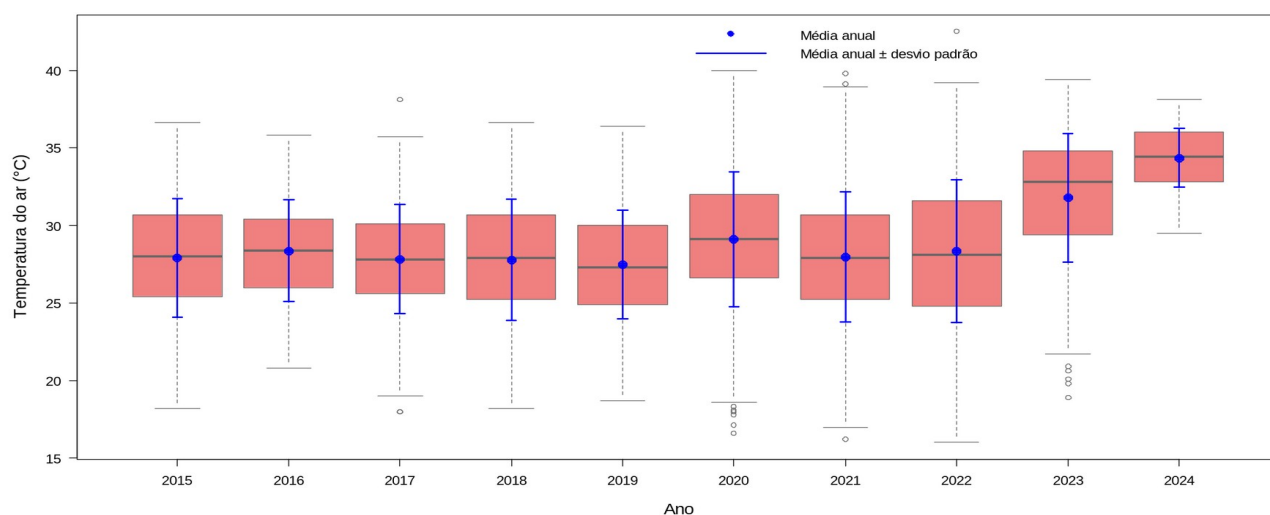
A linha central de cada caixa indica a mediana anual das concentrações de MP2,5, enquanto os limites inferior e superior representam o intervalo interquartil, ou seja, a faixa onde se concentram 50% dos valores observados em cada ano. Os pontos vermelhos correspondem às médias anuais, possibilitando comparar o comportamento médio do poluente entre os anos analisados. As barras verticais vermelhas representam a média anual acrescida e reduzida de um desvio padrão, evidenciando o grau de dispersão dos valores diários em torno da média.

Observa-se que as concentrações de MP2,5 apresentaram variações ao longo do período estudado, com diferenças na amplitude dos valores, na posição das medianas e na dispersão anual. A presença de valores mais elevados em determinados anos indica episódios pontuais de aumento da concentração de partículas finas na atmosfera, possivelmente relacionados a condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes, como maior estabilidade atmosférica, baixa umidade relativa do ar, redução da circulação dos ventos e influência de fontes emissoras locais ou regionais.

A análise por boxplot é relevante porque permite observar não apenas a tendência central das concentrações anuais de MP2,5, mas também a variabilidade e a ocorrência de possíveis valores extremos. Esse aspecto é especialmente importante do ponto de vista epidemiológico, uma vez que o MP2,5 possui menor diâmetro aerodinâmico e maior capacidade de penetração no trato respiratório, podendo atingir regiões mais profundas dos pulmões. Dessa forma, o gráfico contribui para a compreensão da exposição ambiental da população da Baixada Santista e subsidia a análise da possível relação entre poluição atmosférica e ocorrência de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG).

A distribuição anual da temperatura do ar na Baixada Santista é apresentada na Figura 24. O boxplot permite comparar a mediana, a amplitude interquartilica, a dispersão e a ocorrência de valores extremos em cada ano, enquanto a média anual e o respectivo desvio-padrão complementam a análise da tendência central e da variabilidade dos registros entre 2015 e 2024.

Figura 24 - Boxplot anual da temperatura do ar, com média anual e desvio padrão, Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados ambientais do sistema QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 24 apresenta o boxplot anual da temperatura do ar na Baixada Santista no período de 2015 a 2024, com base nos dados ambientais obtidos pelo sistema

QUALAR/CETESB. As caixas representam a distribuição dos valores diários de temperatura em cada ano, permitindo visualizar a variação anual, a mediana, a dispersão dos dados e a presença de possíveis valores extremos ao longo da série histórica.

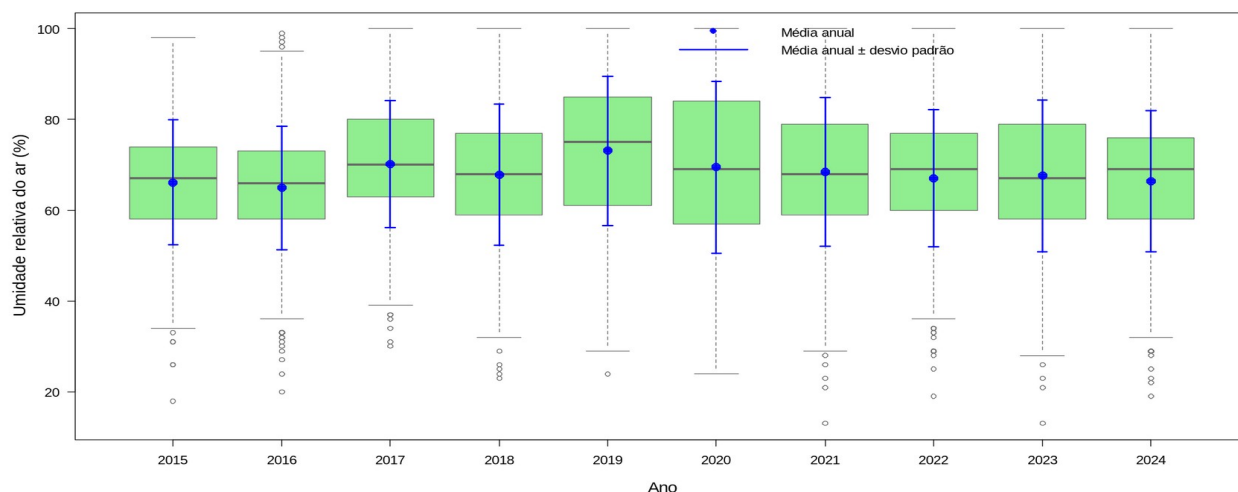
A linha central de cada caixa indica a mediana anual da temperatura do ar, enquanto os limites inferior e superior da caixa representam o intervalo interquartil, correspondente à faixa em que se concentram 50% dos valores observados no ano. Os pontos azuis correspondem às médias anuais, possibilitando comparar o comportamento médio da temperatura entre os anos analisados. As barras verticais azuis representam a média anual acrescida e reduzida de um desvio padrão, permitindo observar a variabilidade dos valores diários em torno da média.

Observa-se que a temperatura do ar apresentou variações ao longo do período estudado, com diferenças na amplitude dos valores e na dispersão anual. Essas oscilações podem estar relacionadas às características climáticas da Baixada Santista, à influência da maritimidade, à sazonalidade, à ocorrência de frentes frias, massas de ar quente e variações meteorológicas típicas da região costeira.

A análise por boxplot permite identificar não apenas a tendência central da temperatura em cada ano, mas também a variabilidade térmica diária e a ocorrência de períodos com temperaturas mais elevadas ou mais baixas. Esse comportamento é relevante para a análise epidemiológica, uma vez que alterações na temperatura do ar podem influenciar a dinâmica de doenças respiratórias, a circulação de agentes infecciosos e a vulnerabilidade de grupos populacionais, especialmente crianças, idosos e pessoas com doenças crônicas. Dessa forma, o Gráfico 29 contribui para a compreensão das condições climáticas observadas na Baixada Santista e subsidia a análise da possível relação entre variáveis ambientais e casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG).

A distribuição anual da umidade relativa do ar na Baixada Santista é apresentada na Figura 25. O boxplot permite comparar a mediana, a amplitude interquartilica, a dispersão e a ocorrência de valores extremos em cada ano, enquanto a média anual e o respectivo desvio-padrão complementam a avaliação da tendência central e da variabilidade dos registros entre 2015 e 2024.

Figura 25 - Boxplot anual da umidade relativa do ar, com média anual e desvio padrão, Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados ambientais do sistema QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 25 apresenta o boxplot anual da umidade relativa do ar na Baixada Santista no período de 2015 a 2024, com base nos dados ambientais obtidos pelo sistema QUALAR/CETESB. As caixas representam a distribuição dos valores diários observados em cada ano, permitindo visualizar a mediana, a variabilidade anual, a amplitude dos dados e a presença de possíveis valores extremos ao longo da série histórica.

A linha central de cada caixa indica a mediana anual da umidade relativa do ar, enquanto os limites inferior e superior representam o intervalo interquartil, correspondente à faixa em que se concentram 50% dos valores observados em cada ano. Os pontos azuis correspondem às médias anuais, possibilitando comparar o comportamento médio da umidade entre os anos analisados. As barras verticais azuis representam a média anual acrescida e reduzida de um desvio padrão, permitindo avaliar a dispersão dos valores diários em torno da média.

Observa-se que a umidade relativa do ar apresentou variações ao longo do período estudado, com diferenças na amplitude dos valores e na dispersão anual. Essas oscilações podem estar relacionadas às características climáticas da Baixada Santista, especialmente por se tratar de uma região litorânea influenciada pela maritimidade, pela ocorrência de frentes frias, períodos chuvosos, massas de ar seco e variações sazonais. A presença de valores mais baixos em determinados períodos é relevante, pois a redução da umidade pode favorecer o ressecamento das vias aéreas, a irritação das mucosas respiratórias e o agravamento de sintomas respiratórios em populações vulneráveis.

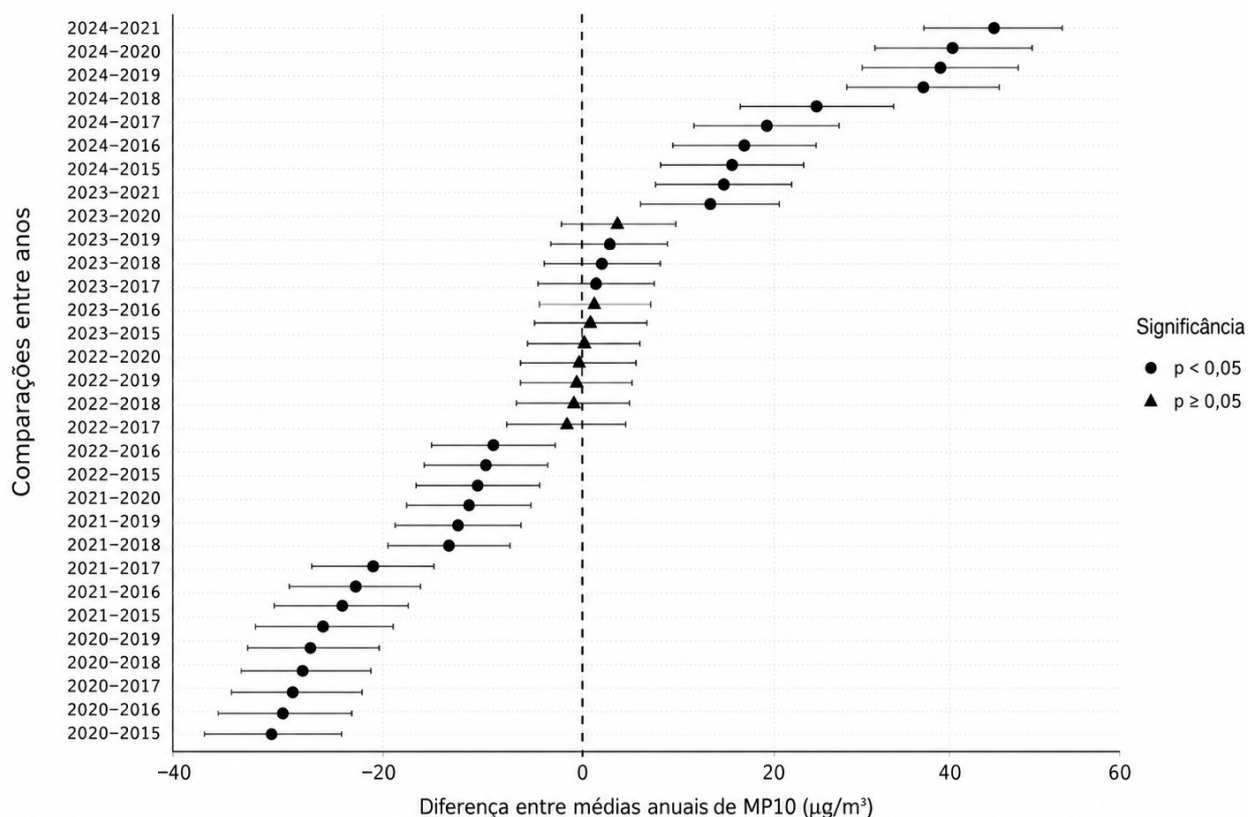
A análise por boxplot permite identificar não apenas a tendência central da umidade relativa do ar em cada ano, mas também sua variabilidade diária e a ocorrência de períodos com maior ou menor disponibilidade de umidade atmosférica. Esse comportamento é importante para a análise ambiental e epidemiológica, uma vez que a umidade relativa do ar pode influenciar tanto a dispersão de poluentes atmosféricos quanto a circulação e transmissão de agentes respiratórios. Dessa forma, o Gráfico 30 contribui para a compreensão das condições climáticas da Baixada Santista entre 2015 e 2024 e subsidia a análise da possível relação entre variáveis ambientais e ocorrência de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG).

Como análise complementar das diferenças anuais nas variáveis ambientais, foi realizado o teste de comparações múltiplas de Tukey. Considerando o elevado número de comparações entre os anos avaliados, os resultados completos foram organizados em tabela complementar/apêndice, mantendo-se no corpo do texto apenas a interpretação geral dos achados. Essa estratégia permite preservar a fluidez da apresentação dos resultados, ao mesmo tempo em que mantém a transparência metodológica e possibilita a consulta detalhada das diferenças estatísticas identificadas entre os anos.

As comparações múltiplas entre as concentrações anuais de material particulado inalável (MP10) na Baixada Santista são apresentadas na Figura 26. O teste de Tukey foi utilizado após a análise de variância para identificar quais pares de anos apresentaram diferenças estatisticamente significativas nas concentrações médias do poluente entre 2015 e 2024.

Figura 26- Comparações múltiplas pelo teste de Tukey para as concentrações anuais de MP10 na Baixada Santista, 2015–2024.

Figura 26 – Comparações múltiplas pelo teste de Tukey das concentrações anuais de MP10 na Baixada Santista, 2015–2024



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados ambientais do sistema QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 26 apresenta as comparações múltiplas entre os anos avaliados pelo teste de Tukey, considerando as concentrações anuais de material particulado inalável MP10 na Baixada Santista, no período de 2015 a 2024. Essa análise foi realizada após a aplicação da análise de variância, com o objetivo de identificar entre quais pares de anos ocorreram diferenças estatisticamente significativas nas médias de concentração do poluente.

No gráfico, cada linha representa a comparação entre dois anos específicos. O ponto central indica a diferença média estimada entre os anos comparados, enquanto a linha horizontal representa o intervalo de confiança dessa diferença. O eixo vertical apresenta os pares de anos comparados, e o eixo horizontal representa a diferença entre as médias anuais de MP10.

A linha de referência no valor zero indica ausência de diferença entre as médias. Quando o intervalo de confiança cruza essa linha, considera-se que não houve diferença

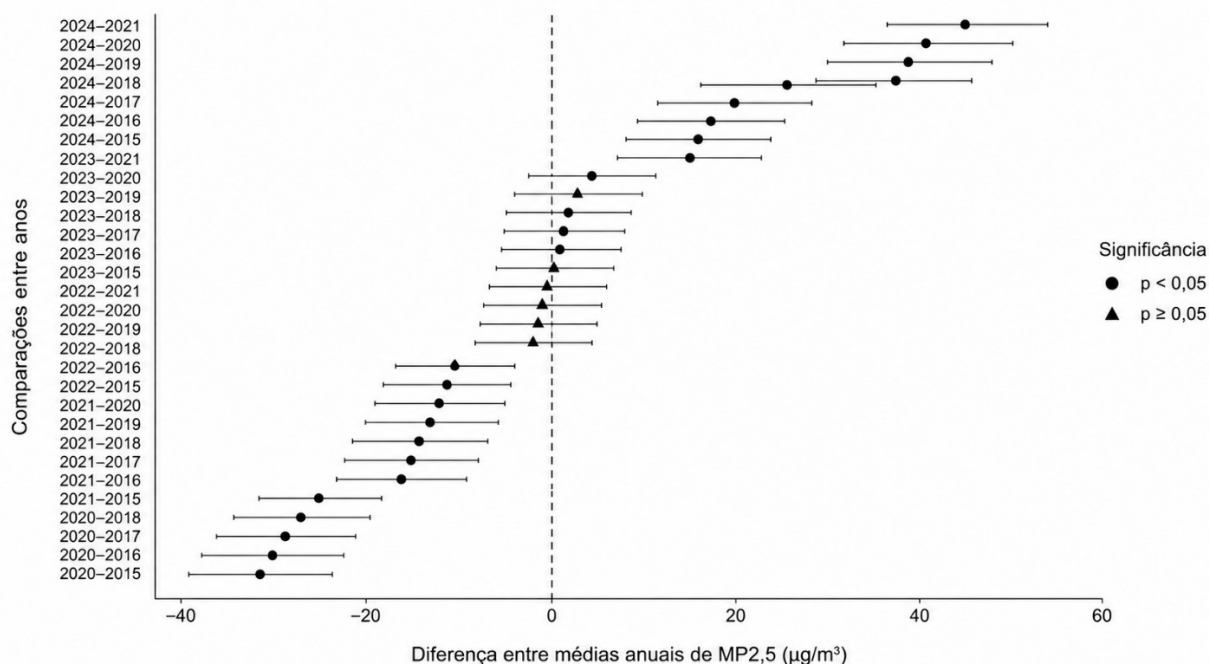
estatisticamente significativa entre os anos comparados. Por outro lado, quando o intervalo de confiança não cruza o valor zero, há indicação de diferença estatisticamente significativa entre os anos analisados.

Dessa forma, o teste de Tukey permite complementar a análise descritiva e a análise de variância, apontando especificamente quais anos apresentaram concentrações médias de MP10 significativamente diferentes. Esse tipo de análise é relevante para verificar possíveis variações temporais na qualidade do ar ao longo da série histórica, identificando períodos com maior ou menor concentração do poluente na região estudada.

Por apresentar grande número de comparações entre pares de anos, o gráfico pode se tornar visualmente extenso e de leitura mais detalhada. Por esse motivo, sua apresentação no apêndice é mais adequada, permitindo manter o corpo principal da dissertação mais objetivo, ao mesmo tempo em que preserva a transparência metodológica e estatística da análise.

As comparações múltiplas entre as concentrações anuais de material particulado fino (MP2,5) na Baixada Santista são apresentadas na Figura 27. O teste de Tukey foi aplicado após a análise de variância para identificar quais pares de anos apresentaram diferenças estatisticamente significativas nas concentrações médias do poluente entre 2015 e 2024.

Figura 27- Comparações múltiplas pelo teste de Tukey para as concentrações anuais de MP2,5 na Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados ambientais do sistema QUALAR/CETESB, 2015–2024.

A figura 27 apresenta as comparações múltiplas entre os anos avaliados pelo teste de Tukey, considerando as concentrações anuais de material particulado fino MP2,5 na Baixada Santista, no período de 2015 a 2024. O gráfico permite identificar quais pares de anos apresentaram diferenças estatisticamente significativas nas médias de concentração do poluente.

Cada linha representa a diferença média entre dois anos, acompanhada de seu respectivo intervalo de confiança. Quando o intervalo de confiança cruza o valor zero, considera-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os anos comparados. Por outro lado, quando o intervalo não cruza o zero, há indicação de diferença estatisticamente significativa entre os anos.

Dessa forma, o teste de Tukey complementa a análise de variância ao indicar especificamente entre quais anos ocorreram variações relevantes nas concentrações de MP2,5. Por se tratar de uma análise complementar e com grande número de comparações, esse gráfico é mais adequado para apresentação no apêndice, evitando sobrecarregar o corpo principal da dissertação.

4.5 ASSOCIAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E SRAG

Os riscos relativos acumulados associados às variáveis ambientais e aos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista são apresentados na Tabela 8. As estimativas consideram os efeitos acumulados no período de defasagem de até sete dias, permitindo avaliar possíveis associações tardias entre as exposições ambientais e a ocorrência dos casos durante o período de 2015 a 2024.

Tabela 8 - Riscos relativos acumulados associados às variáveis ambientais para os casos de SRAG, considerando defasagem de até sete dias, na Baixada Santista, 2015–2024

Variável ambiental	Valor analisado	RR	IC95% inferior	IC95% superior
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	1,002	0,981	1,023
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	1,044	1,011	1,079
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	1,250	1,174	1,330
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1,716	1,497	1,967
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	2,704	2,041	3,582
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	300	4,890	2,987	8,006
MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	340	8,676	4,269	17,633
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10	0,990	0,970	1,011
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15	1,025	1,002	1,049
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20	1,100	1,051	1,150
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25	1,221	1,145	1,302
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30	1,405	1,257	1,570
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	35	1,674	1,375	2,037
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	2,065	1,503	2,838
MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	44	2,505	1,615	3,888
Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	20	0,997	0,864	1,149

Temperatura do ar (°C)	25	0,954	0,919	0,990
Temperatura do ar (°C)	30	1,021	1,011	1,030
Temperatura do ar (°C)	35	1,220	1,101	1,352
Temperatura do ar (°C)	40	1,630	1,225	2,169
Temperatura do ar (°C)	42	1,889	1,285	2,775
Umidade relativa do ar (%)	15	0,599	0,406	0,883
Umidade relativa do ar (%)	30	0,730	0,591	0,902
Umidade relativa do ar (%)	50	0,890	0,835	0,949
Umidade relativa do ar (%)	65	0,985	0,977	0,993
Umidade relativa do ar (%)	70	1,009	1,004	1,015
Umidade relativa do ar (%)	80	1,045	1,005	1,087
Umidade relativa do ar (%)	90	1,063	0,972	1,163
Umidade relativa do ar (%)	100	1,061	0,901	1,250

Fonte: Elaborado pelo autor com base no modelo GLM/DLNM aplicado aos dados de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

Nota: RR = risco relativo acumulado; IC95% = intervalo de confiança de 95%. Valores de RR acima de 1 indicam aumento do risco relativo de SRAG em relação ao valor de

referência adotado no modelo. Valores cujo intervalo de confiança não inclui 1 indicam associação estatisticamente significativa.

A **Tabela 8** apresenta os riscos relativos acumulados associados às variáveis ambientais e aos casos de SRAG na Baixada Santista, entre 2015 e 2024, considerando o período de defasagem de até sete dias. De modo geral, os resultados demonstraram aumento progressivo do risco em concentrações mais elevadas de MP10 e MP2,5, indicando associação positiva entre a exposição ao material particulado e a ocorrência de SRAG.

Em relação à temperatura do ar, observou-se comportamento não linear, com redução do risco em determinadas faixas intermediárias e posterior elevação em temperaturas mais altas. Esse padrão sugere que os efeitos da temperatura sobre a ocorrência de SRAG podem variar conforme a intensidade da exposição térmica.

A umidade relativa do ar também apresentou relação não linear com os casos de SRAG. Valores mais baixos estiveram associados a riscos inferiores à referência, enquanto níveis mais elevados demonstraram aumento discreto do risco, acompanhado de maior incerteza nas faixas extremas.

Após a apresentação dos riscos relativos acumulados, foram elaboradas figuras para representar as relações entre as exposições ambientais e os casos de SRAG. Essas visualizações permitem identificar o comportamento não linear das associações e observar como os efeitos se distribuem ao longo do período de defasagem de zero a sete dias.

Os resultados devem ser interpretados considerando os intervalos de confiança, as categorias de referência e os ajustes adotados nos modelos estatísticos. As associações observadas não devem ser interpretadas isoladamente como evidência de causalidade.

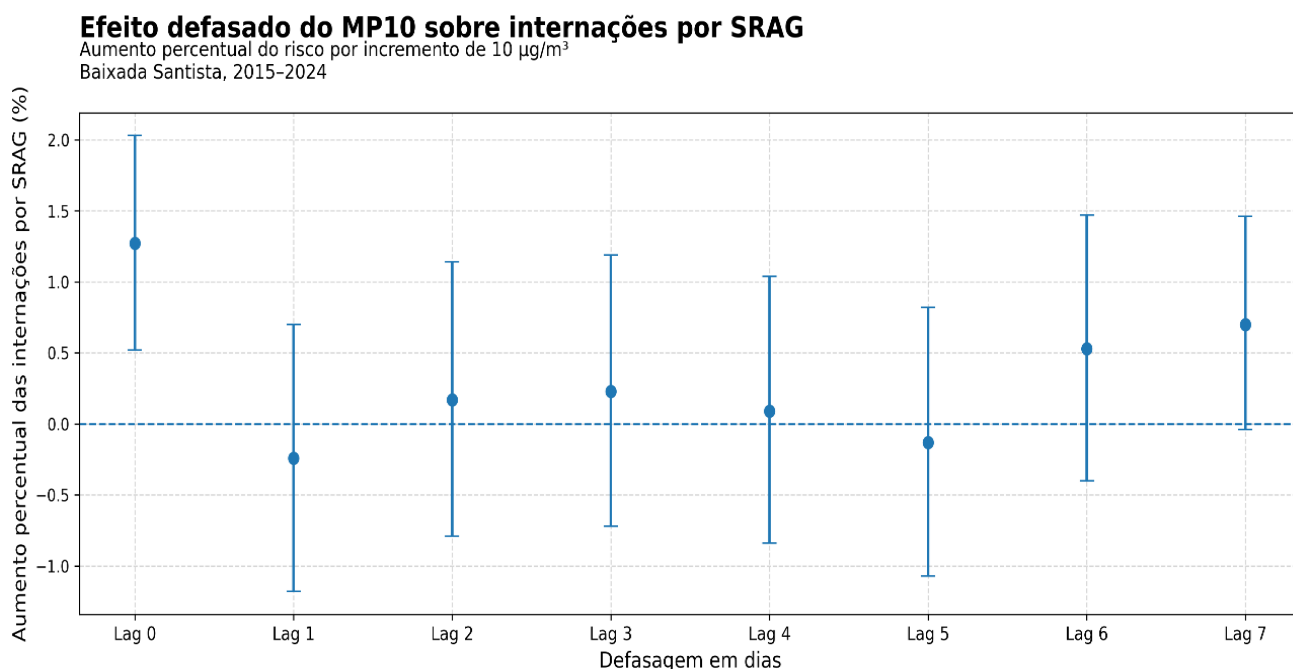
4.6 Análise dos efeitos defasados das variáveis ambientais sobre os casos de SRAG

A análise dos efeitos defasados foi realizada com o objetivo de verificar se a exposição às variáveis ambientais e climáticas esteve associada ao aumento ou à redução dos casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) não apenas no mesmo dia da exposição, mas também nos dias subsequentes. Para isso, foram avaliadas defasagens entre 0 e 7 dias, considerando que os efeitos respiratórios decorrentes da exposição a poluentes atmosféricos ou a variações meteorológicas podem se manifestar de maneira imediata, tardia ou cumulativa. Os resultados foram estimados por meio de modelos lineares generalizados com distribuição quasi-Poisson, apropriados para dados de contagem com superdispersão, e

expressos como aumento percentual do risco ou como risco relativo, com respectivos intervalos de confiança de 95%.

O efeito defasado da exposição ao material particulado inalável (MP10) sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista é apresentado na Figura 28. As estimativas representam a variação percentual do risco associada ao incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do poluente, considerando cada dia de defasagem entre o dia da exposição e os sete dias subsequentes.

Figura 28- Efeito defasado do MP10 sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, expresso como aumento percentual do risco , Baixada Santista, 2015–2024.



Nota: Os pontos representam o aumento percentual do risco de internações por SRAG associado ao incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10. As barras verticais indicam o intervalo de confiança de 95%. A linha tracejada em zero representa ausência de efeito.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

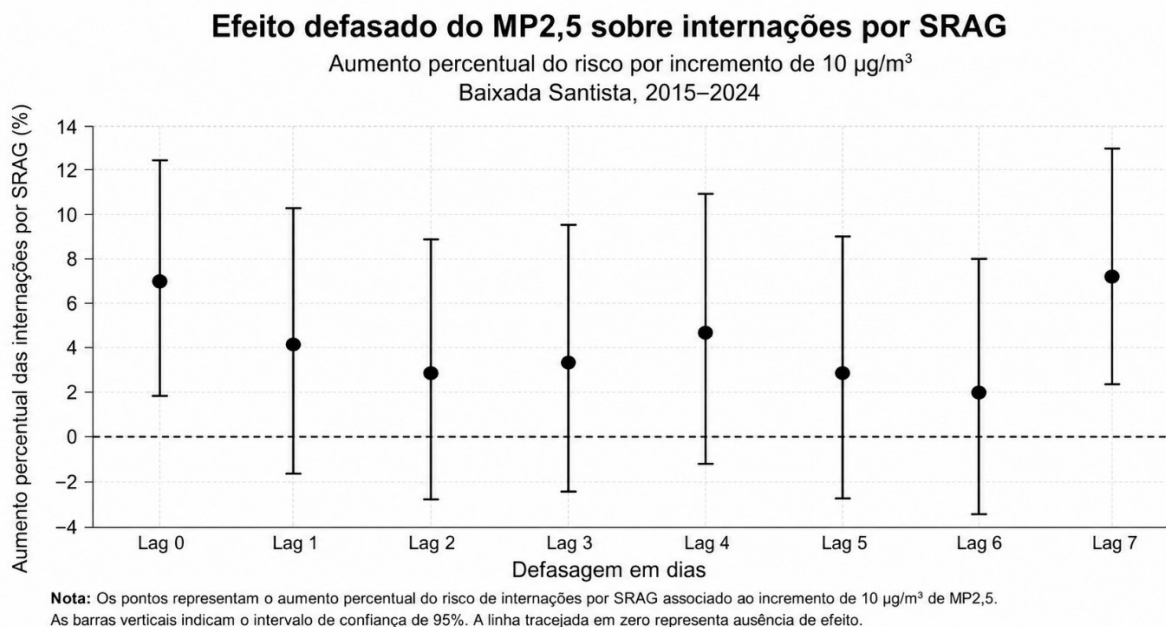
A figura 28 apresenta o efeito defasado do MP10 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024, considerando incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações do poluente e defasagens de 0 a 7 dias. Os pontos representam a estimativa pontual do efeito em cada lag, enquanto as barras verticais correspondem aos intervalos de confiança de 95%. A linha tracejada em zero representa ausência de efeito, de modo que valores positivos indicam aumento percentual dos casos de SRAG e valores negativos indicam redução percentual.

Observa-se que o lag 0 apresentou o efeito mais consistente, sugerindo associação imediata entre o aumento das concentrações de MP10 e o incremento das casos de SRAG. Esse achado indica que a exposição ao poluente pode desencadear ou agravar rapidamente quadros respiratórios, especialmente entre indivíduos mais vulneráveis. Nas demais defasagens, os efeitos oscilaram em torno da linha de nulidade, e a maioria dos intervalos de confiança cruzou o zero, sugerindo ausência de associação estatisticamente significativa pelo critério convencional de 5%. Ainda assim, a manutenção de estimativas positivas em alguns lags sugere a possibilidade de persistência do impacto respiratório em curto prazo, ainda que com menor precisão estatística.

Do ponto de vista epidemiológico, esse padrão é coerente com a literatura, uma vez que o MP10 está associado à irritação das vias aéreas, exacerbação de doenças respiratórias prévias e aumento da demanda por serviços de saúde. Assim, os resultados reforçam o papel do material particulado inalável como importante fator de risco para agravamento respiratório na região estudada.

O efeito defasado da exposição ao material particulado fino (MP2,5) sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista é apresentado na Figura 29. As estimativas representam a variação percentual do risco associada ao incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do poluente, considerando cada dia de defasagem entre o dia da exposição e os sete dias subsequentes.

Figura 29 - Efeito defasado do MP2,5 sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, expresso como aumento percentual do risco por incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

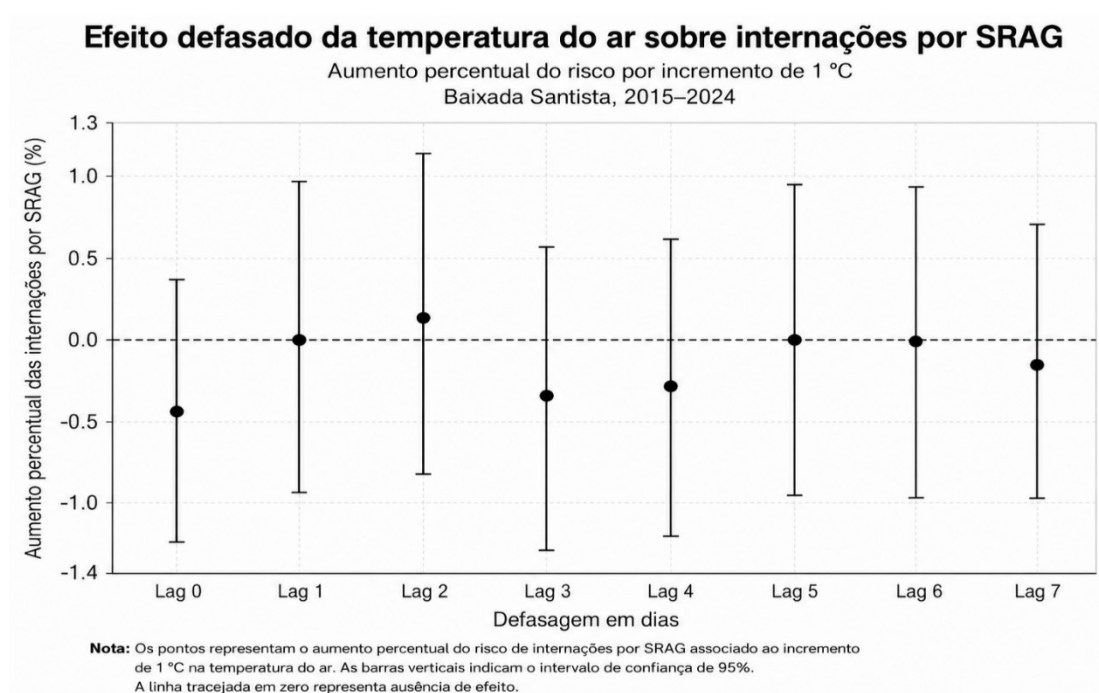
A figura 29 demonstra o efeito defasado do MP2,5 sobre os casos de SRAG, considerando incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e defasagens entre 0 e 7 dias. Os pontos indicam o aumento percentual estimado do risco de ocorrência de casos em cada defasagem, enquanto as barras verticais representam os intervalos de confiança de 95%. A linha horizontal tracejada em zero indica ausência de efeito.

De modo geral, observa-se predominância de estimativas positivas ao longo das defasagens, sugerindo aumento percentual das casos de SRAG associado à elevação das concentrações de MP2,5. Embora os intervalos de confiança sejam amplos em vários lags, refletindo maior incerteza das estimativas, o padrão geral aponta para uma tendência de efeito deletério do material particulado fino sobre a saúde respiratória. Esse comportamento é biologicamente plausível, visto que o MP2,5 possui pequeno diâmetro aerodinâmico e maior capacidade de penetração nas regiões profundas do pulmão, alcançando bronquíolos e alvéolos, onde pode desencadear processos inflamatórios, estresse oxidativo e agravamento de doenças respiratórias.

A análise por defasagens sugere que a exposição ao MP2,5 pode produzir efeitos tanto imediatos quanto tardios, o que reforça a relevância de monitorar esse poluente em contextos urbanos e costeiros com alta circulação veicular, atividade industrial e influência portuária. Ainda que nem todos os lags tenham alcançado significância estatística, a consistência do padrão positivo contribui para sustentar a hipótese de associação entre o poluente e a ocorrência de quadros respiratórios graves.

O efeito defasado da temperatura do ar sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista é apresentado na Figura 30. As estimativas demonstram como o efeito associado à exposição térmica se distribuiu entre o dia da exposição e os sete dias subsequentes, considerando o período de 2015 a 2024.

Figura 30 - Efeito defasado da temperatura do ar sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

A figura 30 apresenta o efeito defasado da temperatura do ar sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista, no período de 2015 a 2024. Foram avaliadas defasagens de 0 a 7 dias, considerando que a exposição à variação da temperatura pode produzir impacto respiratório tanto no mesmo dia da exposição quanto nos dias subsequentes.

Os resultados foram estimados por modelo linear generalizado com distribuição quasi-Poisson, adequado para dados de contagem e utilizado em razão da presença de superdispersão nos dados de casos. O efeito da temperatura foi interpretado para cada incremento de 1 °C, sendo apresentado por meio do risco relativo, intervalo de confiança de 95% e aumento percentual das casos de SRAG.

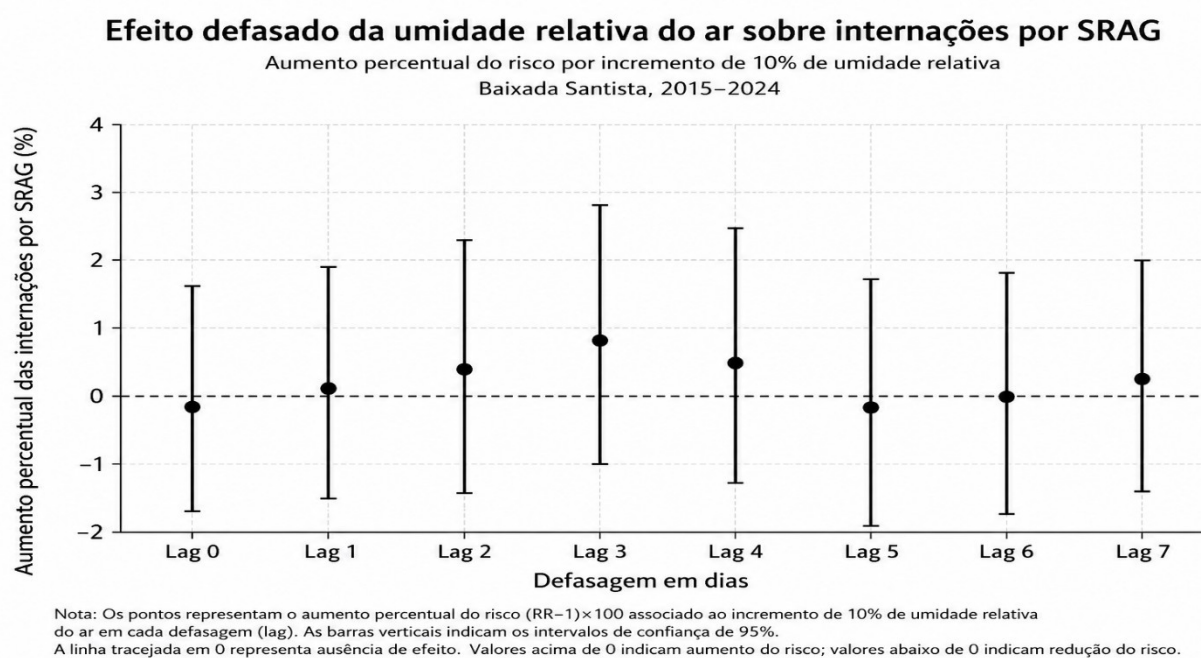
Valores de risco relativo acima de 1 indicam aumento do risco de ocorrência de casos associado ao incremento da temperatura, enquanto valores abaixo de 1 indicam redução do risco. Quando apresentado em aumento percentual, valores positivos indicam aumento percentual das casos de SRAG, enquanto valores negativos indicam redução percentual. Os intervalos de confiança permitem avaliar a precisão das estimativas; quando o intervalo inclui o valor de referência, $RR = 1$, ou cruza zero no gráfico percentual, não há evidência estatística suficiente de associação significativa no respectivo lag.

A análise por defasagens permite identificar se o efeito da temperatura ocorre de forma imediata, no lag 0, ou se apresenta comportamento tardio, entre lag 1 e lag 7. Essa abordagem é importante em estudos de saúde ambiental, pois os efeitos das variáveis climáticas sobre o sistema respiratório podem ocorrer de maneira cumulativa ou retardada, especialmente em populações vulneráveis, como idosos, crianças pequenas e indivíduos com doenças respiratórias prévias.

O efeito defasado da umidade relativa do ar sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista é apresentado na Figura 31. As estimativas representam a variação percentual do risco associada ao incremento de 10% na umidade

relativa do ar, considerando cada dia de defasagem entre o dia da exposição e os sete dias subsequentes.

Figura 31 - Efeito defasado da umidade relativa do ar sobre os casos de SRAG entre zero e sete dias, expresso como aumento percentual do risco por incremento de 10 pontos percentuais na umidade relativa, Baixada Santista, 2015–2024



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

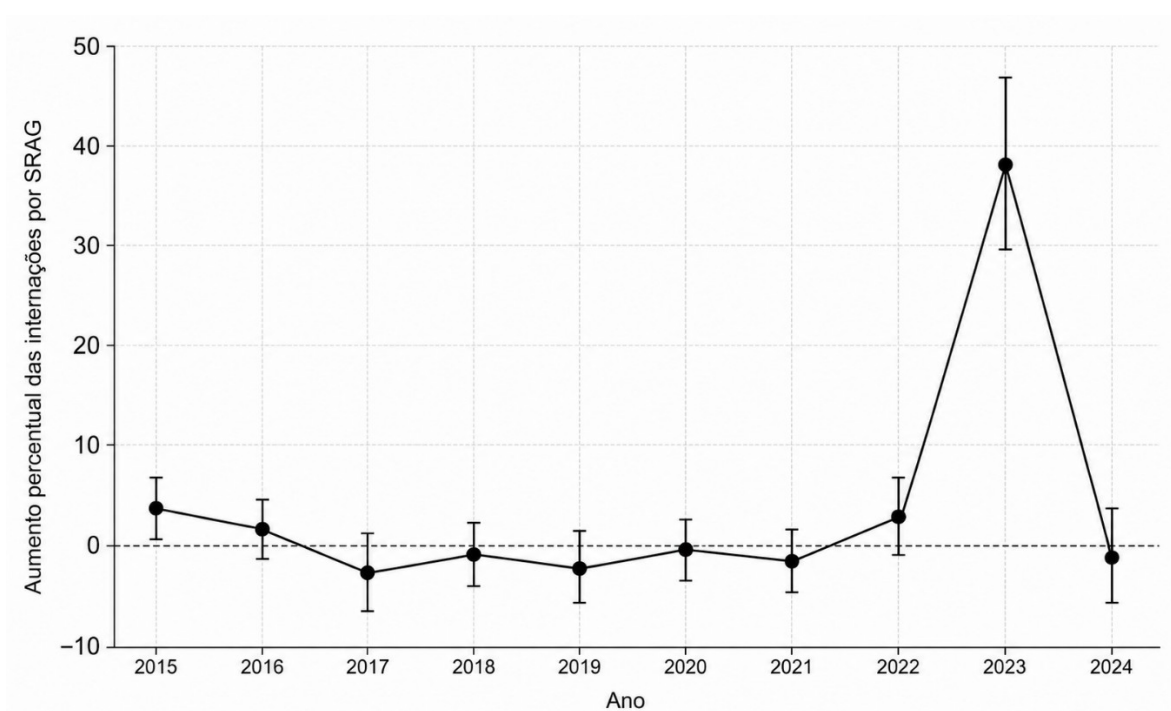
A figura 31 apresenta o efeito defasado da umidade relativa do ar sobre os casos de SRAG entre 0 e 7 dias, considerando incremento de 10% na umidade relativa. Os pontos correspondem às estimativas do aumento percentual do risco em cada defasagem, enquanto as barras verticais indicam os respectivos intervalos de confiança de 95%. A linha tracejada em zero representa ausência de efeito.

Os resultados revelam oscilações discretas entre estimativas positivas e negativas ao longo dos lags, sem evidência robusta de associação estatisticamente significativa na maior parte das defasagens, dado que os intervalos de confiança cruzam a linha de nulidade. Ainda assim, a análise sugere que a umidade relativa do ar pode exercer papel modulador sobre a ocorrência de casos de SRAG, influenciando tanto a suspensão e dispersão de partículas no ambiente quanto a sobrevivência e transmissibilidade de agentes infecciosos respiratórios.

Do ponto de vista fisiopatológico, condições de baixa umidade relativa pode favorecer o ressecamento das mucosas respiratórias e comprometer mecanismos de defesa do trato respiratório, enquanto níveis elevados de umidade podem alterar a dinâmica de dispersão de poluentes e microrganismos. Assim, embora o efeito observado não tenha se mostrado fortemente consistente em todas as defasagens, a umidade relativa deve ser considerada como componente importante do contexto ambiental associado à saúde respiratória.

O efeito da temperatura do ar sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), estimado separadamente para cada ano do período analisado, é apresentado na Figura 32. A comparação anual permite verificar possíveis mudanças na magnitude e no formato da associação entre a exposição térmica e a ocorrência de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024

Figura 32 - Efeito anual da temperatura do ar sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024.



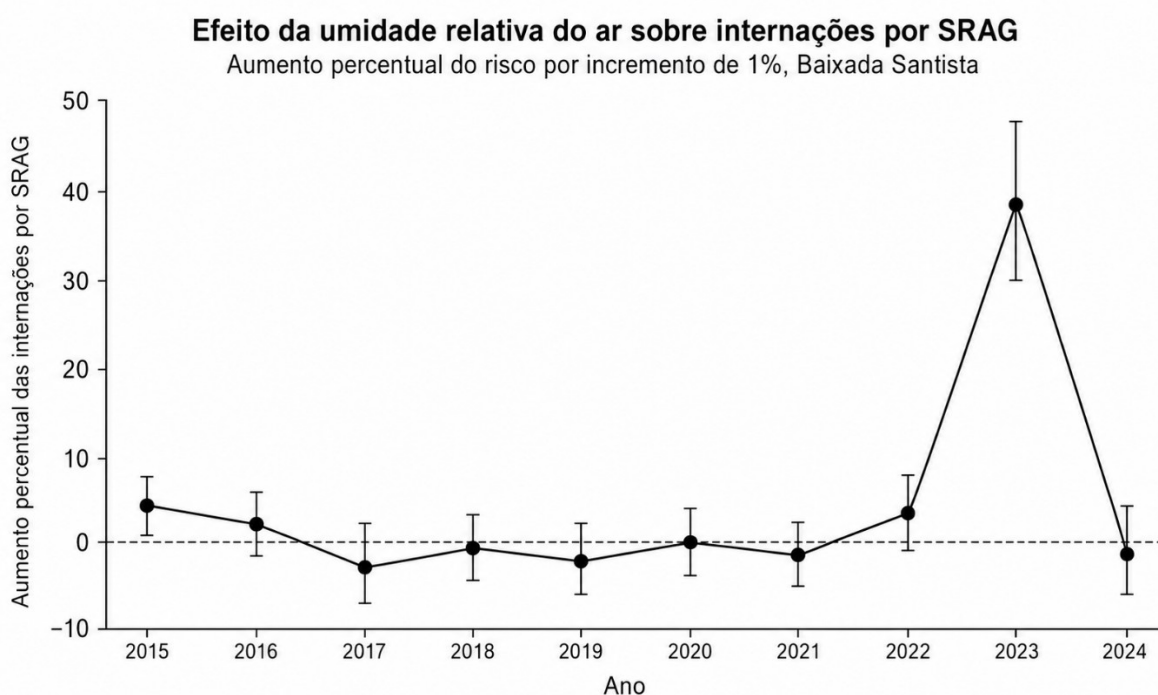
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

A figura 32 apresenta o efeito anual da temperatura do ar sobre os casos de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024. Os pontos representam o aumento percentual do risco de

ocorrência de casos associado ao incremento de 1 °C na temperatura em cada ano, enquanto as barras verticais indicam os intervalos de confiança de 95%. A linha tracejada em zero representa ausência de efeito. Valores acima de zero sugerem aumento do risco, enquanto valores abaixo de zero sugerem redução. Quando o intervalo de confiança cruza a linha de zero, a associação não é estatisticamente significativa.

O efeito da umidade relativa do ar sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), estimado separadamente para cada ano do período analisado, é apresentado na Figura 33. A comparação anual permite verificar possíveis mudanças na magnitude, na direção e no formato da associação entre essa variável meteorológica e a ocorrência de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024.

Figura 33 - Efeito anual da umidade relativa do ar sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024.



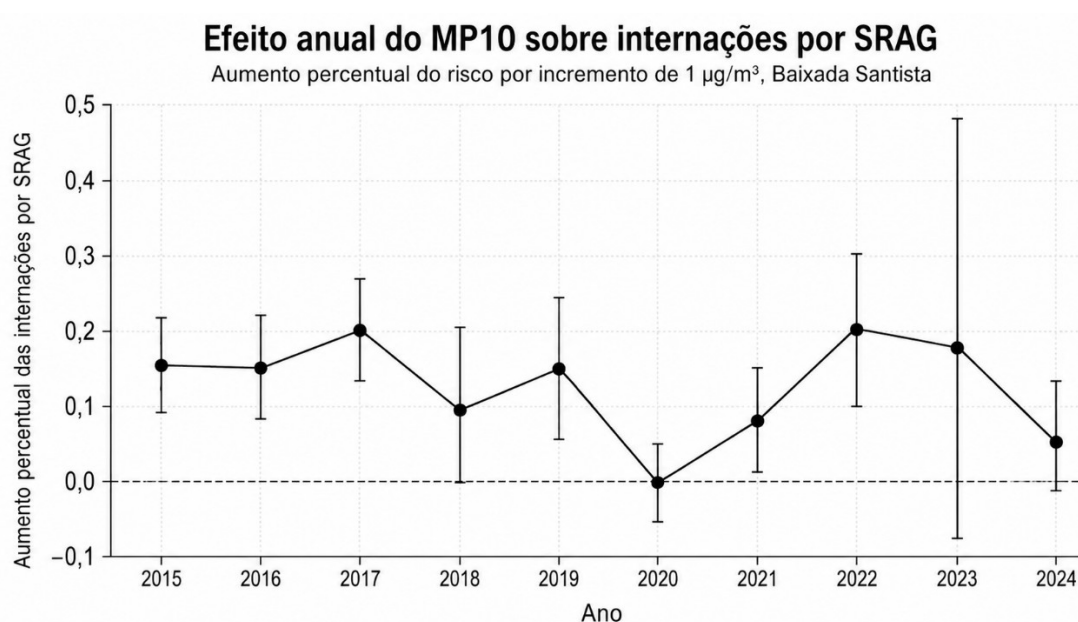
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

A figura 33 apresenta o efeito anual da umidade relativa do ar sobre os casos de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024. Os pontos representam o aumento percentual do risco

de ocorrência de casos associados ao incremento de 1% na umidade relativa do ar em cada ano, enquanto as barras verticais indicam os intervalos de confiança de 95%. A linha tracejada em zero representa ausência de efeito. Valores acima de zero sugerem aumento do risco, enquanto valores abaixo de zero indicam possível redução. Quando o intervalo de confiança cruza a linha de zero, a associação não é estatisticamente significativa.

O efeito do material particulado inalável (MP10) sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), estimado separadamente para cada ano do período analisado, é apresentado na Figura 34. A comparação anual permite verificar possíveis mudanças na magnitude, na direção e no formato da associação entre as concentrações do poluente e a ocorrência de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024.

Figura 34 - Efeito anual do MP10 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024.



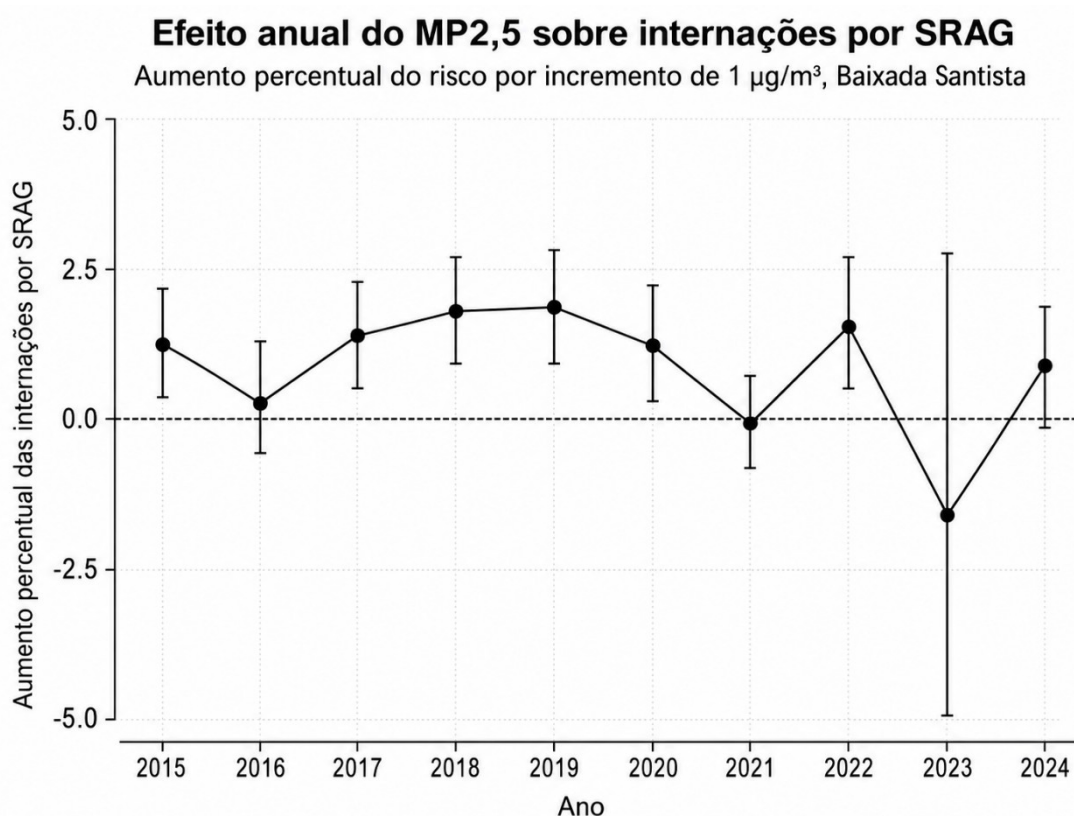
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

A figura 34 apresenta o efeito anual do MP10 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024. Os pontos representam o aumento percentual do risco de ocorrência de casos associados ao incremento de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de MP10 em cada ano, enquanto as barras verticais indicam os intervalos de confiança de 95%. A linha tracejada

em zero representa ausência de efeito. Valores acima de zero sugerem aumento percentual do risco, enquanto valores abaixo de zero sugerem redução. Quando o intervalo de confiança cruza a linha de zero, a associação não é estatisticamente significativa.

O efeito do material particulado fino (MP2,5) sobre os casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), estimado separadamente para cada ano do período analisado, é apresentado na Figura 35. A comparação anual permite verificar possíveis mudanças na magnitude, na direção e no formato da associação entre as concentrações do poluente e a ocorrência de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024.

Figura 35 - Efeito anual do MP2,5 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista, 2015–2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de casos de SRAG e variáveis ambientais, Baixada Santista, 2015–2024.

A figura 35 apresenta o efeito anual do MP2,5 sobre os casos de SRAG na Baixada Santista entre 2015 e 2024. Os pontos representam o aumento percentual do risco de ocorrência de casos associados ao incremento de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de MP2,5 em cada ano, enquanto as barras verticais indicam os intervalos de confiança de 95%. A linha tracejada em zero representa ausência de efeito. Valores acima de zero sugerem aumento percentual do risco, enquanto valores abaixo de zero sugerem redução. Quando o intervalo de confiança cruza a linha de zero, a associação não é estatisticamente significativa.

5 DISCUSSÃO

A análise dos dados evidenciou que a ocorrência de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) na Baixada Santista, entre 2015 e 2024, apresentou comportamento variável ao longo do tempo, com oscilações anuais e períodos de maior concentração de casos. Esse padrão reforça a compreensão da SRAG como um agravo de natureza multifatorial, cuja ocorrência não depende exclusivamente da circulação de agentes infecciosos, mas também da interação entre fatores ambientais, climáticos, territoriais, demográficos e assistenciais. Nesse sentido, os achados deste estudo devem ser interpretados a partir de uma perspectiva integrada de saúde coletiva, considerando que a exposição aos poluentes atmosféricos, as condições meteorológicas, a organização urbana e a vulnerabilidade populacional podem atuar de forma combinada no agravamento das doenças respiratórias.

A distribuição espacial dos casos demonstrou maior concentração nos municípios de maior porte populacional, especialmente Santos, São Vicente, Guarujá e Praia Grande. Esse padrão pode estar relacionado, em primeiro lugar, ao maior contingente populacional desses municípios, o que naturalmente tende a produzir maior número absoluto de registros. Entretanto, a concentração de casos também pode refletir fatores estruturais e assistenciais, como maior disponibilidade de serviços hospitalares, maior capacidade diagnóstica, melhor registro dos casos e maior centralidade regional na rede de saúde. Santos, em particular, exerce papel estratégico na Baixada Santista, tanto por sua densidade urbana e populacional quanto por sua importância econômica, portuária e assistencial.

No caso de Santos, a maior concentração de registros não deve ser interpretada automaticamente como maior risco individual de adoecimento, uma vez que este estudo utilizou dados agregados e números absolutos. Entretanto, o município reúne condições que podem ampliar a exposição populacional a fatores de risco respiratório, como intenso fluxo

veicular, atividade portuária, movimentação de cargas, circulação de trabalhadores, adensamento urbano e maior demanda por serviços de saúde. Dessa forma, Santos pode representar simultaneamente um território de maior exposição ambiental, maior vulnerabilidade urbana e maior capacidade de notificação, o que ajuda a explicar sua participação expressiva no conjunto regional.

A análise por faixa etária evidenciou maior participação de idosos e crianças pequenas entre os casos de SRAG, confirmando a importância dos extremos de idade como grupos prioritários para vigilância e prevenção. Em idosos, a maior vulnerabilidade pode ser explicada pela imunossenescência, pela maior prevalência de doenças crônicas, pela redução da reserva funcional pulmonar e pela maior probabilidade de evolução para formas graves diante de infecções respiratórias. Além disso, esse grupo tende a apresentar maior risco de hospitalização, complicações e óbito, especialmente quando exposto simultaneamente a agentes infecciosos, poluentes atmosféricos e variações climáticas.

Entre crianças pequenas, especialmente menores de cinco anos, a vulnerabilidade está relacionada à imaturidade do sistema imunológico, ao menor calibre das vias aéreas, à maior frequência de infecções virais respiratórias e à maior suscetibilidade a agentes como vírus sincicial respiratório, influenza e outros vírus sazonais. Esses fatores favorecem maior risco de bronquiolite, pneumonia, insuficiência respiratória e necessidade de internação. Assim, os achados reforçam que políticas de prevenção da SRAG devem priorizar idosos e crianças, com fortalecimento da vacinação, vigilância de sintomas respiratórios, orientação familiar e organização da rede assistencial nos períodos de maior risco.

A presença relevante de casos na população adulta também merece destaque. Embora idosos e crianças sejam os grupos mais vulneráveis, a SRAG não se restringiu a esses segmentos. A participação da população adulta pode estar associada à exposição ocupacional, maior circulação social, contato frequente com ambientes coletivos, exposição a poluentes em deslocamentos urbanos e presença de comorbidades não diagnosticadas. Esse resultado sugere que as estratégias preventivas não devem ser limitadas apenas aos grupos prioritários clássicos, mas devem considerar a população como um todo, especialmente em contextos de elevada exposição ambiental.

Em relação à raça/cor, os resultados indicaram maior número absoluto de registros entre indivíduos brancos e pardos. Contudo, essa variável deve ser interpretada com cautela, pois os registros classificados como ignorados ou não informados apresentaram participação

expressiva. Essa incompletude limita a análise de desigualdades raciais e pode mascarar diferenças reais de risco, acesso aos serviços, gravidade clínica e desfecho. A elevada proporção de dados incompletos nessa variável evidencia fragilidade importante dos sistemas de informação em saúde e reforça a necessidade de qualificação do preenchimento dos campos sociodemográficos, especialmente em estudos que buscam compreender vulnerabilidades sociais e iniquidades em saúde.

No componente ambiental, o MP10 apresentou associação positiva com os casos de SRAG em concentrações mais elevadas. Na concentração de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o risco relativo acumulado foi de 1,044 (IC95%: 1,011–1,079), correspondendo a aumento de 4,4% em relação ao valor de referência. Esse resultado é compatível com estudos epidemiológicos que identificaram aumento de agravos respiratórios associado à exposição ao material particulado inalável, incluindo os trabalhos discutidos por Nardocci et al. (2013) e Guarieiro et al. (2011). A direção da associação observada é biologicamente plausível, considerando que o material particulado presente em áreas urbanas e portuárias pode ter origem no tráfego veicular, na ressuspensão de poeira, na movimentação de cargas e em atividades industriais. A exposição a essas partículas pode desencadear inflamação, estresse oxidativo e comprometimento das defesas respiratórias, contribuindo para o agravamento de condições preexistentes e para o aumento da demanda por atendimento hospitalar (Coker et al., 2022; Guo et al., 2023; Requia et al., 2023c; Cetesb, 2024a).

Para o MP2,5, a associação tornou-se estatisticamente significativa a partir de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, faixa em que o risco relativo foi de 1,025 (IC95%: 1,002–1,049), com aumento progressivo nas concentrações superiores. O sentido desse resultado também converge com a literatura que atribui maior potencial toxicológico às partículas finas, devido à sua capacidade de alcançar bronquíolos e alvéolos e de desencadear estresse oxidativo e inflamação local e sistêmica (Guarieiro et al., 2011; Nardocci et al., 2013). Embora a direção da associação seja semelhante à descrita nesses estudos, a magnitude observada nesta pesquisa não deve ser comparada diretamente sem considerar diferenças metodológicas, ambientais e populacionais.

A análise por defasagens mostrou que a distribuição temporal dos efeitos não foi uniforme. Para o MP10, as estimativas sugeriram resposta mais imediata, com maior evidência no lag 0, enquanto o MP2,5 apresentou variação ao longo dos dias subsequentes. Esse padrão é coerente com a literatura de séries temporais, segundo a qual os efeitos do material particulado podem ocorrer no mesmo dia da exposição ou manifestar-se nos dias

posteriores. Diferentemente de estudos que encontram associações significativas em vários lags consecutivos, nesta análise parte dos intervalos de confiança incluiu o valor de nulidade, indicando que nem todas as defasagens apresentaram evidência estatística de associação. Portanto, a direção das estimativas sustenta uma possível participação dos poluentes no agravamento respiratório, mas a incerteza estatística impede afirmar um efeito persistente em todo o intervalo de zero a sete dias.

A temperatura do ar apresentou associação não linear com os casos de SRAG. Temperaturas superiores a 30 °C foram acompanhadas por elevação do risco relativo, com maior evidência nas faixas de 35 °C ou mais. Esse achado é compatível com estudos que descrevem a temperatura como moduladora da saúde respiratória, tanto por efeitos fisiológicos diretos quanto por sua influência sobre a dispersão de poluentes e a circulação de agentes infecciosos (Haines et al., 2006; Patz et al., 2005). Contudo, o comportamento foi menos consistente que o observado para os poluentes, e os intervalos de confiança foram mais amplos em algumas faixas, razão pela qual a temperatura deve ser interpretada como variável moduladora, e não como explicação isolada para a ocorrência de SRAG.

A umidade relativa apresentou comportamento não linear. No modelo acumulado, valores entre 15% e 65% apresentaram estimativas abaixo de 1, enquanto associações estatisticamente significativas foram observadas em torno de 70% e 80%. Em 90% e 100%, os intervalos de confiança incluíram o valor 1, demonstrando maior incerteza. Esse comportamento pode estar relacionado aos diferentes mecanismos pelos quais a umidade interfere na saúde respiratória. Valores baixos podem favorecer ressecamento das mucosas e redução da eficiência do transporte mucociliar, enquanto valores elevados podem modificar o comportamento das partículas higroscópicas e favorecer condições ambientais associadas à presença de fungos, ácaros e outros alérgenos (D'Amato et al., 2015; Tang et al., 2021; Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024). Os resultados, entretanto, não indicam uma relação linear simples, demonstrando que o efeito depende da faixa de umidade e das condições ambientais analisadas. Em conjunto, os resultados demonstram maior consistência para MP10 e MP2,5, enquanto temperatura e umidade apresentaram padrões mais variáveis e maior incerteza em determinadas faixas e defasagens. Essa diferença é relevante para a interpretação: os poluentes mostraram associações positivas em concentrações elevadas, ao passo que as variáveis meteorológicas atuaram principalmente como moduladoras do risco. Os achados confirmam parcialmente a literatura consultada, mas também evidenciam particularidades da

Baixada Santista, região costeira, urbana e portuária, nas quais a exposição ambiental resulta da interação entre fontes emissoras, condições meteorológicas, circulação viral e vulnerabilidades populacionais.

A interpretação conjunta dos poluentes e das variáveis climáticas sugere que a ocorrência de SRAG na Baixada Santista não pode ser explicada por um único fator isolado. Ao contrário, os achados indicam que poluição atmosférica, temperatura e umidade podem atuar de forma articulada, criando condições ambientais mais favoráveis ao agravamento respiratório. Em determinados períodos, a coexistência de concentrações mais elevadas de material particulado, condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes e alterações de temperatura e umidade pode contribuir para maior vulnerabilidade respiratória. Essas exposições podem afetar a dispersão das partículas, o funcionamento das defesas das vias aéreas e a resposta de pessoas com doenças respiratórias preexistentes, embora os resultados deste estudo não permitam identificar o efeito isolado de cada mecanismo (Seinfeld; Pandis, 2016; Coker et al., 2022; Guo et al., 2023; Zhai et al., 2023; Yang et al., 2024).

Os intervalos de confiança amplos observados em parte dos modelos indicam maior incerteza estatística em torno das estimativas. Essa amplitude pode estar relacionada à variabilidade diária dos casos, à heterogeneidade entre municípios, à presença de lacunas nas séries ambientais, à agregação dos dados em nível regional e à influência de fatores não mensurados, como circulação viral, cobertura vacinal, mobilidade populacional, testagem, acesso aos serviços de saúde e mudanças nas práticas de notificação. Portanto, os resultados devem ser interpretados com prudência, evitando afirmações causalistas. Ainda assim, intervalos amplos não anulam a relevância dos achados, mas indicam a necessidade de reconhecer a incerteza e de aprofundar futuras investigações.

As escolhas analíticas adotadas também devem ser consideradas na interpretação dos achados. A utilização de uma janela máxima de defasagem de sete dias permitiu investigar efeitos agudos das exposições ambientais, contemplando tanto respostas imediatas quanto manifestações nos dias subsequentes. As funções polinomiais de terceiro grau possibilitaram representar relações não lineares entre as exposições e o desfecho, enquanto o controle da tendência temporal e da sazonalidade por meio de spline natural, com 60 graus de liberdade ao longo dos dez anos, buscou reduzir a influência de padrões de longo prazo. A razão de dispersão de Pearson foi de 45,98, indicando superdispersão acentuada e justificando a

utilização da distribuição quasi-Poisson em substituição ao modelo de Poisson convencional. Essa escolha permitiu corrigir os erros-padrão e produzir intervalos de confiança mais compatíveis com a variabilidade observada nas contagens diárias.

A análise por casos completos também influenciou o número de observações disponíveis em cada modelo. O período total compreendeu 3.653 dias, dos quais 3.550 apresentaram dados de MP10, 3.555 de MP2,5 e 3.604 de temperatura e umidade relativa. A exclusão dos dias sem informações ambientais evitou a introdução de valores imputados sem validação específica, porém pode ter reduzido a precisão das estimativas e contribuído para o alargamento de alguns intervalos de confiança. Além disso, como os modelos exigiram disponibilidade simultânea do desfecho, da exposição e das covariáveis de ajuste, o número efetivamente analisado pode ter variado entre as diferentes exposições.

MP10 e MP2,5 compartilham fontes emissoras e podem apresentar comportamento temporal correlacionado. Por essa razão, a avaliação da colinearidade e a comparação entre modelos de poluente único e de múltiplos poluentes foram relevantes para evitar instabilidade nas estimativas. Os resultados principais foram interpretados separadamente para cada poluente, o que permitiu examinar sua associação com o desfecho sem atribuir indevidamente a um deles efeitos potencialmente compartilhados. Entretanto, a ausência de informações sobre fontes específicas de emissão e composição química das partículas limita uma interpretação mais detalhada dos mecanismos envolvidos.

O período pandêmico representa elemento central para a interpretação da série histórica. A pandemia de COVID-19 modificou profundamente a dinâmica das doenças respiratórias, os padrões de notificação, a procura por serviços de saúde, a circulação de vírus respiratórios e o comportamento da população. Medidas como uso de máscaras, distanciamento social, fechamento de escolas, redução da mobilidade e ampliação da vigilância para quadros respiratórios graves podem ter alterado tanto a ocorrência real de casos quanto sua capacidade de registro. Dessa forma, os anos de maior impacto pandêmico devem ser compreendidos como período atípico dentro da série temporal.

No período pós-pandemia, a retomada da circulação populacional, a flexibilização das medidas preventivas, a reorganização dos serviços de saúde e as mudanças na imunidade coletiva podem ter contribuído para novas oscilações nos casos de SRAG. Esse comportamento reforça a importância de manter sistemas de vigilância sensíveis e integrados, capazes de acompanhar simultaneamente a circulação de doenças respiratórias, a qualidade do

ar e as condições climáticas. A vigilância isolada dos casos, sem considerar o contexto ambiental, pode limitar a capacidade de antecipar períodos de maior risco.

Do ponto de vista da Saúde Coletiva, os achados desta dissertação têm implicações importantes. A Baixada Santista apresenta características socioambientais que tornam a integração entre vigilância epidemiológica e vigilância ambiental especialmente necessária. A presença do maior complexo portuário do país, a intensa circulação veicular, as áreas industriais, a elevada densidade urbana em determinados municípios e as desigualdades territoriais compõem um cenário de exposição múltipla. Nesse contexto, o monitoramento de MP10, MP2,5, temperatura e umidade podem subsidiar alertas precoces, campanhas preventivas, organização de leitos, reforço da atenção básica e proteção de grupos vulneráveis em períodos de maior risco.

A análise realizada também aponta para a necessidade de fortalecer políticas públicas intersetoriais. O enfrentamento da SRAG não depende apenas de ações assistenciais ou hospitalares, mas também de medidas de controle da poluição atmosférica, planejamento urbano, mobilidade sustentável, fiscalização ambiental, melhoria da qualidade dos dados epidemiológicos, ampliação da cobertura vacinal e educação em saúde. A articulação entre saúde, meio ambiente, transporte, planejamento urbano e vigilância sanitária é fundamental para reduzir a carga de doenças respiratórias graves em regiões urbanas e costeiras.

Dessa forma, os resultados deste estudo não permitem afirmar causalidade individual entre exposição ambiental e ocorrência de SRAG, em razão do delineamento ecológico e do uso de dados agregados. No entanto, os achados oferecem evidências consistentes de que as variáveis ambientais e climáticas participam da dinâmica dos agravos respiratórios na Baixada Santista, especialmente como fatores capazes de modular vulnerabilidades e agravar quadros respiratórios em populações expostas. Essa interpretação é compatível com o objetivo do estudo e contribui para ampliar a compreensão da relação entre ambiente, clima, poluição atmosférica e saúde respiratória.

Em síntese, a discussão dos resultados indica que a SRAG na Baixada Santista deve ser compreendida como fenômeno complexo, influenciado por fatores epidemiológicos, ambientais, climáticos, territoriais e assistenciais. Os poluentes atmosféricos, principalmente MP10 e MP2,5, apresentaram maior relevância na interpretação dos achados, enquanto temperatura e umidade atuaram como variáveis moduladoras do risco respiratório. A identificação desses padrões reforça a importância de estratégias integradas de vigilância e

prevenção, especialmente em territórios marcados por intensa urbanização, atividade portuária e desigualdades socioambientais.

Portanto, os achados desta dissertação reforçam que a ocorrência de SRAG na Baixada Santista está inserida em uma dinâmica complexa, na qual os fatores ambientais, climáticos, territoriais e assistenciais interagem com vulnerabilidades individuais e coletivas. Embora o delineamento ecológico não permita estabelecer causalidade individual, os resultados sugerem que a exposição ao material particulado e as variações de temperatura e umidade podem atuar como fatores moduladores do agravamento respiratório. Assim, o estudo contribui para o campo da Saúde Coletiva ao evidenciar a necessidade de integrar vigilância epidemiológica, monitoramento da qualidade do ar, adaptação climática e planejamento da rede assistencial para reduzir o impacto das doenças respiratórias graves na região.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Por se tratar de um estudo ecológico longitudinal com uso de dados secundários agregados, os resultados devem ser interpretados em nível populacional, não sendo possível inferir risco individual. Dessa forma, existe possibilidade de falácia ecológica, uma vez que as associações observadas para a população da Baixada Santista não necessariamente refletem a exposição ou o risco individual de cada residente.

Outra limitação refere-se à estimativa da exposição ambiental. Os dados de MP10, MP2,5, temperatura e umidade relativa foram obtidos predominantemente em estações fixas da CETESB/QUALAR localizadas no município de Santos e utilizados como indicador regional para os nove municípios. Essa estratégia pode ter provocado erro de classificação da exposição, pois não representa integralmente a variabilidade espacial decorrente das diferenças de urbanização, tráfego veicular, atividade portuária e industrial, distância em relação às estações e características territoriais de cada município. As medições ambientais também não permitem mensurar a exposição individual, os deslocamentos cotidianos, o tempo de permanência em ambientes internos ou as diferenças pessoais de contato com os poluentes. Consequentemente, os valores atribuídos à população podem diferir da exposição efetivamente experimentada por cada indivíduo, sobretudo nos municípios mais distantes de Santos.

Também devem ser consideradas possíveis limitações das bases epidemiológicas, como subnotificação, atrasos de registro, mudanças na codificação diagnóstica, alterações de

testagem e impacto da pandemia de COVID-19 sobre os padrões de atendimento, internação e vigilância. Além disso, variáveis como cobertura vacinal, circulação viral específica, mobilidade populacional e condições socioeconômicas não foram incorporadas integralmente aos modelos, podendo haver confundimento residual.

Apesar dessas limitações, o estudo contribui para a compreensão da relação entre ambiente, clima, poluição atmosférica e casos de SRAG em uma região urbana, costeira e portuária, oferecendo subsídios para vigilância epidemiológica, vigilância ambiental e planejamento em saúde coletiva.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a associação entre as internações hospitalares por causas respiratórias selecionadas e as variáveis ambientais e meteorológicas na Baixada Santista. A utilização de séries temporais e de modelos não lineares com defasagem distribuída possibilitou caracterizar o perfil epidemiológico das internações, descrever o comportamento dos poluentes atmosféricos e das condições meteorológicas e avaliar a ocorrência de efeitos acumulados e defasados ao longo do período analisado.

Em relação ao primeiro objetivo específico, observou-se predomínio de casos no sexo masculino e maior ocorrência no município de Santos, seguido por São Vicente, Guarujá e Praia Grande. Quanto à faixa etária, houve maior participação de pessoas idosas, seguida por adultos e crianças pequenas, evidenciando a presença expressiva de grupos reconhecidamente vulneráveis às complicações respiratórias. A distribuição anual apresentou oscilações, demonstrando que a ocorrência das internações não permaneceu constante ao longo da série histórica.

Quanto ao segundo objetivo específico, verificou-se ampla variabilidade diária e anual nas concentrações de MP10 e MP2,5, bem como na temperatura do ar e na umidade relativa. As séries temporais demonstraram oscilações, diferenças entre os anos e ocorrência de valores extremos, caracterizando a variabilidade ambiental e meteorológica da Baixada Santista durante o período estudado.

Em resposta ao terceiro objetivo específico, foram identificadas associações não lineares entre as variáveis ambientais e meteorológicas e a ocorrência diária das internações respiratórias selecionadas. Concentrações mais elevadas de MP10 e MP2,5 estiveram

associadas ao aumento da ocorrência das internações, com intensificação das associações à medida que as concentrações dos poluentes aumentaram.

A temperatura do ar também apresentou relação não linear com o desfecho analisado, sendo as temperaturas mais elevadas associadas ao aumento da ocorrência das internações respiratórias. A umidade relativa apresentou comportamento igualmente não linear, porém com maior variabilidade e incerteza nas associações observadas.

No que se refere ao quarto objetivo específico, a análise demonstrou que os efeitos das exposições ambientais não se restringiram ao dia em que ocorreram. Foram identificados efeitos acumulados e defasados, cujo comportamento temporal variou conforme o poluente ou a variável meteorológica analisada. Para o MP10 e o MP2,5, as associações foram mais evidentes quando considerados os efeitos acumulados, sugerindo que a exposição ao material particulado pode repercutir sobre a saúde respiratória nos dias posteriores. Os efeitos da temperatura e da umidade também variaram conforme a intensidade da exposição e o período de defasagem.

Em resposta ao quinto objetivo específico, os resultados demonstraram que a integração entre dados epidemiológicos, ambientais e meteorológicos pode contribuir para a vigilância em saúde ambiental e para o planejamento regional da assistência. O acompanhamento conjunto dos poluentes atmosféricos, das condições meteorológicas e dos indicadores respiratórios pode auxiliar na identificação antecipada de períodos potencialmente desfavoráveis à saúde, subsidiando ações preventivas, alertas epidemiológicos e a preparação dos serviços para possíveis aumentos da demanda assistencial.

Conclui-se, portanto, que concentrações mais elevadas de MP10 e MP2,5 e temperaturas mais altas estiveram associadas ao aumento da ocorrência das internações respiratórias selecionadas na Baixada Santista. A umidade relativa também apresentou comportamento não linear, embora com maior variabilidade e incerteza. Os achados sugerem que as condições ambientais e meteorológicas podem atuar como fatores moduladores da ocorrência de agravos respiratórios, sem que se possa estabelecer relação causal no nível individual.

A partir das conclusões apresentadas, os resultados desta pesquisa devem ser compreendidos considerando a natureza complexa e multifatorial dos agravos respiratórios. As associações identificadas não representam relações causais no nível individual, mas indicam que as condições ambientais e meteorológicas podem participar da dinâmica das

internações respiratórias na Baixada Santista, em interação com fatores epidemiológicos, sociais, territoriais e assistenciais.

Os achados devem ser interpretados com cautela, considerando que este estudo apresenta delineamento ecológico e utiliza dados secundários e agregados. Dessa forma, as associações observadas representam o comportamento da população estudada e não permitem afirmar que indivíduos especificamente expostos às concentrações analisadas desenvolveram agravos respiratórios em decorrência direta dessa exposição.

Outra limitação refere-se à utilização dos dados provenientes de estações fixas de monitoramento localizadas no município de Santos como indicador regional da exposição ambiental para os nove municípios da Baixada Santista. Embora essa estratégia tenha permitido a realização de uma análise regional com uma série histórica de dez anos, as medições podem não representar integralmente as diferenças ambientais existentes entre os municípios, especialmente em razão das distintas características urbanas, industriais, portuárias, meteorológicas e territoriais.

Também devem ser consideradas possíveis limitações relacionadas às bases epidemiológicas, como subnotificação, atrasos no registro, alterações nos critérios de testagem e codificação diagnóstica e mudanças nos padrões de atendimento e internação durante a pandemia de COVID-19. Além disso, fatores como circulação viral específica, cobertura vacinal, comorbidades, mobilidade populacional, condições de moradia e desigualdades socioeconômicas não foram integralmente incorporados aos modelos estatísticos e podem ter influenciado os resultados.

Apesar dessas limitações, o estudo apresenta relevância para a Saúde Coletiva ao ampliar o conhecimento sobre a relação entre poluição atmosférica, condições meteorológicas e saúde respiratória em uma região caracterizada por intensa urbanização, atividade portuária, circulação veicular, presença industrial e elevada densidade populacional. A análise conjunta dos indicadores ambientais e epidemiológicos possibilitou identificar padrões que podem contribuir para a compreensão de períodos de maior vulnerabilidade respiratória na região.

Os resultados reforçam a importância do fortalecimento da vigilância integrada, por meio da articulação entre vigilância epidemiológica, vigilância ambiental, serviços assistenciais, órgãos de monitoramento da qualidade do ar e administrações municipais. O acompanhamento contínuo das concentrações de MP10 e MP2,5, da temperatura, da umidade

relativa e dos indicadores de saúde pode auxiliar na identificação antecipada de situações potencialmente desfavoráveis à saúde respiratória.

A utilização dessas informações pode subsidiar a elaboração de alertas ambientais e epidemiológicos, a orientação da população e a intensificação de medidas preventivas, especialmente entre grupos mais vulneráveis, como crianças pequenas, pessoas idosas, indivíduos com doenças crônicas e pessoas imunocomprometidas. Também pode contribuir para o planejamento da rede assistencial, permitindo a organização antecipada de equipes, leitos, medicamentos, oxigênio e demais recursos necessários diante de possíveis aumentos da demanda por atendimento respiratório.

Recomenda-se que estudos futuros incorporem dados provenientes de um número maior de estações de monitoramento distribuídas entre os municípios da Baixada Santista, possibilitando melhor avaliação da variabilidade espacial das exposições. Também são recomendadas análises estratificadas por faixa etária, sexo, município, período do ano e agente etiológico, bem como a inclusão de informações sobre vacinação, circulação viral, condições socioeconômicas, precipitação, outros poluentes atmosféricos e características territoriais.

Por fim, esta pesquisa reforça que a prevenção dos agravos respiratórios não deve se limitar ao acompanhamento dos agentes infecciosos, mas deve incluir o monitoramento das condições ambientais e climáticas. A integração entre saúde, meio ambiente e planejamento urbano pode contribuir para a formulação de políticas públicas mais efetivas, para a redução das desigualdades socioambientais e para a proteção da saúde respiratória da população da Baixada Santista.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, D. A. R. et al. **Hospital admission and mortality rates for non-COVID-19 respiratory diseases in Brazil's public health system during the COVID-19 pandemic: a nationwide observational study.** *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 49, n. 1, e20220093, 2023. DOI: 10.36416/1806-3756/e20220093.

ALVARES JUNIOR, C. A. et al. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana.** *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, p. 55-70, 2002.

ALVIM, C. G. **Formação de ozônio troposférico na Região Metropolitana de São Paulo: modelagem e análise de sensibilidade.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. **Updated guidance for palivizumab prophylaxis among infants and young children at increased risk of hospitalization for respiratory syncytial virus infection.** *Pediatrics*, v. 134, n. 2, p. 415-420, 2014.

AZAR, K. M. J.; LANDRY, K. J. **The impact of influenza on human health.** *Current Allergy and Asthma Reports*, v. 18, n. 12, p. 72, 2018.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BERTONCELLO, C. et al. **Strategies to improve influenza vaccination coverage in Brazil: lessons from behavioral sciences.** *Cadernos de Saúde Pública*, v. 38, n. 5, e00225721, 2022.

- BIERRENBACH, A. L. et al. **Effect of 10-valent pneumococcal conjugate vaccine on pneumonia hospitalisations in Brazil: a nationwide population-based study.** *The Lancet Global Health*, v. 6, n. 6, p. e665-e673, 2018.
- BORCHERS, A. T. et al. **Respiratory syncytial virus.** *Autoimmunity Reviews*, v. 12, n. 3, p. 473-479, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Calendário Nacional de Vacinação.** Brasília: Ministério da Saúde, 2021.
- BUKASOV, S. et al. **Influenza virus: structure, replication, and antigenic variation.** *Viruses*, v. 13, n. 8, p. 1543, 2021.
- BUTANTAN. **Boletim Epidemiológico de Influenza.** São Paulo: Instituto Butantan, 2024.
- BUTANTAN. **Relatório de Cobertura Vacinal da Campanha Nacional de Vacinação contra a Influenza 2023.** São Paulo: Instituto Butantan, 2024.
- CARVALHO, L. R. et al. **Long-term outcomes and rehabilitation after severe acute respiratory syndrome: a systematic review.** *Critical Care*, v. 26, n. 1, p. 87, 2022.
- CASTRO, L. M. et al. Caracterização química do material particulado atmosférico em São Paulo. *Química Nova*, v. 26, n. 6, p. 820-827, 2003.
- CDC (CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION). **Estimated influenza illnesses, medical visits, hospitalizations, and deaths in the United States, 2019–2020 influenza season.** Atlanta: CDC, 2020.
- CDC (CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION). **Seasonal influenza vaccine effectiveness.** Atlanta: CDC, 2021.
- CEPA. **Relatório de Monitoramento Climático da Baixada Santista.** Santos: Companhia de Engenharia de Produção Ambiental, 2025.
- CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Estações de qualidade do ar localização e parâmetros analisados pelas estações operadas pela CETESB: referência 2023. São Paulo: CETESB, 2024a.
- CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Dados abertos: **monitoramento da qualidade do ar. São Paulo:** CETESB, 2024b.
- CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. QUALAR: **Sistema de Informações da Qualidade do Ar.** São Paulo: CETESB, 2026.
- CETESB. **QUALAR – Sistema de Informações da Qualidade do Ar.** São Paulo, [ano]. Disponível em: <endereço eletrônico>. Acesso em: 17 dez. 2025.
- COKER, E. S. et al. **Association between PM2.5 and respiratory hospitalization in Rio Branco, Brazil: demonstrating the potential of low-cost air quality sensors for epidemiologic research.** *Environmental Research*, v. 214, 113738, 2022. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113738.
- DAMILANO, R. L. C. **Inversões térmicas e poluição atmosférica na Região Metropolitana de Porto Alegre.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 1, p. 55-64, 2006.

- DIEME, C. A. **O sistema respiratório como interface entre o organismo e o meio ambiente.** *Revista de Saúde Pública*, v. 45, n. 2, p. 345-352, 2011.
- DOMÍNGUEZ-ROMERO, A. et al. **Air pollution and respiratory infections during the COVID-19 pandemic.** *Environmental Research*, v. 191, p. 110152, 2020.
- DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, A. et al. **Advances in respiratory virus vaccines and their impact on public health.** *Expert Review of Vaccines*, v. 22, n. 1, p. 1-15, 2023.
- DORMANN, C. F. et al. **Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance.** *Ecography*, v. 36, n. 1, p. 27–46, 2013. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x.
- EBERHARDT, C. S. et al. **Burden of respiratory syncytial virus infection in young children.** *New England Journal of Medicine*, v. 382, n. 21, p. 2022-2030, 2020.
- ERBELDING, E. J. et al. **A universal influenza vaccine: the strategic plan for the National Institute of Allergy and Infectious Diseases.** *The Journal of Infectious Diseases*, v. 218, n. 3, p. 347-354, 2018.
- EVERARD, M. L. **Acute bronchiolitis.** *British Medical Journal*, v. 342, p. d171, 2011.
- FALSEY, A. R. et al. **Respiratory syncytial virus infection in elderly and high-risk adults.** *New England Journal of Medicine*, v. 352, n. 17, p. 1749-1759, 2002.
- FENDRICK, A. M. et al. **The economic burden of non-influenza-related viral respiratory tract infection in the United States.** *Archives of Internal Medicine*, v. 163, n. 4, p. 487-494, 2003.
- FERREIRA, L. C.; SODRÉ, E.; ALMEIDA, R. M. **Poluição atmosférica por material particulado: impactos na saúde humana.** *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 35, p. 120-135, 2018.
- FIOCRUZ. **Boletim Epidemiológico Especial: Síndrome Respiratória Aguda Grave.** Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2021.
- FIOCRUZ. **Vacinação contra a gripe: importância e desafios.** Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2022.
- FOX, J.; MONETTE, G. **Generalized collinearity diagnostics.** *Journal of the American Statistical Association*, v. 87, n. 417, p. 178–183, 1992. DOI: 10.1080/01621459.1992.10475190.
- FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo do Parque Estadual Restinga de Bertiooga.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2024.
- GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. **Distributed lag non-linear models.** *Statistics in medicine*, v. 29, n. 21, p. 2224–2234, 2010. DOI: 10.1002/sim.3940.
- GASPARRINI, A. **Distributed lag linear and non-linear models in R: the package dlnm.** *Journal of Statistical Software*, v. 43, n. 8, p. 1–20, 2011. DOI: 10.18637/jss.v043.i08.
- GODOY, A. R. L.; SILVA, A. E. A. **Short-term relation between air pollutants and hospitalizations for respiratory diseases: analysis by temporal association rules.** *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, 854, 2023. DOI: 10.1007/s10661-023-11471-8.
- GONZALEZ, P. A. et al. **Climate variability and respiratory disease outbreaks in tropical regions.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 6, p. 1234, 2018.

- GRIJPINK, J. W. et al. **Viral and bacterial co-infections in hospitalized children with bronchiolitis.** *European Journal of Pediatrics*, v. 166, n. 12, p. 1243-1248, 2007.
- GROHSGOPF, L. A. et al. **Prevention and control of seasonal influenza with vaccines: recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices – United States, 2023–24 influenza season.** *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, v. 72, n. 2, p. 1-25, 2023.
- GROOTHUIS, J. R. et al. **Palivizumab, a humanized respiratory syncytial virus monoclonal antibody, reduces hospitalization from respiratory syncytial virus infection in high-risk infants.** *Pediatrics*, v. 112, n. 3, p. 642-648, 2003.
- GUO, Y. et al. A causal modelling framework for short-term effects of PM2.5 on hospitalisations: a nationwide time series study in Brazil. *Environment International*, v. 171, 107688, 2023. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107688.
- HABITABILITY. *Relatório de Sustentabilidade e Qualidade de Vida de Cubatão*. São Paulo: Habitability Institute, 2025.
- HALL, C. B. et al. **Respiratory syncytial virus-associated hospitalizations among children less than 24 months of age.** *Pediatrics*, v. 124, n. 2, p. e235-e241, 2009.
- HAMMITT, L. L. et al. **Nirsevimab for prevention of RSV in healthy late-preterm and term infants.** *New England Journal of Medicine*, v. 386, n. 9, p. 837-846, 2022.
- HASEGAWA, K. et al. **Nasopharyngeal airway microbiota in infants with acute bronchiolitis.** *Annals of the American Thoracic Society*, v. 10, n. 6, p. 583-588, 2013.
- HUANG, S. G. et al. **Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China.** *JAMA*, v. 323, n. 11, p. 1061-1069, 2020.
- IBGE. *Censo Demográfico 2022*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024.
- IBM CORP. *IBM SPSS Statistics for Windows, version 26.0*. Armonk, NY: IBM Corp., 2019.
- IMPACT-RSV STUDY GROUP. **Palivizumab, a humanized respiratory syncytial virus monoclonal antibody, reduces hospitalization from respiratory syncytial virus infection in high-risk infants.** *Pediatrics*, v. 102, n. 3, p. 531-537, 1998.
- JACOBSON, M. Z. *Fundamentals of atmospheric modeling*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- JAIN, S. et al. **Community-acquired pneumonia requiring hospitalization among U.S. adults.** *New England Journal of Medicine*, v. 373, n. 5, p. 415-427, 2015.
- JARTTI, T. et al. **Role of viruses in bronchiolitis.** *Current Opinion in Pediatrics*, v. 23, n. 3, p. 298-303, 2011.
- JOHNSON, N. P. A. S.; MUELLER, J. **Updating the accounts: global mortality of the 1918–1920 “Spanish” influenza pandemic.** *Bulletin of the History of Medicine*, v. 76, n. 1, p. 105-115, 2002.
- KHAN, A. et al. **Global burden of acute lower respiratory infections due to respiratory syncytial virus in young children: a systematic review and meta-analysis.** *The Lancet*, v. 393, n. 10190, p. 2091-2100, 2020.

- KLEIN, E. Y. et al. **Antibiotic use in the United States: progress and opportunities.** *Health Affairs*, v. 39, n. 5, p. 835-843, 2020.
- KRAMMER, F. et al. **Influenza.** *Nature Reviews Disease Primers*, v. 4, n. 1, p. 3, 2018.
- LAMBERT, S. B. et al. **Laboratory testing for respiratory syncytial virus: a comparison of methods.** *Journal of Clinical Virology*, v. 61, n. 3, p. 368-373, 2014.
- LARSON, H. J. et al. **The state of vaccine confidence 2016: global insights through a 10-year lens.** *The Lancet*, v. 388, n. 10054, p. 1891-1897, 2016.
- LEVIN, R. et al. **Risk factors for intensive care unit admission in infants with bronchiolitis.** *Pediatrics*, v. 113, n. 4, p. e305-e310, 2004.
- LI, J. et al. **Fine and coarse particulate air pollution and hospital admissions for a wide range of respiratory diseases: a nationwide case-crossover study.** 2023.
- LI, W. et al. **Treatment of bronchiolitis: a review of the evidence.** *Current Opinion in Pediatrics*, v. 33, n. 3, p. 319-325, 2021.
- LIPSITCH, M. et al. **Observations on the impact of climate change on influenza.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, n. 50, p. 21401-21402, 2010.
- LIPSITCH, M.; VIBOUD, C. **Influenza seasonality: lifting the fog.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 10, p. 3645-3646, 2009.
- LITTLE, R. J. A.; RUBIN, D. B. **Statistical analysis with missing data.** 3. ed. Hoboken: Wiley, 2019.
- LOOSMORE, G. A.; CEDERWALL, R. T. **Precipitation scavenging of atmospheric aerosols for emergency response applications: testing an updated model with new real-time data.** *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 7, p. 993-1003, 2004. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2003.10.055. Disponível em: Acesso em: 27 fev. 2026.
- MAHONY, J. B.; PETRICH, A.; SMIEJA, M. **Molecular diagnosis of respiratory virus infections.** *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, v. 48, n. 5-6, p. 217-249, 2011.
- MALLAH, S. et al. **The global economic impact of the COVID-19 pandemic.** *Journal of Public Health*, v. 43, n. 4, p. 653-657, 2021.
- MATTHAY, M. A. et al. **Acute respiratory distress syndrome.** *Nature Reviews Disease Primers*, v. 5, n. 1, p. 18, 2020.
- MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized linear models.** 2. ed. London: Chapman and Hall, 1989.
- MEHTA, P. et al. **COVID-19: consider cytokine storm syndromes and immunosuppression.** *The Lancet*, v. 395, n. 10229, p. 1033-1034, 2020.
- MELLO, W. A. et al. **Influência do clima na incidência de síndrome respiratória aguda grave na Baixada Santista.** *Revista de Saúde Pública*, v. 53, p. 45, 2019.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluição do Ar e Saúde Humana.** Brasília: MMA, 2020.
- MOLINARI, N. A. et al. **The annual impact of seasonal influenza in the US: measuring disease burden and costs.** *Vaccine*, v. 25, n. 27, p. 5086-5096, 2007.

MONTEIRO, C. A. **A influência da radiação solar na dinâmica atmosférica urbana.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 4, p. 567-578, 2011.

MORAWSKA, L. et al. **How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?** *Environment International*, v. 142, p. 105832, 2020.

MORAND, S. et al. **Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever.** *BMC Public Health*, v. 20, n. 1, p. 1200, 2020.

MUSHER, D. M.; THORNER, A. R. **Pneumococcal disease in adults.** *New England Journal of Medicine*, v. 371, n. 22, p. 2108-2119, 2014.

NAIR, H. et al. **Global burden of acute lower respiratory infections due to respiratory syncytial virus in young children: a systematic review and meta-analysis.** *The Lancet*, v. 375, n. 9730, p. 1545-1555, 2013.

NARDUCCI, A. C. et al. **Material particulado e efeitos na saúde: estado da arte.** *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 16, n. 4, p. 795-806, 2013.

NASCIMENTO-CARVALHO, C. M. et al. **Seasonality of respiratory syncytial virus in Brazil: a systematic review.** *Jornal de Pediatria*, v. 86, n. 4, p. 277-283, 2010.

OLIVEIRA, M. L. **Estimativa de emissões evaporativas em tanques de armazenamento de combustíveis.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

O'LENICK, C. R. et al. **Impact of heat on respiratory hospitalizations among older adults in 120 large U.S. urban areas.** *Annals of the American Thoracic Society*, v. 22, n. 3, p. 367–377, 2025. DOI: 10.1513/AnnalsATS.202405-470OC.

OLSEN, B. et al. **Global patterns of influenza A virus in wild birds.** *Science*, v. 312, n. 5772, p. 384-388, 2006.

OPAS (ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE). **Vacinação contra a Influenza: guia técnico.** Washington: OPAS, 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). [Título do relatório/dash/estimativa usada]. **Genebra:** OMS, 2022. Disponível em: <endereço eletrônico>. Acesso em: 17 fev. 2026.

ORLANDO, K. M. P. **Camada limite planetária: conceitos e aplicações.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 1, p. 85-94, 2008.

PAHO (PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION). **COVID-19: Health System Response Monitor.** Washington: PAHO, 2021.

PATZ, J. A. et al. **Impact of regional climate change on human health.** *Nature*, v. 438, n. 7066, p. 310-317, 2005.

PELTOLA, V. et al. **Respiratory picornaviruses and respiratory syncytial virus as causative agents of acute expiratory wheezing in children.** *Emerging Infectious Diseases*, v. 12, n. 5, p. 760-765, 2006.

PETERANDERL, C.; HEROLD, S.; SCHMOLDT, C. U. **The pathophysiology of influenza.** *Critical Care*, v. 20, n. 1, p. 258, 2016.

- PICA, N.; BOUVIER, N. M. **Environmental factors affecting the transmission of respiratory viruses.** *Current Opinion in Virology*, v. 2, n. 3, p. 258-266, 2012.
- PIEDIMONTE, G.; KHAN-CHEEMA, A. **Risk factors for severity of respiratory syncytial virus bronchiolitis.** *Expert Review of Respiratory Medicine*, v. 13, n. 3, p. 223-233, 2019.
- PLOTKIN, S. History of vaccination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 117, n. 17, p. 9195-9201, 2020.
- PREFEITURA DE GUARUJÁ. **Relatório Anual de Saúde 2024.** Guarujá: Secretaria Municipal de Saúde, 2024.
- PREFEITURA DE ITANHAÉM. **Plano Municipal de Saúde 2025-2028.** Itanhaém: Secretaria Municipal de Saúde, 2025.
- PREFEITURA DE PRAIA GRANDE. **Boletim Epidemiológico Municipal.** Praia Grande: Secretaria Municipal de Saúde, 2024.
- PREFEITURA DE SÃO VICENTE. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental.** São Vicente: Prefeitura Municipal, 2025.
- RAJPURKAR, P. et al. **AI in health and medicine.** *Nature Medicine*, v. 28, n. 1, p. 31-38, 2021.
- RALSTON, S. L. et al. **Clinical practice guideline: the diagnosis, management, and prevention of bronchiolitis.** *Pediatrics*, v. 134, n. 5, p. e1474-e1502, 2014.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.
- REQUIA, W. J. et al. **Low ambient temperature and hospitalization for cardiorespiratory diseases in Brazil.** *Environmental Research*, 2023, 116231. DOI: 10.1016/j.envres.2023.116231.
- REQUIA, W. J. et al. **Association of high ambient temperature with daily hospitalization for cardiorespiratory diseases in Brazil: a national time-series study between 2008 and 2018.** 2023.
- REQUIA, W. J. et al. **Short-term air pollution exposure and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in Brazil: a nationwide time-series study between 2008 and 2018.** *Environmental Research*, v. 217, 114794, 2023. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114794.
- REQUIA, W. J. et al. **Association of high ambient temperature with daily hospitalization for cardiorespiratory diseases in Brazil: a national time-series study between 2008 and 2018.** *Environmental Pollution*, v. 331, 121851, 2023. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.121851.
- RICE, K. et al. **Hospitalization rates for bronchiolitis in children under 2 years: a population-based study.** *Pediatrics*, v. 147, n. 4, p. e2020027347, 2021.
- SCHUH, S. et al. **Racemic epinephrine and glucocorticoids for bronchiolitis.** *Cochrane Database of Systematic Reviews*, n. 8, CD006609, 2013.
- SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change.** 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.
- SHAHID, I. et al. **Pathophysiology of bronchiolitis in infants.** *Frontiers in Pediatrics*, v. 8, p. 586, 2020.

STEIN, R. T. et al. **Influence of parental smoking on respiratory symptoms during the first year of life: the Tucson Children's Respiratory Study.** *American Journal of Epidemiology*, v. 149, n. 11, p. 1030-1037, 1999.

TAUBENBERGER, J. K.; MORENS, D. M. 1918 influenza: the mother of all pandemics. *Emerging Infectious Diseases*, v. 12, n. 1, p. 15-22, 2006.

TANG, J. W. et al. **Emerging respiratory viruses and the role of the environment.** *Journal of Hospital Infection*, v. 116, p. 1-7, 2021.

YANG, Y. et al. **Assessing the impact of temperature on acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations: a distributed lag non-linear model.** *BMC Public Health*, v. 24, 2151, 2024. DOI: 10.1186/s12889-024-19677-2.

YAO, Y. et al. **Mask use, risk-mitigation behaviors, and pandemic fatigue during the COVID-19 pandemic in the USA: a longitudinal study.** *The Lancet Public Health*, v. 6, n. 3, p. e173-e183, 2020.

YE, T. et al. **Risk and burden of hospital admissions associated with wildfire-related PM2.5 in Brazil, 2000–15: a nationwide time-series study.** *The Lancet Planetary Health*, v. 5, n. 9, p. e599–e607, 2021. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00173-X.

UNIVERSIDADE DA CALIFÓRNIA. *Climate change and avian influenza: impacts on migratory patterns*. Berkeley: Center for Environmental Research, 2011.

UNIVERSIDADE DE UTRECHT. *Influenza infection and cardiovascular risk: a cohort study*. Utrecht: University Medical Center, 2020.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency (EPA). *Air-Surface Exchange Process Overview*. Washington, DC: U.S. EPA, 2025. Disponível em: Acesso em: 27 fev. 2026.

VER HOEF, J. M.; BOVENG, P. L. **Quasi-Poisson vs. negative binomial regression: how should we model overdispersed count data?** *Ecology*, v. 88, n. 11, p. 2766–2772, 2007. DOI: 10.1890/07-0043.1.

WATTS, N. et al. **The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come.** *The Lancet*, v. 392, n. 10163, p. 2479-2514, 2018.

WEBBY, R. J.; WEBSTER, R. G. **Are we ready for pandemic influenza?** *Science*, v. 302, n. 5650, p. 1519-1522, 2003.

WEBSTER, R. G. et al. **Evolution and ecology of influenza A viruses.** *Microbiological Reviews*, v. 56, n. 1, p. 152-179, 1992.

WELLIVER, R. C. **The immune response to respiratory syncytial virus infection: friend or foe.** *Clinical Microbiology Reviews*, v. 22, n. 2, p. 246-261, 2009.

WICKHAM, H. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. 2. ed. New York: Springer, 2016.

WIKRAMARATNA, P. S.; GUPTA, S. **The effects of strain diversity on the dynamics of influenza epidemics.** *Journal of Theoretical Biology*, v. 256, n. 2, p. 280-288, 2009.

WU, X. et al. **Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States.** *Science Advances*, v. 6, n. 45, p. eabd4049, 2020.

ZHAI, C. et al. **Temperature variability associated with respiratory disease hospitalisations, hospital stays and hospital expenses.** *Public Health*, 2023. DOI: 10.1016/j.puhe.2023.10.013.

ZHANG, Y. et al. **Effect of ambient temperature on hospital admissions for respiratory disease in a semi-arid region.** *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2023. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002962.

ZHOU, F. et al. **Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China:** a retrospective cohort study. *The Lancet*, v. 395, n. 10229, p. 1054-1062, 2020.

ZORC, J. J. et al. **Clinical and radiographic features associated with severe bronchiolitis.** *Pediatrics*, v. 116, n. 4, p. e511-e516, 2005.