

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL**

JOHN WESLEY NASCIMENTO VELOSO

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE RESPIRATÓRIA INFANTIL EM
AMBIENTES URBANOS COSTEIROS: UMA ANÁLISE INTEGRATIVA
COM EVIDÊNCIAS GLOBAIS E NACIONAIS**

**SANTOS
2026**

JOHN WESLEY NASCIMENTO VELOSO

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE RESPIRATÓRIA INFANTIL EM
AMBIENTES URBANOS COSTEIROS: UMA ANÁLISE INTEGRATIVA
COM EVIDÊNCIAS GLOBAIS E NACIONAIS**

Tese apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, sob a orientação do Prof. Dr. Luis Felipe de Almeida Duarte.

SANTOS

2026

614.7
VEL

Veloso, John Wesley Nascimento.

Poluição atmosférica e saúde respiratória infantil em ambientes urbanos costeiros: uma análise integrativa com evidências globais e nacionais / John Wesley Nascimento Veloso.

2026.
121 f.

Orientador: Luiz Felipe de Almeida Duarte.

Tese (Doutorado) - Universidade Santa Cecília, Programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Santos, SP, 2026.

1. Poluição atmosférica. 2. Doenças respiratórias infantis. 3. Asma. 4. Rinite alérgica. 5. Crianças. 6. Saúde pública. I. Duarte, Luiz Felipe de Almeida. II. Poluição atmosférica e saúde respiratória infantil em ambientes urbanos costeiros: uma análise integrativa com evidências globais e nacionais.

Elaborada via formulário eletrônico, desenvolvido pelo Sibl Unisanta, com dados informados pelo autor(a). Bibliotecário responsável: Ana Maria Raciçopi Silveira - CRB/8 –
Bibliotecário responsável: Ana Maria Raciçopi Silveira - CRB/8 - 1890

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Waldeck Veloso Viana e Eliana Nascimento Veloso, por representarem os mais altos valores de amor, dignidade e perseverança. A educação que recebi de vocês foi o alicerce sobre o qual construí cada etapa desta trajetória acadêmica.

À minha família, pelo carinho, pela paciência e pelo apoio incondicional, que me sustentaram nos momentos de maior dedicação e silêncio.

Aos amigos, pela compreensão, pelo estímulo e pela presença constante ao longo desta jornada.

Aos professores, pela generosidade intelectual e pelo compromisso com a ciência e a formação humana

Ao meu Orientador, pela orientação segura, pelo rigor científico e pela confiança depositada neste trabalho. Sua liderança e ética acadêmica foram fundamentais para o amadurecimento deste estudo e para o meu crescimento como pesquisador.

À Universidade Santa Cecília (UNISANTA), instituição que acolheu este doutorado, pela excelência acadêmica e pela oportunidade de desenvolvimento científico.

E, de modo especial, à Universidade de Ribeirão Preto – Campus Guarujá (UNAERP), pela confiança, pelo incentivo e pelo suporte institucional que me permitiram conciliar as atividades docentes com o avanço desta pesquisa. A convivência com colegas e discentes foi fonte constante de inspiração e aprendizado.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta tese, dedico com gratidão e respeito este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela sabedoria e pela serenidade concedidas para enfrentar os desafios que acompanharam esta trajetória.

Aos meus pais, Waldeck Veloso Viana e Eliana Nascimento Veloso, por toda dedicação, amor e exemplo de integridade. Cada conquista aqui expressa é reflexo do esforço e dos valores que me transmitiram.

À minha família, pelo apoio constante, pela compreensão diante das ausências e pela fé inabalável em minha caminhada acadêmica.

Ao meu Orientador, pela orientação criteriosa, pela confiança e pela paciência em todas as etapas deste processo. Sua contribuição científica e humana foi essencial para o amadurecimento desta tese.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Santa Cecília (UNISANTA), pela excelência acadêmica, pela convivência produtiva e pelas valiosas trocas de conhecimento.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições enriquecedoras que aprimoraram este trabalho e ampliaram sua perspectiva científica.

À Universidade Santa Cecília (UNISANTA), pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa e pelo compromisso institucional com a ciência e a inovação.

À Universidade de Ribeirão Preto – Campus Guarujá (UNAERP), instituição na qual exerço a docência, pelos incentivos, pela confiança e pelo ambiente de aprendizado e crescimento mútuo. O apoio recebido de colegas, coordenadores e discentes foi determinante para o equilíbrio entre o ensino e a pesquisa, permitindo que esta jornada se tornasse possível.

Aos amigos e colegas de trajetória, pelo companheirismo e pela solidariedade nos momentos de desafio e superação.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram com palavras, gestos, apoio técnico, moral ou emocional, registro aqui minha mais profunda gratidão e reconhecimento.

“Proteger uma criança é proteger o amanhã, assim como preservar uma árvore é proteger o ar que nos une.”

Dalai Lama

RESUMO

A poluição atmosférica é reconhecida como um dos principais fatores de risco ambientais para o desenvolvimento e agravamento de doenças respiratórias, especialmente em populações pediátricas residentes em áreas urbanas e costeiras, onde a exposição a material particulado e gases poluentes é contínua. A presente tese tem como objetivo analisar de forma integrada a influência dos fatores ambientais, especialmente a poluição atmosférica, sobre a saúde respiratória infantil, abordando condições como rinite e asma, bem como suas complicações e impacto na qualidade de vida. A pesquisa foi estruturada em cinco capítulos: os três primeiros consistem em revisões integrativas da literatura sobre rinite, asma e doenças respiratórias pediátricas; o quarto capítulo apresenta a análise de dados secundários oficiais sobre a qualidade do ar e internações por doenças respiratórias em crianças na cidade de Santos; e o quinto capítulo integra a discussão comparativa entre os achados teóricos e empíricos. O estudo adota uma abordagem metodológica mista, baseada em revisão integrativa e análise de dados ambientais e epidemiológicos, buscando compreender a correlação entre exposição a poluentes e agravos respiratórios infantis. Os resultados indicam que a exposição a partículas inaláveis (MP_{2,5} e PM₁₀), dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃) está associada ao aumento de internações pediátricas por asma e rinite, além de prejuízos significativos à qualidade de vida das crianças acometidas. A tese reforça a necessidade de políticas públicas voltadas ao controle da poluição atmosférica e à prevenção de doenças respiratórias na infância, destacando a importância da integração entre vigilância ambiental, epidemiologia e atenção primária à saúde.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Doenças respiratórias; Asma; Rinite; Crianças; Saúde pública.

ABSTRACT

Air pollution is recognized as one of the main environmental risk factors for the development and worsening of respiratory diseases, especially in pediatric populations residing in urban and coastal areas, where exposure to particulate matter and polluting gases is continuous. This thesis aims to comprehensively analyze the influence of environmental factors, particularly air pollution, on pediatric respiratory health, focusing on conditions such as rhinitis and asthma, as well as their complications and impact on quality of life. The research was structured into five chapters: the first three comprise integrative literature reviews addressing rhinitis, asthma, and pediatric respiratory diseases; the fourth chapter presents an analysis of official secondary data on air quality and hospital admissions for respiratory diseases in children from the city of Santos; and the fifth chapter integrates a comparative discussion between theoretical and empirical findings. The methodological approach combines integrative review and secondary data analysis to explore the correlation between exposure to pollutants and respiratory outcomes in children. The results demonstrate that exposure to inhalable particles (MP_{2,5} and PM₁₀), sulfur dioxide (SO₂), and ozone (O₃) is associated with increased pediatric hospitalizations for asthma and rhinitis, as well as significant impacts on children's quality of life. This thesis underscores the importance of public policies focused on air pollution control and prevention of childhood respiratory diseases, emphasizing the integration of environmental surveillance, epidemiology, and primary health care.

Keywords: Air pollution; Respiratory diseases; Asthma; Rhinitis; Children; Public health.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Representação das doenças e alterações associadas à poluição do ar..... **pag.71**
- Figura 2** – Concentração média dos principais poluentes atmosféricos em Santos comparada aos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS)..... **pag.96**
- Figura 3** – Concentração média (\pm desvio-padrão) dos principais poluentes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 e O_3), expressa em $\mu g/m^3$, e sua relação com as internações pediátricas por doenças respiratórias (por 100.000 habitantes) na cidade de Santos (2018–2022)..... **pag.98**
- Figura 4** – Evolução das internações pediátricas por doenças respiratórias no município de Santos entre 2018 e 2022..... **pag.99**
- Figura 5** – Concentrações médias sazonais de material particulado fino ($PM_{2.5}$), material particulado inalável (PM_{10}) e ozônio (O_3) ao longo das estações do ano em Santos (2018–2022)..... **pag.102**
- Figura 6** – Série temporal de internações pediátricas por doenças respiratórias (2018–2022)..... **pag.103**
- Figura 7** – Associação entre as concentrações mensais de $PM_{2.5}$ e as internações pediátricas por 100.000 crianças no período de 2018 a 2022, com modelo de regressão linear ajustado **pag.105**
- Figura 8** – Série temporal das concentrações mensais de $PM_{2.5}$ e das internações pediátricas por 100.000 crianças entre 2018 e 2022, destacando os picos sazonais e as sobreposições temporais..... **pag.106**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais doenças respiratórias por grupo de vulnerabilidade associadas à poluição atmosférica e seus determinantes ambientais	pag.74
Tabela 2 – Médias, medianas e desvios-padrão das concentrações de MP _{2,5} , MP ₁₀ e O ₃ em Santos (2018–2022)	pag.85
Tabela 3 – Médias e desvios-padrão dos principais poluentes e taxa de internações pediátricas (por 100.000 crianças) na cidade de Santos (2018–2022).....	pag.85
Tabela 4 – Número absoluto de internações pediátricas por doenças respiratórias em Santos (2018–2022).....	pag.86
Tabela 5 – Médias sazonais de MP _{2,5} , MP ₁₀ e O ₃ em Santos (2018–2022)	pag.87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla Significado

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MP_{2,5} – Material particulado com diâmetro inferior a 2,5 micrômetros

NO₂ – Dióxido de nitrogênio

O₃ – Ozônio

OMS – Organização Mundial da Saúde

PM₁₀ – Material particulado com diâmetro inferior a 10 micrômetros

PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

RI – Revisão Integrativa

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

SO₂ – Dióxido de enxofre

SUS – Sistema Único de Saúde

SUMÁRIO

RESUMO	7
LISTA DE TABELAS.....	10
1. APRESENTAÇÃO DA TESE	13
2. CONTEXTUALIZAÇÃO E INTRODUÇÃO GERAL	14
3. METODOLOGIA GERAL PARA A ELABORAÇÃO DOS CAPÍTULOS	17
3.1. Delineamento do estudo e fonte dos dados secundários.....	17
3.2. Procedimentos para a revisão da literatura.....	18
3.2.1. Bases de dados consultadas	19
3.2.2. Estratégia de busca bibliográfica	19
3.2.3. Processo de seleção e elegibilidade dos estudos.....	20
3.3. Delineamento e procedimentos de análise dos dados secundários.....	21
4. REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 1.....	25
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. METODOLOGIA.....	28
3. DESENVOLVIMENTO.....	30
3.1. Prevalência e Impacto na População.....	30
3.2. Fisiopatologia e Sintomas.....	30
3.3 Prevalência, sintomas e diagnóstico da rinite na infância: uma análise abrangente	33
3.4 Comorbidades e Complicações Associadas.....	33
3.5. Diagnóstico e Avaliação.....	35
3.6 Estratégias eficazes de tratamento para a rinite na infância: abordagem multidisciplinar e complicações potenciais.....	36
3.6.1 Tratamento e Manejo	36
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	37
5. REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO 2.....	42
1. INTRODUÇÃO.....	45
2. DESENVOLVIMENTO.....	46
2.1 Prevalência e Impacto na População.....	46
2.2 Fisiopatologia e Sintomas.....	49
2.3 Comorbidades e Complicações Associadas.....	54
2.4 Diagnóstico e Avaliação.....	55

2.5 Tratamento e Manejo.....	57
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	59
4. REFERÊNCIAS	60
CAPÍTULO 3.....	64
EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA SAÚDE RESPIRATÓRIA: IMPACTOS E MECANISMOS.....	64
1. INTRODUÇÃO.....	66
2. METODOLOGIA.....	67
3. DESENVOLVIMENTO.....	68
3.1. A Poluição atmosférica e as doenças respiratórias.....	68
3.2. Relação entre poluentes atmosféricos rinite e a asma: evidências epidemiológicas e mecanismos de ação	70
3.3. Influência genética e susceptibilidade na relação entre poluentes atmosféricos, rinite e asma.....	73
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	79
5. REFERÊNCIAS	79
CAPÍTULO 4.....	85
1. INTRODUÇÃO.....	87
2. METODOLOGIA.....	89
2.1. Procedimentos para revisão da literatura.....	89
2.1 Análise de dados.....	90
3. DESENVOLVIMENTO.....	91
3.1. A poluição atmosférica e seus impactos respiratórios: do cenário global ao contexto de Santos (SP).....	91
3.2. Associação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias infantis em Santos (SP): uma análise descritiva (2018–2022).....	94
3.3. Sazonalidade e associação entre poluentes atmosféricos e internações pediátricas em Santos (2018–2022).....	100
3.4. Poluição atmosférica e morbidade respiratória infantil: convergências entre literatura e realidade local.....	107
3.5. Diferenças contextuais entre evidências científicas e dados locais.....	109
3.6. Poluição atmosférica e saúde infantil: interfaces entre evidências globais e locais.....	109
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	110
5. REFERÊNCIAS	113

1. APRESENTAÇÃO DA TESE

A presente tese de doutorado foi desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Santa Cecília (UNISANTA). O estudo aborda a relação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias na infância, com foco no município de Santos, localizado na Região Metropolitana da Baixada Santista – SP, área caracterizada por intensa atividade industrial e portuária, que a torna um importante modelo que pode ser utilizado globalmente no que se refere a análises sobre impactos ambientais e sanitários.

O trabalho foi estruturado de forma a contemplar tanto a fundamentação teórica quanto a análise empírica de dados disponíveis, integrando evidências científicas nacionais e internacionais aos indicadores ambientais e de saúde pública. Inicialmente, são apresentadas a contextualização da problemática, as justificativas e os objetivos do estudo, seguidos pela descrição detalhada dos materiais e métodos utilizados em todos os capítulos. Na sequência, a tese é composta por capítulos temáticos que discutem, de forma articulada, os principais agravos respiratórios na infância, com ênfase em rinite e asma, e suas inter-relações com os níveis de poluentes atmosféricos observados na região estudada.

A segunda etapa compreende a análise dos dados secundários oficiais disponibilizados por órgãos públicos, como CETESB, DATASUS e Boletins Epidemiológicos de Santos, permitindo a integração entre indicadores ambientais e clínicos. Por fim, são apresentadas as comparações entre os resultados obtidos e as evidências descritas na literatura, seguidas das considerações finais, que ressaltam as implicações ambientais, clínicas e sociais dos achados e sua relevância para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde infantil.

Assim, esta tese busca contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre os impactos da poluição do ar em populações vulneráveis e reforçar a importância da abordagem integrada entre ambiente e saúde, um dos pilares conceituais da Ciência e Tecnologia Ambiental.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO E INTRODUÇÃO GERAL

A poluição atmosférica é um dos maiores desafios ambientais enfrentados globalmente, com impactos significativos na saúde pública e no meio ambiente, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2023).

A poluição atmosférica é reconhecida como um dos principais fatores de risco ambientais para doenças respiratórias. A Organização Mundial da Saúde (OMS, no inglês *World Health Organization*) estima que mais de 7 milhões de mortes anuais estejam relacionadas à má qualidade do ar, especialmente por doenças respiratórias e cardiovasculares. Esses impactos afetam de forma desproporcional populações vulneráveis, como crianças e idosos, que apresentam maior suscetibilidade a agravos decorrentes da poluição (WHO, 2021).

Nos últimos anos, a conscientização sobre os efeitos adversos da poluição do ar tem crescido, resultando em políticas e medidas de mitigação, como a promoção de energias renováveis e a implementação de normas mais rigorosas de controle de emissões (PERERA; LAU, 2024). No entanto, de acordo com os autores Liu *et al.* (2022), a luta contra a poluição atmosférica é contínua, e as perspectivas futuras dependem de um compromisso global com a sustentabilidade e a inovação tecnológica para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e proteger a saúde pública; a exposição a materiais altamente poluentes, causadores de poluição ambiental, é um fator significativo que pode afetar o feto e deteriorar processos durante o período pré-natal.

Poluentes atmosféricos podem levar a alterações genéticas e déficits no desenvolvimento fetal, pois os processos de desenvolvimento são fortemente dependentes de fatores maternos intrínsecos, que, por sua vez, podem interagir com agentes ambientais devido à exposição materna (GENOWSKA *et al.*, 2023). A exposição crônica a poluição do ar pode levar à diminuição da função pulmonar em crianças, aumentando o risco de sintomas clínicos de curto prazo e afetando negativamente a função pulmonar (LIU *et al.*, 2022). A imaturidade dos pulmões fetais, refletida por uma área de superfície reduzida para trocas gasosas e por mecanismos hipoxêmicos, está associada a diversas infecções do trato respiratório e a um risco aumentado de mortalidade em menores de um ano de idade (GENOWSKA *et al.*, 2023).

Doença respiratória crônica (DRC) é um termo abrangente que descreve condições que afetam os pulmões e as vias aéreas e foi a terceira principal causa de mortalidade globalmente em 2019, além de estar associada a um custo econômico substancial (GBD, 2019). Já as doenças respiratórias mais comuns na infância, sendo as principais rinite e asma, apresentaram um expressivo aumento na sua prevalência e morbidade nas últimas décadas (MOSGES, 2022). Alguns fatores tentam explicar os aumentos: o melhor reconhecimento da doença; mudanças no estilo de vida, com maior permanência em ambientes fechados e modificações dos hábitos alimentares; contribuição de fatores infecciosos e socioeconômicos e concentração exacerbada de poluentes ambientais atmosféricos (BOUTIN-FORZANO et al., 2015).

Fatores ambientais relacionados à poluição desempenham um papel etiopatogênico significativo nesse sentido. As fontes poluentes são principalmente as atividades industriais e o trânsito urbano, capazes de gerar diversos tipos de poluentes que desencadeiam danos inflamatórios, diretos e indiretos aos tecidos, promovendo sintomas alérgicos, mesmo graves, e interferindo até na resposta farmacológica (BOUTIN-FORZANO et al., 2015). Também são capazes de modificar o pólen, promovendo a sensibilização alérgica (TRAINA et al., 2020). A ampliação dos conhecimentos relacionados às doenças respiratórias mostra uma distinção de cenários de acordo com a região analisada. Entre os poluentes mais relevantes destacam-se o material particulado fino ($PM_{2.5}$), o material particulado inalável (PM_{10}), o dióxido de nitrogênio (NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2) e o ozônio (O_3), frequentemente associados às emissões veiculares, às atividades industriais e às operações portuárias. Esses compostos podem penetrar nas vias aéreas e promover estresse oxidativo nas células epiteliais respiratórias, com produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), ativação de vias inflamatórias intracelulares e liberação de citocinas pró-inflamatórias, como interleucinas e fator de necrose tumoral. Esse processo resulta em aumento da permeabilidade epitelial, recrutamento de células inflamatórias e hiperresponsividade das vias aéreas, favorecendo o desenvolvimento e a exacerbação de doenças respiratórias como rinite alérgica e asma, especialmente em populações pediátricas (LIU et al., 2022).

No Brasil, a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), uma das principais DRCs, esteve associada a mais de 1,1 milhão de óbitos entre 2000 e 2019, representando um grave problema de saúde pública. Embora tenha havido redução na taxa de mortalidade ajustada por idade nesse período, o número absoluto de

mortes permanece elevado, refletindo desafios persistentes no controle dos fatores ambientais e na garantia do diagnóstico precoce (BASTOS et al., 2024).

Dados do DATASUS (BRASIL, 2023) indicam que as doenças do aparelho respiratório estão entre as principais causas de internações hospitalares no Estado de São Paulo. Na Baixada Santista, esse cenário é ainda mais relevante devido à presença do polo industrial e portuário, que contribui de forma expressiva para a emissão de poluentes atmosféricos (CETESB, 2023). Relatórios da CETESB (2023) evidenciam que a Baixada Santista apresenta níveis de poluentes, como material particulado (MP_{10} e $PM_{2.5}$), dióxido de enxofre (SO_2) e ozônio (O_3), que frequentemente ultrapassam os padrões recomendados. Paralelamente, os dados do DATASUS apontam que as doenças do aparelho respiratório continuam sendo uma das principais causas de internação e mortalidade no Estado de São Paulo, com impacto relevante na Baixada Santista. Além disso, o Boletim Epidemiológico de Santos (2023) apresenta informações complementares sobre morbidade respiratória no município, reforçando a pertinência do recorte local.

Poucos estudos longitudinais integram simultaneamente indicadores ambientais e clínicos, especialmente na Baixada Santista. Essa lacuna reforça a relevância do presente estudo, que avalia a relação entre a exposição a poluentes atmosféricos e a função respiratória de crianças de 0 a 12 anos em Santos. Parte-se da questão central sobre a existência de associação entre poluição do ar e doenças respiratórias, sustentando a hipótese de que a exposição aos poluentes aumenta a prevalência e a gravidade desses agravos, sobretudo em grupos vulneráveis, como crianças, idosos e pessoas com condições pré-existentes. Acredita-se que a poluição atmosférica atue tanto no surgimento de novos casos quanto na piora de doenças já estabelecidas, como asma, bronquite e rinite alérgica. Nesse contexto, formula-se a hipótese de que o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos, especialmente material particulado ($PM_{2.5}$ e PM_{10}), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) está associado ao aumento da ocorrência e da gravidade de doenças respiratórias em crianças residentes no município de Santos, devido à indução de processos inflamatórios e de estresse oxidativo nas vias aéreas, que comprometem a função respiratória e aumentam a susceptibilidade a agravos como rinite alérgica e asma.

Assim, o presente estudo justifica-se pela necessidade de compreender a associação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias na Baixada Santista,

contribuindo para a formulação de políticas públicas ambientais e de saúde. Além disso, ao integrar indicadores ambientais e clínicos por meio da análise de séries temporais e de dados epidemiológicos secundários, a pesquisa busca oferecer evidências científicas que auxiliem na compreensão dos efeitos da poluição atmosférica sobre populações vulneráveis, especialmente crianças residentes em regiões com intensa atividade industrial e portuária, como o município de Santos.

Diante disso, o objetivo geral foi compreender, de forma integrada, a influência da poluição atmosférica sobre a saúde respiratória infantil no município de Santos – SP, por meio da síntese crítica da literatura científica e da análise de dados secundários oficiais (CETESB, DATASUS e Boletins Epidemiológicos), a fim de identificar padrões de associação, vulnerabilidades e implicações para a saúde pública. Os objetivos específicos foram:

- Analisar a rinite alérgica na infância sob os aspectos clínicos, fisiopatológicos e ambientais, destacando seu impacto na qualidade de vida e as estratégias de diagnóstico e manejo (**Capítulo 1**);
- Investigar a asma infantil quanto à sua prevalência, fisiopatologia e comorbidades, discutindo seus efeitos sobre a qualidade de vida e as principais abordagens terapêuticas (**Capítulo 2**);
- Avaliar as evidências científicas sobre a relação entre a exposição a poluentes atmosféricos e o desenvolvimento de doenças respiratórias em crianças, considerando fatores de vulnerabilidade e mecanismos fisiopatológicos (**Capítulo 3**) e;
- Analisar a relação entre os níveis de poluentes atmosféricos e as doenças respiratórias em crianças no município de Santos (2018–2022), utilizando dados secundários oficiais disponibilizados por órgãos como CETESB, DATASUS e Boletins Epidemiológicos de Santos, integrando os resultados empíricos com as evidências teóricas discutidas nos capítulos anteriores (**Capítulo 4**).

3. METODOLOGIA GERAL PARA A ELABORAÇÃO DOS CAPÍTULOS

3.1. Delineamento do estudo e fonte dos dados secundários

A revisão de literatura que fundamenta esta tese foi conduzida segundo os princípios metodológicos de uma revisão integrativa, conforme descrito por Mendes et al. (2008), adaptada ao contexto da pesquisa ambiental e epidemiológica. O objetivo dessa etapa foi reunir, avaliar criticamente e integrar as evidências científicas sobre a associação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias em crianças, com ênfase nas condições prevalentes de rinite e asma, a fim de subsidiar as análises empíricas realizadas com dados secundários oficiais.

O presente trabalho está estruturado em duas etapas: revisão de literatura (capítulos 1, 2 e 3) e coleta/análise de dados secundários oficiais, seguidas pela comparação dos achados ((capítulo 4).

Nos capítulos 1, 2 e 3, o método consiste em revisão integrativa da literatura científica e de relatórios técnicos (CETESB, OMS, DATASUS, entre outros), a fim de identificar e discutir a associação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias na infância.

No capítulo 4, foi apresentado o delineamento de pesquisa com dados secundários oficiais. Trata-se de um estudo de painel, longitudinal e prospectivo, com indicadores mensais de espirometria e semanais de pico de fluxo expiratório (PFE) em crianças de 0 a 12 anos atendidas no sistema público de saúde de Santos – SP. Além disso, foram utilizadas as médias anuais e mensais de poluentes atmosféricos ($MP_{2,5}$, MP_{10} , O_3 , NO_2 e SO_2) disponibilizadas pela CETESB, bem como as séries históricas de internações pediátricas por pneumonia, asma, bronquite, SRAG e tuberculose, extraídas do Boletim Epidemiológico de Santos (2018–2022). Esses exames foram realizados rotineiramente e disponibilizados pelo DATASUS. A análise relacionou a exposição aos poluentes, mensurada pelas estações da CETESB, com a função pulmonar das crianças. Foram comparados os achados da revisão de literatura com os resultados obtidos a partir dos dados secundários oficiais, permitindo verificar se as associações descritas em estudos nacionais e internacionais também se confirmam no contexto local de Santos.

3.2. Procedimentos para a revisão da literatura

A revisão de literatura que fundamenta esta tese foi conduzida segundo os princípios metodológicos de uma revisão integrativa, conforme descrito por Mendes, Silveira e Galvão (2008), adaptada ao contexto da pesquisa ambiental e

epidemiológica. Nesta seção, entretanto, a revisão é apresentada com foco específico na articulação entre os fundamentos teóricos e os achados empíricos que serão analisados nos capítulos subsequentes, evitando a mera repetição dos procedimentos metodológicos já descritos no item 3.1. O objetivo dessa etapa foi reunir, avaliar criticamente e integrar as evidências científicas sobre a associação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias em crianças, com ênfase nas condições prevalentes de rinite e asma, a fim de subsidiar as análises empíricas realizadas com dados secundários oficiais.

3.2.1. Bases de dados consultadas

A busca bibliográfica foi realizada entre janeiro e julho de 2025, por meio de buscas sucessivas e sistemáticas, nas principais plataformas eletrônicas de indexação científica, selecionadas pela sua abrangência e relevância para as áreas de saúde ambiental, epidemiologia e ciências biológicas, a saber: PubMed/MEDLINE, SciELO; Web of Science; Scopus, Google Scholar e Portal de Periódicos CAPES. As buscas foram repetidas em diferentes momentos do período definido, com refinamento progressivo dos descritores e critérios de seleção. Foram consultados também a CETESB e a OMS/WHO, visando avaliar relatórios técnicos e dados de referência sobre qualidade do ar.

3.2.2. Estratégia de busca bibliográfica

Foram considerados as publicações dos últimos 15 anos (entre 2010 e 2025), assegurando a atualidade das evidências. Os descritores foram selecionados com base nos vocabulários controlados MeSH (*Medical Subject Headings*) e DeCS (*Descritores em Ciências da Saúde*), combinando termos em inglês e português para ampliar a sensibilidade da busca. Foram aplicados operadores booleanos (“AND”, “OR”, “NOT”) e truncamentos (*) conforme o padrão de cada base. A seguir estão os conjuntos de descritores e operadores booleanos utilizados para as consultas bibliográficas separados por tema de interesse.

- **Tema 1 – Poluição atmosférica:** ("air pollution" OR "ambient air pollution" OR "atmospheric pollutants" OR "particulate matter" OR "MP2,5" OR "PM10")

OR "ozone" OR "sulfur dioxide" OR "nitrogen dioxide" OR "air quality" OR "environmental exposure");

- **Tema 2 – Doenças respiratórias:** ("respiratory diseases" OR "asthma" OR "allergic rhinitis" OR "bronchitis" OR "respiratory infection" OR "pneumonia" OR "chronic respiratory disease");
- **Tema 3 – População-alvo:** ("children" OR "pediatric" OR "infant" OR "child health" OR "schoolchildren");
- **Tema 4 – Localização e contexto (termos específicos do estudo):** ("Santos" OR "Baixada Santista" OR "São Paulo State" OR "Brazil" OR "Latin America").

A seguir constam as combinações finais para as buscas nas plataformas em inglês: ("air pollution" OR "particulate matter" OR "MP2,5" OR "PM10" OR "ozone"), AND ("asthma" OR "rhinitis" OR "respiratory diseases"), AND ("children" OR "pediatric" OR "infant"), AND ("Brazil" OR "Latin America"), NOT ("tobacco" OR "indoor air"); e português: ("poluição atmosférica" OR "material particulado" OR "MP2,5" OR "ozônio"), AND ("doenças respiratórias" OR "asma" OR "rinite alérgica"), AND ("crianças" OR "população infantil"), AND ("Brasil" OR "América Latina"), NOT ("tabagismo" OR "ar interno").

3.2.3. Processo de seleção e elegibilidade dos estudos

O processo de seleção dos estudos seguiu as etapas recomendadas pelo fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), adaptado para revisão integrativa. A seguir, constam as etapas do processo de seleção da bibliografia consultada:

1. Triagem: leitura de títulos e resumos para verificar a pertinência temática.
2. Elegibilidade: leitura integral dos textos selecionados, aplicando os critérios de inclusão e exclusão explorados a seguir.

3.2.3.1. Critérios de inclusão:

Foram incluídos estudos que atendiam simultaneamente aos seguintes critérios:

1. Tipo de publicação: artigos científicos originais, revisões sistemáticas, revisões integrativas, relatórios técnicos ou documentos oficiais de órgãos ambientais e de saúde (OMS, CETESB, Ministério da Saúde).
1. Idioma: publicações em inglês, português ou espanhol.
2. População estudada: crianças e adolescentes (0–18 anos).
3. Associação temática: estudos que abordassem relação entre poluentes atmosféricos ($MP_{2.5}$, MP_{10} , O_3 , SO_2 , NO_2) e doenças respiratórias.
4. Disponibilidade: acesso ao texto completo em meio eletrônico.

3.2.3.2. Critérios de exclusão:

Foram excluídas as publicações que não atenderam os seguintes requisitos:

1. Estudos que abordassem exclusivamente exposição ocupacional ou ambientes internos (ex.: poluição domiciliar ou tabagismo passivo).
2. Pesquisas voltadas apenas à população adulta ou idosa.
3. Trabalhos duplicados ou de baixa qualidade metodológica, identificados por inconsistências no delineamento, amostragem ou ausência de análise estatística.
4. Artigos sem relação direta com poluição atmosférica (ex.: estudos sobre poluição sonora ou aquática).

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, a bibliografia final foi selecionada para a elaboração do presente estudo.

3.3. Delineamento e procedimentos de análise dos dados secundários

A análise estatística foi realizada somente na etapa referente aos dados secundários oficiais (Capítulo 4). Realizou-se uma análise descritiva de todas as variáveis consideradas no estudo. As variáveis qualitativas foram apresentadas em categorias e expressas em valores relativos (%). As variáveis quantitativas foram apresentadas em termos de seus valores de tendência central e dispersão utilizando gráficos ilustrativos para cada caso (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Para avaliar a correlação entre duas variáveis quantitativas foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (paramétrico) ou Spearman (não paramétrico),

caso não atenda o pressuposto de simetria (normalidade) (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Adicionalmente, considerando que os desfechos analisados correspondem a contagens de eventos (internações e atendimentos por doenças respiratórias), também foi considerada a aplicação de modelos de regressão baseados em Modelos Lineares Generalizados (GLM), utilizando distribuição de Poisson ou Quasi-Poisson para lidar com possíveis fenômenos de sobredispersão nos dados. Esses modelos permitem estimar a associação entre os níveis de poluentes atmosféricos e a ocorrência de agravos respiratórios, ajustando-se para variáveis ambientais e temporais relevantes (BHASKARAN et al., 2013; CHEN et al., 2025).

Considerou-se também o efeito de defasagem temporal (lag 1), estabelecendo a relação entre os níveis de poluentes de um mês e as internações pediátricas registradas no mês subsequente. As correlações e comparações de médias seguiram as fórmulas clássicas de Pearson (r) e Spearman (ρ).

Além dessas análises, foram investigadas as associações entre os períodos de maior contaminação atmosférica e o aumento das internações pediátricas por doenças respiratórias, visando avaliar os efeitos temporais da poluição. Entre as limitações do estudo, destacam-se a dependência de dados secundários, sujeitos a subnotificação; a diferença de resolução temporal entre variáveis ambientais e de saúde; e a impossibilidade de controle de fatores confundidores, como condições climáticas, sazonalidade de infecções e determinantes sociais.

4. REFERÊNCIAS

BASTOS, L. A. V. M. et al. Chronic obstructive pulmonary disease-related mortality in Brazil, 2000-2019: a multiple-cause-of-death study. *BMC Public Health*, v. 24, n. 1, p. 849, 2024. DOI: 10.1186/s12889-024-18162-0.

BHASKARAN, K. et al. Time series regression studies in environmental epidemiology. *International Journal of Epidemiology*, v. 42, n. 4, p. 1187–1195, 12 jun. 2013.

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DE SANTOS. Morbidade respiratória em crianças de 0 a 12 anos. Santos: Prefeitura Municipal de Santos, 2023.

BOUTIN-FORZANO, S. et al. Air pollution and atopy. *Allerg Immunol.*, v. 37, p. 11-16, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS – Departamento de Informática do SUS. Brasília, 2023. Disponível em: <http://datasus.saude.gov.br>. Acesso em: 9 set. 2025.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar no município de Santos. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wpcontent/uploads/sites/28/2013/12/Relatório-Santos-2015.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2023. São Paulo, 2023.

CHEN, X. et al. Exposure-response functions of the correlated environmental exposures green space, noise, and air pollution for quantifying mortality burden in health impact assessment. **Environment International**, v. 202, p. 109645, ago. 2025.

CHENG, M. et al. New progress in pediatric allergic rhinitis. *Frontiers in Immunology*, v. 15, 2024.

GBD 2019 CHRONIC RESPIRATORY DISEASES COLLABORATORS. Global burden of chronic respiratory diseases and risk factors, 1990-2019: an update from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Respir Med.*, 2020.

GENOWSKA, A. et al. Emission of Industrial Air Pollution and Mortality Due to Respiratory Diseases: A Birth Cohort Study in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 2, p. 13-19, 2023.

LIU, K.; HUA, S.; SONG, L. **PM2.5 exposure and asthma development: the key role of oxidative stress.** *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, v. 2022, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/3618806>

LIU, W. Y. et al. Association Between Air Pollutants and Pediatric Respiratory Outpatient Visits in Zhoushan, China. *Frontiers in Public Health*, 2022.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto – Enfermagem*, v. 17, n. 4, p. 758–764, 2008.

MOSGES, R. The increasing prevalence of allergy: a challenge for the physician. *Clinical and Experimental Allergy Reviews*, v. 2, p. 13-17, 2022.

PERERA, F.; LAU, K. A review of studies assessing the benefits of clean air and climate mitigation policies for child and adult health. *The Journal of Climate Change and Health*, v. 21, p. 100369, 2024.

WHO – World Health Organization. Air pollution. Geneva: WHO, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>. Acesso em: 22 ago. 2025.

WHO – World Health Organization. Ambient air pollution: health impacts. Geneva: WHO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/airpollution>

CAPÍTULO 1

A IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO E MANEJO DA RINITE NA INFÂNCIA: IMPACTO NA QUALIDADE DE VIDA E COMPLICAÇÕES ASSOCIADAS

RESUMO

A rinite alérgica é uma das doenças respiratórias crônicas mais comuns na infância, impactando a qualidade de vida, o desempenho escolar e o bem-estar familiar. Revisar a literatura científica sobre a rinite alérgica na infância, abordando prevalência, fisiopatologia, manifestações clínicas, diagnóstico, tratamento e complicações associadas. Foi realizada uma revisão integrativa da literatura em artigos científicos, consensos nacionais e internacionais e documentos oficiais. A rinite apresenta elevada prevalência, frequentemente subdiagnosticada, com sintomas que variam de leves a graves e que estão relacionados a piora da qualidade de vida e maior risco de comorbidades, como asma, sinusite e otite média. Além disso, a exposição a poluentes ambientais contribui para exacerbação da doença. O reconhecimento precoce e o manejo adequado da rinite alérgica são fundamentais para reduzir complicações e melhorar a qualidade de vida de crianças e adolescentes. Complementarmente, os resultados sugerem que a poluição atmosférica, em especial a exposição a $MP_{2.5}$ e O_3 , pode agravar a intensidade dos sintomas e aumentar a procura por serviços de saúde. Esse dado conecta a rinite com o contexto ambiental da Baixada Santista, onde níveis de poluentes frequentemente excedem os limites recomendados pela OMS.

Palavras-chave: Rinite alérgica; Infância; Prevalência; Diagnóstico; Qualidade de vida.

ABSTRACT

Allergic rhinitis is one of the most common chronic respiratory diseases in childhood, affecting quality of life, school performance, and family well-being. To review the scientific literature on allergic rhinitis in childhood, addressing prevalence, pathophysiology, clinical manifestations, diagnosis, treatment, and associated complications. A integrative literature review was conducted using scientific articles, national and international guidelines, and official documents. Allergic rhinitis is highly prevalent, often underdiagnosed, with symptoms ranging from mild to severe, associated with impaired quality of life and increased risk of comorbidities such as asthma, sinusitis, and otitis media. Environmental pollutants also contribute to disease exacerbation. Early recognition and appropriate management of allergic rhinitis are essential to reduce complications and improve the quality of life of children and adolescents. Complementarily, the results suggest that air pollution, especially exposure to PM_{2.5} and O₃, may worsen the intensity of symptoms and increase the demand for healthcare services. This data links rhinitis with the environmental context of the Baixada Santista, where pollutant levels frequently exceed the limits recommended by the WHO.

Keywords: Allergic rhinitis; Childhood; Prevalence; Diagnosis; Quality of life.

1. INTRODUÇÃO

A rinite alérgica na infância representa um dos principais desafios de saúde pública, pois afeta diretamente a qualidade de vida das crianças e gera impacto sobre o desempenho escolar, o convívio social e o bem-estar familiar (CHENG et al., 2024). Além disso, está frequentemente associada a outras doenças respiratórias, como a asma, ampliando os riscos de complicações (BOLLER et al., 2025). Em regiões com intensa atividade portuária, tráfego veicular e fontes industriais, como a Baixada Santista, a exposição crônica a poluentes atmosféricos torna-se um fator ambiental relevante na gênese e agravamento da rinite alérgica infantil (MATOS, 2018), uma vez que poluentes como material particulado fino (PM_{2.5}), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃) podem penetrar nas vias aéreas superiores e desencadear processos de estresse oxidativo e inflamação da mucosa nasal, favorecendo a ativação de células inflamatórias e a liberação de mediadores imunológicos associados às doenças alérgicas respiratórias (ROSARIO et al., 2024).

A compreensão de sua prevalência, manifestações clínicas, comorbidades e estratégias de manejo é essencial para o desenvolvimento de intervenções eficazes e para a formulação de políticas de saúde voltadas à população pediátrica (SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA, 2023), sobretudo quando integrada à avaliação dos determinantes ambientais da doença respiratória.

O diagnóstico precoce e o manejo adequado da rinite alérgica são fundamentais para minimizar os impactos dessa condição no desenvolvimento das crianças (CHEN et al., 2024). A identificação dos fatores desencadeantes, como ácaros, pólen, mofo e pelos de animais, é um passo essencial para a implementação de estratégias de prevenção, que incluem a educação familiar sobre a eliminação de alérgenos do ambiente doméstico e o uso de medicamentos apropriados (ROSENFELD et al., 2024). A adesão ao tratamento pode ser dificultada por fatores como o custo elevado de medicamentos e a falta de conscientização sobre a importância do controle ambiental, o que reforça a necessidade de políticas públicas voltadas ao acesso a cuidados de saúde de qualidade para a população infantojuvenil (MIRAGLIA et al., 2024).

Adicionalmente, a pesquisa sobre novos tratamentos para a rinite alérgica tem avançado, com destaque para as terapias imunobiológicas, que têm se mostrado

promissoras, especialmente em casos mais graves ou refratários aos tratamentos convencionais (SUN et al., 2024). Tais abordagens inovadoras oferecem uma alternativa para o controle dos sintomas e a melhoria da qualidade de vida das crianças afetadas, permitindo também um melhor acompanhamento médico a longo prazo (ROSARIO et al., 2024); entretanto, tais estratégias terapêuticas não substituem a necessidade de redução da exposição ambiental aos poluentes atmosféricos e a disseminação dessas novas opções terapêuticas exige uma integração mais eficaz entre os sistemas de saúde pública e privada, de modo a garantir a equidade no acesso a essas terapias de ponta (CHEN et al., 2024).

Evidências recentes indicam que crianças expostas a maiores níveis de poluição atmosférica apresentam risco aumentado de exacerbações da rinite, com maior absenteísmo escolar e maior taxa de consultas médicas (LICARI et al., 2023), reforçando o papel da poluição como fator de risco modificável. Nesse contexto, torna-se fundamental uma análise abrangente sobre a rinite alérgica, desde sua prevalência e impacto até os aspectos relacionados à fisiopatologia, diagnóstico e tratamento.

Utilizando a literatura científica, o objetivo foi analisar a rinite alérgica na infância sob os aspectos clínicos, fisiopatológicos e ambientais, destacando seu impacto na qualidade de vida e as estratégias de diagnóstico e manejo. Relacionar, ainda, os impactos ambientais, especialmente os poluentes atmosféricos, como fatores de risco relevantes na intensificação dos sintomas e das complicações associadas à rinite.

2. METODOLOGIA

Este capítulo foi desenvolvido com base nos princípios metodológicos descritos na “*Metodologia geral para a elaboração dos capítulos*”, adotando uma abordagem específica voltada à revisão narrativa e integrativa da literatura sobre a rinite alérgica na infância, conforme descrito por Mendes et al. (2008). O objetivo foi reunir, analisar e sintetizar evidências científicas recentes relacionadas à prevalência, fisiopatologia, manifestações clínicas, diagnóstico, tratamento e complicações associadas à rinite, considerando também os impactos ambientais como fatores agravantes.

A revisão foi conduzida entre janeiro e julho de 2025, por meio de buscas sucessivas e sistemáticas, com buscas em bases científicas nacionais e internacionais, incluindo PubMed/MEDLINE, SciELO, Scopus, Web of Science,

Google Scholar, Portal CAPES, além de relatórios técnicos e diretrizes oficiais da Organização Mundial da Saúde (OMS), da Sociedade Brasileira de Pediatria (SBP) e da *Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma Initiative* (ARIA). As buscas foram realizadas em diferentes momentos ao longo do período definido, com atualização e refinamento progressivo dos critérios de seleção.

Foram utilizados descritores em português e inglês, com base nos vocabulários MeSH e DeCS, combinados por operadores booleanos (“AND”, “OR”, “NOT”). As combinações buscaram termos relacionados a “rinite alérgica”, “crianças”, “fisiopatologia”, “diagnóstico”, “tratamento”, “qualidade de vida” e * “poluição atmosférica”. Foram incluídos artigos originais, revisões sistemáticas ou integrativas, diretrizes clínicas e relatórios técnicos publicados entre 2010 e 2025, em português, inglês ou espanhol, que abordassem a rinite em crianças e adolescentes (0–18 anos). Excluíram-se estudos exclusivamente com adultos, pesquisas experimentais sem aplicação clínica direta, artigos duplicados e publicações fora do escopo temático.

O processo de seleção dos estudos seguiu as etapas recomendadas pelo fluxograma PRISMA de forma adaptada, envolvendo triagem por título e resumo, leitura integral dos textos elegíveis e inclusão final dos artigos pertinentes. Em conformidade com as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* – PRISMA (PAGE et al., 2021), o processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos foi conduzido de forma sistemática. Entretanto, por se tratar de um capítulo de revisão teórica integrante de uma tese composta por múltiplos capítulos temáticos, a quantificação detalhada do número de registros identificados, excluídos e incluídos não foi apresentada de forma isolada neste capítulo. A contagem global dos estudos selecionados encontra-se descrita na metodologia geral da tese, evitando duplicidade de informações e mantendo a coerência metodológica entre os capítulos. Assim, neste capítulo, o fluxograma PRISMA é utilizado como referencial metodológico para organização e transparência do processo de seleção, sem a apresentação de valores numéricos específicos.

As informações extraídas foram organizadas de forma descritiva e categorizadas segundo os eixos temáticos: (i) prevalência e impacto na qualidade de vida, (ii) fisiopatologia e manifestações clínicas, (iii) diagnóstico e manejo terapêutico, e (iv) influência de fatores ambientais e comorbidades.

O caráter narrativo e integrativo da revisão permitiu discutir criticamente os achados e destacar lacunas do conhecimento, com ênfase nas interfaces entre saúde infantil e poluição atmosférica, contribuindo para contextualizar o problema da rinite alérgica na Baixada Santista e subsidiar a integração com os capítulos seguintes da tese.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Prevalência e Impacto na População

A rinite alérgica é a mais frequente das alergias respiratórias. Segundo o consenso sobre rinites realizado no Brasil em 1999, a prevalência da rinite alérgica, independente de variações regionais, é de 33% da população e apesar de estarmos no século XXI, está sendo muito pouco diagnosticada porque as pessoas têm a falsa ideia de ser apenas um resfriado e não procuram assistência médica (TRAINA et al., 2020).

Os dados de prevalência dessa doença são subestimados porque muitos pacientes não reconhecem a rinite como uma doença e por isso não consultam os médicos (BOUSQUET et al., 2018). Um aumento da prevalência tem sido observado nas últimas décadas (GREGORY et al., 2018).

Devido à alta prevalência de rinite alérgica, a piora na qualidade de vida, custos do tratamento, e presença de comorbidades como a asma, sinusites, e otites média, a rinite alérgica causa um enorme impacto na sociedade (SKONER, 2021). Na Baixada Santista, dados recentes reforçam essa tendência, relacionando maior prevalência de sintomas alérgicos com áreas de maior concentração de tráfego e poluentes atmosféricos, sugerindo que o ambiente urbano/industrial potencializa os impactos já conhecidos da rinite (MATOS, 2018).

3.2. Fisiopatologia e Sintomas

A rinite alérgica é definida clinicamente como uma doença com sintomatologia que afeta o nariz e é induzida pela inflamação mediada pela Ig-E após a exposição da mucosa nasal aos alérgenos (GREGORY et al., 2018), processo que envolve a ativação de mastócitos, eosinófilos e linfócitos T auxiliares do subtipo Th2, com

consequente liberação de mediadores inflamatórios como histamina, leucotrienos e citocinas pró-inflamatórias. Esses mediadores promovem vasodilatação, aumento da permeabilidade vascular e produção excessiva de muco, responsáveis pelos sintomas típicos da rinite, como espirros, prurido, obstrução nasal e rinorreia (MELTZER et al., 2021). Contudo, estudos recentes demonstram que poluentes atmosféricos, especialmente o material particulado fino ($MP_{2.5}$), atuam como agentes pró-inflamatórios capazes de intensificar e perpetuar esse processo inflamatório ao induzirem estresse oxidativo nas células epiteliais da mucosa nasal, estimulando a produção de espécies reativas de oxigênio e ativando vias inflamatórias intracelulares que amplificam a resposta imune alérgica (SUN et al., 2024; OMS, 2023). Os sintomas de rinite incluem: rinorreia, obstrução nasal, espirros, prurido, coriza, e/ou secreção pós-nasal (IBIAPINA et al., 2018), a exposição crônica ao $MP_{2.5}$ favorece a disfunção da barreira epitelial nasal, aumentando a permeabilidade da mucosa e facilitando tanto a penetração de aeroalérgenos quanto a ativação de células inflamatórias locais. Do ponto de vista ecotoxicológico, partículas finas transportam metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e compostos orgânicos voláteis, que induzem estresse oxidativo, ativação de vias inflamatórias e aumento da expressão de citocinas pró-inflamatórias na mucosa nasal (WANG et al., 2025). Assim, ela pode ser subdividida em intermitente e/ou persistente, e a gravidade da rinite alérgica pode ser classificada como “leve” ou “moderada-grave” (PASTORINO, 2018), que nesses casos, a exposição ambiental contínua atua como fator determinante para a cronificação dos sintomas.

A rinite alérgica tem sido identificada entre os dez principais motivos de consultas médicas em pediatria (SKONER, 2021). Apesar de não ser uma doença grave, ela altera significativamente a qualidade de vida da criança além de afetar o aprendizado escolar (MALONE et al., 2017). Evidências epidemiológicas sugerem que agentes poluentes exacerbam a rinite, uma vez que a exposição prolongada a partículas finas e gases irritantes pode aumentar a inflamação das vias aéreas superiores e reduzir a eficiência dos mecanismos de defesa da mucosa nasal, favorecendo a persistência dos sintomas respiratórios (LEÃO et al., 2018), especialmente em áreas urbanas com altos níveis de $MP_{2.5}$ e NO_2 (WANG et al., 2025). A poluição intradomiciliar é de grande importância desde que em países industrializados os indivíduos passam mais de 80% de seu tempo dentro de casas ou edifícios. Partículas finas ($PM_{2.5}$), por exemplo, intensificam a inflamação da mucosa

nasal, amplificando sintomas como congestão, coriza e obstrução nasal. Essa relação foi particularmente evidente durante os meses de maior concentração de poluentes (MACIEL et al., 2019).

Além disso, estudos experimentais indicam que o $MP_{2.5}$ pode modular a resposta imune local, alterando o equilíbrio imunológico entre as respostas Th1 e Th2 e favorecendo um perfil inflamatório associado às doenças alérgicas e esse desbalanço imunológico contribui para maior produção de IgE e maior recrutamento de células inflamatórias, aumentando a intensidade e a frequência das exacerbações da rinite alérgica (ROSARIO et al., 2024; PERERA; LAU, 2024).

Em seu quadro clínico, o intenso processo inflamatório da mucosa nasal se traduz clinicamente por prurido nasal intenso, espirros em salva, obstrução e coriza nasais consequentes (MALONE et al., 2017). O paciente pode apresentar, ainda, lacrimejamento e prurido ocular, prurido no conduto auditivo, no palato e na faringe (JASINSKI et al., 2021).

Os sintomas se manifestam de forma sazonal ou perene, de acordo com os alérgenos envolvidos (MALONE et al., 2017). No Brasil, onde a grande maioria dos casos é provocada por ácaros, o padrão dos sintomas é perene, uma vez que a exposição a esses alérgenos se dá de maneira contínua, durante o ano todo. Outras alterações, detectadas pelo exame físico, são comuns no paciente portador de rinite alérgica como: alterações no septo nasal, aspecto da mucosa, presença de pólipos nasais, presença de secreções, entre outras (PASTORINO, 2018). O indivíduo pode também apresentar os estigmas de doenças atópicas, como a prega transversa sobre o nariz, cianose da região periorbital, linhas de Dennie-Morgan, fábias alongada e respiração bucal (COCCO; SOLÉ, 2019).

Várias classificações já foram propostas para as rinites considerando etiologia, evolução e quadro clínico. Atualmente, a classificação mais utilizada na prática tem sido aquela proposta pela iniciativa ARIA (*Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma*), que considera não apenas os aspectos clínicos, mas também o impacto na qualidade de vida (TOGIAS, 2023).

A rinite pode ser causada por fatores alérgicos, não-alérgicos, infecciosos, hormonais, ocupacionais, entre outros (PASTORINO, 2018). A rinite alérgica é a forma de rinite crônica mais comum, entretanto, 30 a 50% das rinites podem ser causadas por fatores não-alérgicos (IBIAPINA et al., 2018).

3.3 Prevalência, sintomas e diagnóstico da rinite na infância: uma análise abrangente

A rinite é uma das doenças respiratórias mais comuns na infância, afetando milhões de crianças em diferentes regiões do mundo. Uma revisão sistemática e meta-análise recente identificou prevalência de 10,48% para rinite alérgica diagnosticada por médico, enquanto a prevalência autorreferida nos últimos 12 meses foi de 18,12%, chegando a 19,93% ao longo da vida. Além disso, os autores observaram um crescimento consistente da doença ao longo dos anos, passando de 8,39% entre 2012 e 2015 para 19,87% entre 2016 e 2022, o que reforça sua importância como problema de saúde pública (LICARI et al., 2023). Os sintomas típicos incluem obstrução nasal, espirros frequentes, coriza e prurido, que muitas vezes se confundem com infecções virais ou outras condições respiratórias, dificultando o reconhecimento precoce (CHENG et al., 2024).

O diagnóstico exige atenção cuidadosa e depende da combinação entre história clínica detalhada, exame físico criterioso e, quando necessário, testes específicos que permitam diferenciar a rinite alérgica de outras formas não alérgicas e a identificação correta e precoce da doença é essencial para direcionar intervenções eficazes e reduzir o risco de complicações associadas (BOLLER et al., 2025).

3.4 Comorbidades e Complicações Associadas

Os portadores de rinite alérgica têm um processo inflamatório crônico que facilita a adesão celular por vírus ao epitélio respiratório, com o consequente aumento da ocorrência de rinites virais (TOGIAS, 2023). A molécula de adesão ICAM-1, expressa no epitélio respiratório e nas células imuno inflamatórias durante o processo inflamatório nasal, é utilizada pelo rinovírus para se fixar e infectar as células do hospedeiro. Além disso, a inflamação alérgica não se limita somente as vias aéreas nasais (IBIAPINA et al., 2018).

Estudos epidemiológicos têm demonstrado de modo consistente que asma e rinite frequentemente coexistem no mesmo paciente (GREGORY et al., 2018). A maioria (70 a 80%) dos pacientes com asma alérgica ou não alérgica tem rinite e muitos pacientes com rinite têm asma ou hiperresponsividade brônquica (até 40-50%). As mucosas nasal e brônquica têm muitas semelhanças anatomofuncionais, e

respondem de forma parecida aos estímulos inflamatórios na alergia respiratória (COCCO; SOLÉ, 2019).

Evidências mostram que vias aéreas superiores e inferiores são afetadas por um processo inflamatório comum, que pode ser mantido e amplificado por mecanismos inter-relacionados (COCCO; SOLÉ, 2019). Provocações brônquicas levam a inflamação nasal e provocações nasais levam a inflamação brônquica (COCCO; SOLÉ, 2019). Muitos pacientes com rinite alérgica têm um aumento da hiperreatividade brônquica não específica, não diagnosticada (TOGIAS, 2023).

Devido à proximidade das cavidades paranasais e a contiguidade da mucosa nasal e sinusal, frequentemente o processo inflamatório atinge também os seios da face, causando uma rinite crônica alérgica. Alguns pacientes referem dor na projeção dos seios da face em períodos de exacerbação dos sintomas nasais, possivelmente relacionada ao acúmulo de secreção e aumento da pressão no interior dos mesmos, devido ao bloqueio do complexo ostio-meatal durante exacerbações da inflamação alérgica nasal (COCCO; SOLÉ, 2019).

Não raro, pacientes com rinite alérgica tem sinusites bacterianas com maior frequência que indivíduos normais, o que também é consequência das alterações no complexo ostio-meatal, que dificultam a drenagem e aeração normal dos seios da face, além da própria inflamação crônica da mucosa respiratória (IBIAPINA et al., 2018). Frequentemente podem-se encontrar imagens de espessamento da mucosa de seios maxilares e até mesmo cistos de retenção ao exame radiográfico em pacientes com rinite alérgica sem infecção rinossinusal (GREGORY et al., 2018). É muito frequente a associação de rinite e conjuntivite alérgica, principalmente em crianças e adolescentes, e, por isso, muitos autores denominam a doença como rinoconjuntivite alérgica (TOGIAS, 2023). A associação entre rinite alérgica, polipose nasal e otite média é menos compreendida (COCCO; SOLÉ, 2019).

Na prática clínica é evidente que a ocorrência mais frequente de otite média aguda e otite crônica com efusão em crianças pequenas com rinite alérgica persistente, e o controle do quadro alérgico geralmente resulta em melhor evolução destas complicações (IBIAPINA et al., 2018).

Vários mecanismos foram propostos para explicar as inter-relações entre vias aéreas superiores e inferiores, como a perda das funções de aquecimento, umidificação do ar e filtração de aeroalergenos e irritantes pela respiração nasal normal, a presença de reflexos naso-sino-brônquicos, mediados pelo sistema vagal-

colinérgico, a microaspiração direta e repetida de mediadores inflamatórios da via aérea superior para a inferior e a propagação sistêmica do processo inflamatório de uma para outra região, visto que vários marcadores de ativação celular são demonstrados a distância dos sítios primários de inflamação alérgica nas vias aéreas (TOGIAS, 2023).

3.5. Diagnóstico e Avaliação

Pacientes com rinite alérgica persistente devem ser sempre avaliados para asma pela anamnese, exame físico e, se possível, pela espirometria pré e pós-uso de beta-agonista, assim como para rinite crônica e conjuntivite alérgica (BOUSQUET et al., 2018). As rinites, segundo o “I Consenso Brasileiro sobre Rinites”, podem ser classificadas de acordo com evolução clínica (COCCO; SOLÉ, 2019). Para estabelecer a etiologia alérgica da rinite, é importante documentar a sensibilização alérgica, ou seja, a presença de anticorpos IgE contra alérgenos ambientais (ROSENFELD et al., 2024).

Essa avaliação pode ser feita *in vitro* através da dosagem sérica de IgE específica ou *in vivo*, usando os testes cutâneos ou provas de provocação nasal e os testes cutâneos de leitura imediata permitem detectar com maior rapidez e sensibilidade a presença de anticorpos IgE específicos (desde que realizados com técnica correta e usando alérgenos padronizados) (SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA, 2023).

Por outro lado, a detecção *in vitro* desses anticorpos tem como vantagens o fato de não sofrer influência das condições de pele do paciente ou do uso de anti-histamínicos, além de não oferecer riscos. Entretanto, seu custo é bem mais elevado. Em relação à provocação nasal com alérgeno, sua utilização na prática clínica diária é bastante limitada, sendo mais útil no diagnóstico de rinite ocupacional e na pesquisa (IBIAPINA et al., 2018).

Os exames complementares isoladamente não fazem diagnóstico de alergia; sabe-se que 10% de indivíduos assintomáticos têm teste cutâneo positivo e, portanto, sua indicação e interpretação devem estar vinculadas à história clínica (SOLÉ et al., 2024).

Feito o diagnóstico de rinite, a iniciativa ARIA recomenda que os pacientes com rinite alérgica persistente sejam avaliados para asma através de história, exame físico e, se possível, com espirometria antes e após uso de broncodilatador (COCCO; SOLÉ, 2019).

A presença de sintomas sinusais pode sugerir uma rinite (GREGORY et al., 2018). Nos quadros agudos, os sinais e sintomas mais comuns são: dor na arcada dentária superior, dor ou pressão facial, congestão e obstrução nasal, secreção nasal e pós-nasal, hiposmia/anosmia, febre, cefaleia, halitose, fadiga, otalgia, tosse e irritação de garganta (LUQUETTI et al., 2024). O exame físico oferece limitadas informações para o diagnóstico de rinites. Podemos encontrar edema e eritema nas regiões externas: maxilar, orbital e frontal. Na rinoscopia anterior, visualizamos hiperemia, edema e aumento da vascularização, além de encontrar secreção purulenta drenando pela parede posterior da orofaringe (COCCO; SOLÉ, 2019).

A endoscopia nasal está recomendada em todos os pacientes com queixas nasais, e, nos casos mais complicados, podem-se utilizar métodos de imagem. De maneira geral, a radiografia simples dos seios paranasais apresenta valor diagnóstico limitado, sendo seu uso controverso e discutível (ZULAIEF, 2025).

A tomografia computadorizada deve ser solicitada em rinites que não estejam evoluindo bem mesmo com o tratamento adequado, nos quadros crônicos e recorrentes, nas complicações ou quando há indicação cirúrgica. A ressonância magnética tem valor importante nas complicações regionais e intracranianas, bem como diagnóstico diferencial de neoplasias e na suspeita de sinusite fúngica (IBIAPINA et al., 2018).

3.6 Estratégias eficazes de tratamento para a rinite na infância: abordagem multidisciplinar e complicações potenciais

3.6.1 Tratamento e Manejo

As principais abordagens existentes para o tratamento das rinites alérgicas devem ser individualizadas, levando-se em conta as particularidades de cada paciente, pois com tratamento apropriado, orientação e educação adequadas, os sintomas podem ser controlados com prejuízo mínimo para a qualidade de vida (GREGORY et al., 2018).

O arsenal terapêutico para rinite alérgica é bastante amplo, e nos últimos anos surgiram novas e eficazes opções de drogas. Inúmeros trabalhos foram feitos sobre o tratamento da rinite, e o projeto ARIA os analisou criteriosamente e, a seguir, publicou suas recomendações (IBIAPINA et al., 2018).

Embora os medicamentos controlem os sintomas da rinite, com muita eficiência, seu efeito não é duradouro após a sua suspensão. O corticosteroide tópico nasal é a medicação de escolha para o tratamento de manutenção da rinite alérgica (COCCO; SOLÉ, 2019).

Seu uso regular é bastante eficaz na redução da coriza, espirros e prurido, e, principalmente, no controle da congestão nasal (GREGORY et al., 2018). Embora o início da ação não seja imediato, pode-se observar melhora dos sintomas após seis a oito horas, atingindo seu efeito pleno em alguns dias. A justificativa do seu expressivo efeito clínico é a supressão de vários mediadores e estágios do processo alérgico inflamatório (IBIAPINA et al., 2018).

Os efeitos colaterais são mínimos e, em geral, locais, como ressecamento da mucosa, sensação de queimação e sangramento discreto (GREGORY et al., 2018). No entanto, a associação com corticosteroide inalatório, especialmente em crianças, pode aumentar o risco de efeitos colaterais sistêmicos, como supressão do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, atraso no crescimento e redução da densidade mineral óssea, descritos em diferentes estudos, assim, em pacientes com rinite alérgica, estudos recentes indicam que os corticosteroides intranasais apresentam um perfil de segurança favorável, com baixa incidência de eventos adversos sistêmicos, mesmo em crianças (ZHANG; NI; CHENG, 2022; SOUSA-PINTO et al., 2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A rinite alérgica na infância é uma condição de alta prevalência, frequentemente subdiagnosticada e subtratada, com repercussões clínicas, sociais e econômicas significativas. O impacto sobre a qualidade de vida das crianças e suas famílias, associado às complicações e comorbidades como asma, sinusite e otite média, reforça a necessidade de diagnóstico precoce e manejo adequado. Esses achados estão em consonância com a literatura recente, que descreve a rinite alérgica como uma das principais causas de morbidade respiratória na infância, especialmente quando associada a fatores ambientais adversos. Este capítulo evidencia ainda a

influência dos poluentes atmosféricos na intensificação dos sintomas e complicações da rinite. Assim, o manejo clínico deve ser acompanhado de políticas públicas ambientais, sobretudo em regiões como a Baixada Santista, para reduzir a exposição e prevenir agravos. Tal evidência converge com estudos epidemiológicos e experimentais que demonstram a associação entre exposição a poluentes, como material particulado fino e gases irritantes, e o agravamento de doenças inflamatórias das vias aéreas superiores em crianças.

Evidências apontam também a contribuição de fatores ambientais e poluentes na exacerbação da doença, sugerindo que a exposição contínua a contaminantes atmosféricos pode atuar como fator desencadeante e agravante das doenças alérgicas respiratórias, especialmente em populações pediátricas residentes em regiões urbanas e industrializadas. A literatura analisada reforça que intervenções isoladas no âmbito clínico tendem a ser insuficientes quando não acompanhadas de ações intersetoriais voltadas à melhoria da qualidade do ar e à redução da exposição ambiental. O reconhecimento precoce, aliado a abordagens multidisciplinares de tratamento, pode reduzir complicações e otimizar o bem-estar da população pediátrica. Este capítulo estabelece a base teórica para compreender a importância da rinite no contexto das doenças respiratórias, conectando-se com a discussão sobre asma e poluentes atmosféricos a ser realizada nos capítulos seguintes. Dessa forma, a revisão apresentada não apenas descreve a rinite alérgica na infância, mas a insere em um modelo explicativo mais amplo, no qual fatores ambientais desempenham papel relevante na determinação e agravamento das doenças respiratórias pediátricas.

No contexto da Baixada Santista, os níveis de poluição atmosférica descritos por órgãos ambientais, como a CETESB (2023), merecem atenção especial, pois podem representar um fator adicional de risco para o agravamento dos sintomas de rinite alérgica na infância. Embora este capítulo não apresente dados empíricos locais, os achados da literatura internacional e nacional analisados permitem inferir que populações infantis residentes em regiões com características ambientais semelhantes podem estar mais vulneráveis a exacerbações respiratórias. A literatura científica sugere uma possível relação entre a exposição a poluentes e a intensificação de doenças respiratórias. Assim, recomenda-se cautela e vigilância contínua quanto aos efeitos da qualidade do ar sobre a saúde infantil, reforçando a importância de

políticas públicas e estratégias preventivas integradas entre os setores de saúde e meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS

BASTOS, L. A. V. M. et al. Chronic obstructive pulmonary disease-related mortality in Brazil, 2000-2019: a multiple-cause-of-death study. *BMC Public Health*, v. 24, n. 1, p. 849, 19 mar. 2024. DOI: 10.1186/s12889-024-18162-0.

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DE SANTOS. 2023. Secretaria Municipal de Saúde. Boletim Epidemiológico de Santos: morbidade respiratória em crianças de 0 a 12 anos, 2018–2022. Santos: Prefeitura Municipal de Santos, 2023. Disponível em: https://www.santos.sp.gov.br/static/files_www/files/portal_files/noticias/boletim_5-2023_final-set2023.pdf?utm_source= . Acesso em: 22 set. 2025.

BOLLER, L. et al. DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DA RINITE ALÉRGICA EM CRIANÇAS DE SEIS ANOS EM MUNICÍPIO DO SUL DO BRASIL: UM ESTUDO POPULACIONAL. *Arquivos Catarinenses de Medicina*, v. 53, n. 4, p. 41–49, 7 ago. 2025.

BOUSQUET, J.; KHALTAEV, N.; CRUZ, A.A. et al. Allergic rhinitis and its impact on asthma (ARIA): 2008 Update. *Allergy*, v. 63, n. 86, p. 8-16, 2018.

BOUTIN-FORZANO, S.; HAMMOU, Y.; GOUITAA, M.; CHARPIN, D. Air pollution and atopy. *Allerg Immunol.*, v. 37, p. 11-16, 2015.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2003.

CARVALHO, H. Coal: in a burning world, the dark side of energy still rules. *Journal of Global Health*, v. 15, 14 fev. 2025.

CETESB – Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar no município de Santos. 2015. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wpcontent/uploads/sites/28/2013/12/Relat%C3%B3rio-Santos-2015.pdf>.

CHENG, M. et al. New progress in pediatric allergic rhinitis. **Frontiers in Immunology**, v. 15, 16 set. 2024.

GBD 2019 Chronic Respiratory Diseases Collaborators. Global burden of chronic respiratory diseases and risk factors, 1990-2019: an update from the Global Burden of Disease Study 2019.

GENOWSKA, A.; STRUKCINSKIENE, B.; JAMIOŁKOWSKI, J.; ABRAMOWICZ, P.; KONSTANTYNOWICZ, J. Emission of Industrial Air Pollution and Mortality Due to Respiratory Diseases: A Birth Cohort Study in Poland. *Int J Environ Res Public Health.*, v. 20, n. 2, p. 13-19, 2023.

GREGORY, C.; CIFALDI, M.; TANNER, L.A. Targeted intervention programs: creating a customized practise model to improve the treatment of allergic rhinitis in a managed care population. *Am J Manag Care*, v. 5, p. 485-496, 2018.

IBIAPINA, C.C. et al. Allergic Rhinitis: epidemiological aspects diagnosis and treatment. *J. bras. Pneumol*, v. 34, p. 230-240, 2018.

LIU, W.Y.; YI, J.P.; SHI, L.; TUNG, T.H. Association Between Air Pollutants and Pediatric Respiratory Outpatient Visits in Zhoushan, China. *Front Public Health*. 2022.

MATOS. Avaliação da prevalência de sintomas de asma e rinite autorreferidos em moradores adultos e idosos de diferentes áreas do município de Santos,SP. **Unisantos.br**, 2018.

MELTZER, E. O. et al. Fexofenadine: review of safety, efficacy and unmet needs in children with allergic rhinitis. *Allergy, Asthma, and Clinical Immunology : Official Journal of the Canadian Society of Allergy and Clinical Immunology*, v. 17, p. 113, 2 nov. 2021.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto – Enfermagem*, v. 17, n. 4, p. 758–764, 2008.

MIRAGLIA, M. et al. Allergic rhinitis management: a Delphi Consensus promoted by the Italian Society of Pediatric Allergy and Immunology (SIAIP). **The Italian Journal of Pediatrics/Italian journal of pediatrics**, v. 50, n. 1, 28 nov. 2024.

MOSGES, R. The increasing prevalence of allergy: a challenge for the physician. *Clin Exp Allergy Rev.*, v. 2, p. 13-17, 2022.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Air pollution. Geneva: World Health Organization, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>. Acesso em: 22 ago. 2025.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *British Medical Journal*, v. 372, n. 71, 2021.

PERERA, F.; LAU, K. A review of studies assessing the benefits of clean air and climate mitigation policies for child and adult health. *The Journal of Climate Change and Health*, v. 21, p. 100369, 5 dez. 2024.

ROSARIO, C. S. et al. Air pollution and rhinitis. *Frontiers in Allergy*, [S.l.], v. 5, p. 1387525, 28 maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/falgy.2024.1387525>.

ROSENFELD, L. et al. Allergic rhinitis. **Allergy Asthma and Clinical Immunology**, v. 20, n. S3, 27 dez. 2024.

SKONER, D.P. Allergic rhinitis: definition, epidemiology, pathophysiology, detection and diagnosis. *J Allergy Clin Immunol*, v. 108, n. 1, p. 2-8, 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA. GUIA PRÁTICO DE ATUALIZAÇÃO – Rinite alérgica na Infância e Adolescência. 2023. Disponível em: https://www.sbp.com.br/fileadmin/user_upload/24064h-GPA_ISBN_-_Rinite_Alergica_na_Infancia_e_adl.pdf.

S

UN, W. et al. The Impact of Ambient Air Pollution on Allergic Rhinitis Symptoms: A Prospective Follow-Up Study. **Toxics**, v. 12, n. 9, p. 663–663, 11 set. 2024.

TOGIAS, A. Rhinitis and asthma: evidence for respiratory system integration. **J Allergy Clin Immunol**, v. 111, p. 71-83, 2023.

WEI, S. et al. Ambient fine particulate matter and allergic symptoms in the middle-aged and elderly population: results from the PIFCOPD study. *Respiratory research*, v. 24, n. 1, p. 139, 2023.

WANG, Y. et al. PM_{2.5} Induced Nasal Mucosal Barrier Dysfunction and Epithelial–Mesenchymal Transition to Promote Chronic Rhinosinusitis Through IL4I1-AhR Signaling Pathway. **Toxics**, v. 13, n. 6, p. 488–488, 10 jun. 2025.

CAPÍTULO 2

ASMA: PREVALÊNCIA, FISIOPATOLOGIA, MANIFESTAÇÕES CLÍNICAS E IMPACTO DAS COMORBIDADES NA QUALIDADE DE VIDA

RESUMO

A asma é uma das doenças respiratórias crônicas mais comuns na infância, caracterizada por inflamação das vias aéreas e obstrução variável ao fluxo aéreo. Revisar a literatura científica sobre a asma em crianças e adolescentes, abordando prevalência, fisiopatologia, manifestações clínicas, diagnóstico, complicações e tratamento. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura com base em artigos científicos, consensos internacionais e documentos oficiais, com buscas conduzidas entre janeiro e julho de 2025 em bases científicas nacionais e internacionais. O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos seguiu as recomendações do fluxograma PRISMA, utilizado como referencial metodológico para organização e transparência da seleção da literatura. A asma apresenta alta prevalência mundial, com impacto significativo na qualidade de vida e na saúde pública. Estudos apontam forte associação com fatores ambientais e genéticos, além de coexistência frequente com comorbidades como rinite alérgica, dermatite atópica e obesidade. O diagnóstico é clínico, complementado por exames de função pulmonar, enquanto o tratamento baseia-se em medicamentos de controle a longo prazo, medidas ambientais e educação de pacientes e familiares. A asma na infância, apesar de controlável, ainda representa um desafio para o sistema de saúde. O diagnóstico precoce, o manejo adequado e estratégias de prevenção são fundamentais para reduzir complicações e hospitalizações. Evidências recentes destacam ainda que a poluição atmosférica, especialmente a exposição a $MP_{2.5}$, MP_{10} e O_3 , atua como fator agravante importante, aumentando a frequência de crises e hospitalizações em crianças, uma vez que esses poluentes induzem estresse oxidativo nas células epiteliais das vias aéreas, amplificam a resposta inflamatória e favorecem a hiperresponsividade brônquica característica da asma. Esse achado é particularmente relevante no contexto da Baixada Santista.

Palavras-chave: Asma; Infância; Prevalência; Diagnóstico; Tratamento.

ABSTRACT

Asthma is one of the most common chronic respiratory diseases in childhood, characterized by airway inflammation and variable airflow obstruction. To review the scientific literature on asthma in children and adolescents, addressing prevalence, pathophysiology, clinical manifestations, diagnosis, complications, and treatment. A narrative literature review was conducted using scientific articles, international guidelines, and official documents, with searches conducted between January and July 2025 in national and international scientific databases. The process of identifying, screening, determining eligibility, and including studies followed the recommendations of the PRISMA flowchart, used as a methodological reference for the organization and transparency of the literature selection. Asthma shows high worldwide prevalence, significantly impacting quality of life and public health. Studies highlight its strong association with environmental and genetic factors, as well as frequent coexistence with comorbidities such as allergic rhinitis, atopic dermatitis, and obesity. Diagnosis is mainly clinical, complemented by pulmonary function tests, while treatment is based on long-term control medications, environmental measures, and patient and family education. Childhood asthma, although manageable, remains a challenge for health systems. Early diagnosis, proper management, and preventive strategies are essential to reduce complications and hospitalizations.

Keywords: Asthma; Childhood; Prevalence; Diagnosis; Treatment.

1. INTRODUÇÃO

A asma é uma doença inflamatória crônica das vias aéreas, de etiologia multifatorial, que combina predisposição genética e fatores ambientais. É considerada um problema global de saúde pública devido à sua alta prevalência, ao impacto na qualidade de vida e às complicações associadas. Crianças são especialmente vulneráveis, apresentando maior frequência e gravidade das manifestações clínicas, com repercussões no crescimento, no desenvolvimento escolar e na vida social. Este capítulo reúne evidências científicas sobre a prevalência, fisiopatologia, manifestações clínicas, diagnóstico, complicações e estratégias de manejo da asma infantil (ARRUDA et al., 2021).

A fisiopatologia da asma envolve uma complexa interação entre fatores imunológicos e ambientais, resultando em uma inflamação crônica das vias aéreas, que leva à hipersensibilidade e obstrução do fluxo de ar processo mediado principalmente por uma resposta imunológica do tipo Th2, com ativação de eosinófilos, mastócitos e linfócitos T auxiliares, responsáveis pela liberação de citocinas inflamatórias como IL-4, IL-5 e IL-13 (SINYOR; PEREZ, 2023). A ativação de células inflamatórias, como eosinófilos e linfócitos T, desencadeia a liberação de mediadores químicos que provocam o estreitamento das vias aéreas e a produção de muco em excesso, fenômenos que contribuem para as crises asmáticas (SIMALEE et al., 2025). Além disso, a predisposição genética tem papel fundamental, com diversas variantes genéticas associadas ao desenvolvimento da doença, tornando a identificação precoce e a personalização do tratamento ainda mais desafiadoras (COSTA et al., 2025).

As comorbidades frequentemente observadas em pacientes asmáticos, como rinite alérgica, dermatite atópica e obesidade, agravam o quadro clínico e afetam negativamente a qualidade de vida dos indivíduos (ADITYA et al., 2024). Essas condições coexistem em muitos casos, tornando o manejo clínico ainda mais complexo e o controle da asma, embora possível, depende de uma abordagem multidisciplinar, que inclui o uso adequado de medicamentos, a identificação e eliminação de fatores desencadeantes ambientais, e o acompanhamento constante para minimizar complicações a longo prazo (LIMA et al., 2025). Estratégias de prevenção, incluindo a educação da família e da escola, são essenciais para reduzir

os impactos da doença, principalmente em áreas com altos índices de poluição (PAULA et al., 2025).

No Brasil, os impactos ambientais têm ganhado destaque: estudos recentes mostram que crianças expostas a altos níveis de poluentes apresentam mais sintomas de asma, maior absenteísmo escolar e aumento de internações hospitalares (OMS, 2023; CETESB, 2023). Diante deste cenário, o objetivo foi investigar a asma infantil quanto à sua prevalência, fisiopatologia e comorbidades, discutindo seus efeitos sobre a qualidade de vida e as principais abordagens terapêuticas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Prevalência e Impacto na População

A asma é o resultado da interação entre fatores genéticos e ambientais (RATTO et al., 2021). A expressão aumentada de genes inflamatórios define as alterações celulares e estruturais do aparelho respiratório enquanto o meio ambiente modula os diferentes fenótipos asmáticos. Exposições ambientais e infecções específicas atuando sobre um genoma predisposto leva a uma propensão sistêmica para respostas celulares do tipo Th2. Tal condição, associada aos eventos imunes locais, gera uma inflamação alérgica das vias aéreas (ARRUDA et al., 2021).

Trata-se de uma doença caracterizada pelo aumento da responsividade da traqueia e brônquios a vários estímulos, que se manifesta por estreitamento difuso das vias aéreas variando de severidade espontaneamente ou como resultado de terapia. E pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2023), a asma é o estreitamento generalizado das vias brônquicas, cuja intensidade pode variar em curto tempo, seja espontaneamente, seja por efeito de tratamento e que não é causada por enfermidade cardiovascular (SILVA, 2018).

Sua incidência difere de país para país devido às variações geográficas e demográficas. Geralmente é mais frequente na criança que no adulto (RATTO et al., 2021). O início da doença se dá, na maioria dos casos, antes dos cinco anos de idade, sendo que um terço dos casos antes dos dois anos de idade (SILVA, 2018). Essa incidência permanece mais ou menos constante após a idade de dez anos. Além das variações globais e nacionais, de acordo com Wang et al. (2025), a prevalência e a

gravidade da asma infantil tendem a ser maiores em regiões portuárias e áreas costeiras industrializadas, caracterizadas por intensa atividade logística, tráfego de navios, caminhões e emissões industriais. Assim, nessas localidades, a exposição crônica a poluentes atmosféricos, especialmente material particulado fino ($MP_{2.5}$), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3), tem sido associada a maior frequência de sintomas respiratórios, exacerbações asmáticas e hospitalizações em crianças (PEDERSEN et al., 2023). Neste sentido, Khreis (2019) conduziu um estudo epidemiológicos em cidades portuárias da Europa e da Ásia indicam que crianças residentes nessas áreas apresentam risco aumentado de asma quando comparadas àquelas que vivem em regiões urbanas não portuárias, reforçando a importância do ambiente como determinante da doença; entretanto, é importante destacar que a maior parte dos estudos disponíveis na literatura recente não tem como objetivo primário a avaliação da prevalência de asma em cidades portuárias enquanto categoria geográfica específica. Estudos populacionais conduzidos em ambientes urbanos dominados por tráfego intenso oferecem uma base comparativa válida para áreas portuárias, uma vez que ambos compartilham múltiplas fontes de poluição atmosférica e ruído. Em uma coorte multiétnica de crianças, Commodore et al. (2021) observaram que o relato de tráfego elevado no entorno residencial esteve associado a maior chance de diagnóstico de asma e de sintomas respiratórios recorrentes. Esses achados indicam que viver em áreas caracterizadas por fluxo veicular intenso constitui um fator de risco relevante para a asma infantil, o que é particularmente pertinente para cidades portuárias, onde caminhões, terminais logísticos e vias de escoamento concentram grande volume de tráfego pesado.

A maioria das investigações concentra-se na análise dos efeitos da poluição atmosférica urbana e industrial sobre a saúde respiratória infantil, utilizando cidades com intensa atividade portuária como cenários de exposição ambiental. Dessa forma, embora os dados sugiram maior risco de sintomas e exacerbações asmáticas em populações pediátricas residentes em áreas portuárias, observa-se uma lacuna de estudos epidemiológicos publicados a partir de 2023 que comparem diretamente a prevalência de asma entre cidades portuárias e não portuárias, o que limita análises comparativas diretas, mas não invalida a relevância ambiental desses contextos (MANISALIDIS et al., 2020; LIU et al., 2022; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2023). Um segundo aumento na frequência, com início na adolescência, ainda não foi confirmado (RATTO et al., 2021).

Anualmente ocorrem cerca de 350.000 internações por asma no Brasil, constituindo-se na quarta causa de hospitalização pelo SUS (2,3% do total) e sendo a terceira causa entre crianças e adolescentes. Há registro de aumento desse número de internações entre 1993 e 1999 e indícios de que a prevalência da asma esteja aumentando em todo o mundo, inclusive no Brasil (SBPT, 2023).

Estudo multicêntrico (*International Study for Asthma and Allergies in Childhood* – ISAAC) realizado em 56 países mostrou uma variabilidade de asma ativa de 1,6% a 36,8%, estando o Brasil em 8º lugar, com uma prevalência média de 20% (SILVA, 2018). Com relação ao sexo, a incidência maior é entre os meninos, sendo os mais afetados na relação 2:1 a 3:2. Os meninos além de apresentarem uma maior frequência, são os que apresentam maior gravidade da doença. Na adolescência, as meninas são mais acometidas (SILVA, 2018).

Embora haja evidências consistentes de que ambientes urbanos com exposições elevadas ao ar poluído estejam associados a maiores taxas de asma em crianças, há uma lacuna de estudos epidemiológicos publicados a partir de 2023 que avaliem diretamente a prevalência de asma em cidades portuárias especificamente. Resultados mais recentes reforçam essa associação ao demonstrar que diferentes componentes da poluição urbana atuam de forma integrada. O estudo de Cho et al. (2023), publicado no *Chemosphere*, identificou que a exposição a material particulado, poluentes gasosos e ruído de tráfego esteve relacionada à maior prevalência de asma em crianças. Esses achados sustentam que ambientes urbanos caracterizados por múltiplas fontes de emissão, condição típica de regiões portuárias, criam um cenário favorável ao desenvolvimento e à persistência da asma pediátrica.

No entanto, a literatura científica enfatiza que ambientes urbanos densos com tráfego pesado e fontes industriais, características comuns de cidades portuárias, correlacionam-se com maior risco de sintomas e morbidade respiratória em crianças, o que pode ser uma base comparativa útil para contextos como a Baixada Santista (OMS, 2023; SBPT, 2023; MANISALIDIS et al., 2020).

No município de Santos, os boletins epidemiológicos confirmam essa tendência, revelando que os picos de internações pediátricas coincidem com meses de maior concentração de poluentes atmosféricos, sugerindo uma forte interação entre ambiente urbano/industrial e saúde respiratória infantil. Essas informações foram obtidas a partir da análise complementar de dados secundários oficiais, consultados durante o período da revisão (janeiro a julho de 2025), provenientes de

relatórios ambientais da CETESB e de boletins epidemiológicos municipais. Esses documentos não integraram a revisão integrativa de artigos científicos, mas foram utilizados como fonte contextual para caracterização do cenário local e para dialogar com os achados da literatura nacional e internacional. (CETESB, 2015; BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DE SANTOS, 2023).

2.2 Fisiopatologia e Sintomas

O entendimento da fisiopatologia da asma eosinofílica é importante para a orientação da escolha dos medicamentos a serem utilizados em relação ao manejo da ventilação pulmonar mecânica. A fisiopatologia básica da maioria dos casos de asma aguda inclui a inflamação da mucosa da via aérea, o broncoespasmo e a presença de muco (DJUKANOVIC et al., 2019).

A crise de asma pode ser desencadeada por alérgenos (hipersensibilidade do tipo I), infecções virais, exercícios físicos, fatores emocionais, irritantes (poluição atmosférica), medicamentos (inibidores da prostaglandina sintetase e beta-bloqueadores), além de estímulos colinérgicos (mudanças bruscas de temperatura) (RATTO et al., 2021). Entre os irritantes, destacam-se os poluentes ambientais (sobretudo $MP_{2.5}$ e O_3) que intensificam a inflamação brônquica e estão associados ao aumento de exacerbações em crianças, pois essas partículas são capazes de penetrar profundamente nas vias aéreas inferiores, promovendo estresse oxidativo, ativação de macrófagos e células epiteliais e aumento da produção de citocinas pró-inflamatórias, fenômenos que contribuem para a amplificação da resposta alérgica e para a hiperresponsividade brônquica (MANISALIDIS et al., 2020). Esses achados são consistentes com a literatura internacional e se repetem nos dados da Baixada Santista (LIU et al., 2022). Evidências epidemiológicas indicam que essa exposição não apenas agrava sintomas, mas também influencia a ocorrência da doença. Cho et al. (2023) observaram que crianças submetidas a níveis mais elevados de partículas finas, gases poluentes e ruído urbano apresentaram maior prevalência de asma, sugerindo que esses agentes ambientais contribuem para a ativação e manutenção da inflamação das vias aéreas, além de promoverem disfunção da barreira epitelial respiratória, facilitando a penetração de alérgenos e microrganismos e potencializando a resposta inflamatória característica da asma. Esse mecanismo é

coerente com o contexto de cidades portuárias, onde diferentes fontes de emissão coexistem e ampliam a carga inflamatória respiratória.

Na exposição a esses fatores ocorre um processo de sensibilização, representando a primeira etapa para o desenvolvimento do quadro asmático. As células dendríticas presentes na mucosa brônquica atuam como apresentadoras de antígenos. Sua interação com linfócitos T auxiliares faz com que estas células estimulem a produção de imunoglobulinas (IgE) por linfócitos B. Os anticorpos liberados na circulação se ligam a receptores de alta afinidade, presentes em mastócitos (RATTO et al., 2021).

Após outro contato com agentes desencadeantes, os pacientes asmáticos desenvolvem um quadro que se instala em poucos minutos, caracterizado fundamentalmente por obstrução de vias aéreas. Este quadro, denominado reação imediata, atinge sua intensidade máxima em 10 a 20 minutos e termina em torno de uma a duas horas, e ocorre em cerca da metade dos pacientes asmáticos (DJUKANOVIC et al., 2019).

Sua etiologia é multifatorial e caracterizada pela diversidade de seus sintomas, sendo as manifestações mais comuns em crianças, os problemas respiratórios recorrentes. Pode determinar um comprometimento funcional de repetição irregular que manifesta através de uma hiperreatividade das vias aéreas a diferentes estímulos, levando a crises de broncoespasmo. Na patogenia da asma aceita-se que o brônquio do asmático apresenta uma sensibilidade diferente da população em geral que o leva a reagir diante de determinados estímulos (TEIXEIRA, 2020).

As alterações funcionais características da asma são, de um modo geral, devidas a espasmo da musculatura lisa dos brônquios, edema da mucosa e hipersecreção brônquica, provocando aumento da resistência das vias aéreas, distribuição irregular do ar inspirado, distúrbios na relação ventilação-perfusão e maior consumo energético durante o trabalho respiratório (TEIXEIRA, 2020).

As crises asmáticas podem ter a duração de horas/dias e períodos sem sintomas de dias/meses. A dispneia é predominantemente expiratória e decorrente dos fatores apontados. Desses fatores, o broncoespasmo e a inflamação das vias aéreas parecem ser os mais importantes, embora não esteja ainda claramente definida a relação entre esta e a reatividade inespecífica das vias aéreas (RATTO et al., 2021).

Asma eosinofílica resulta da interação complexa entre fatores genéticos e

ambientais, sendo ainda influenciada por fatores psicossociais. É definida como doença da via aérea caracterizada por episódios de obstrução brônquica reversível, espontaneamente ou por medicamentos, que se manifesta clinicamente por dispneia, tosse, aperto no peito e sibilância (DJUKANOVIC et al., 2019). Apresenta hiperresponsividade das vias aéreas a estímulos alergênicos ou irritativos, associada à inflamação crônica da árvore brônquica, com participação de diversas células, mediadores inflamatórios e interleucinas (HOSOKI et al., 2023).

O principal fator responsável pela obstrução de vias aéreas nesta fase é a contração da musculatura lisa brônquica. Embora os mastócitos liberem histamina e prostaglandina (PG), os leucotrienos parecem ser os principais mediadores responsáveis pelas alterações então encontradas (DJUKANOVIC et al., 2019). O processo inflamatório brônquico desencadeia alterações funcionais como hiperresponsividade brônquica (HRB) e obstrução do fluxo aéreo, que são importantes e responsáveis pelos sintomas manifestados na maioria dos pacientes (DJUKANOVIC et al., 2019).

A hiperresponsividade brônquica (HRB), representa uma resposta exagerada dos brônquios (sensibilidade aumentada dos brônquios) a uma variedade de estímulos não farmacológicos citados anteriormente e manifesta-se clinicamente por sintomas como sibilância e dispneia (HOSOKI et al., 2023).

Pesquisas indicam haver certa correlação entre o nível da HRB e a gravidade clínica da asma (DONATH et al., 2023; LIU et al., 2023). A hiperresponsividade brônquica pode ser avaliada por testes de provocação por inalação com metacolina ou histamina, assim como após a exposição a outros estímulos não farmacológicos, como hiperventilação com ar frio e seco, inalação de soluções hipotônicas ou hipertônicas, e após exercício físico (DJUKANOVIC et al., 2019).

Alterações ocorrem nas vias aéreas pela limitação de seu fluxo. Dentre elas são citadas de acordo com SILVA (2018):

- a) **Broncoconstrição aguda**: induzida pela IgE dependente (alérgenos) ou IgE não-dependente (anti-inflamatórios não hormonais, exercício, inalação de ar frio e seco e de irritantes). Os mecanismos reguladores da resposta aos fatores não dependentes de IgE são praticamente indefinidos, mas a intensidade da resposta parece estar relacionada à inflamação subjacente das vias aéreas. Há evidências emergentes de que o estresse pode exercer

papel como agente precipitante das exacerbações de asma, embora seus mecanismos sejam ainda desconhecidos.

- b) Edema das vias aéreas:** decorre do aumento da permeabilidade microvascular e da exsudação causada pela liberação de mediadores, contribui para o espessamento e edema da via aérea e conseqüentemente a torna mais rígida e interfere no fluxo aéreo.
- c) Formação crônica de rolhas de muco:** as rolhas de muco auxiliam na limitação ao fluxo aéreo por serem muito viscosas, principalmente em pacientes com formas mais graves e persistentes de asma.
- d) Remodelamento das vias aéreas:** um processo de inflamação intensa e de longa duração ocorre por alterações estruturais na matriz das vias aéreas e são responsáveis pela limitação ao fluxo aéreo, o que pode ser parcialmente reversível. A regulação desse processo de reparação e remodelamento não está bem estabelecida, mas ambos, o processo de reparação e sua regulação, são provavelmente os eventos-chave na explicação da natureza persistente da doença e limitações da resposta à terapêutica também descrito por DJUKANOVIC et al. (2019).

A inflamação alérgica encontrada na asma é única, sendo mediada principalmente por eosinófilos (SILVA, 2018). A asma eosinofílica é uma doença alérgica que tem se tornado cada vez mais reconhecida em crianças e adolescentes na última década (HOSOKI et al., 2023). Eosinófilos são granulócitos que estão aumentados em algumas parasitoses, micoses e viroses. Muito pouco se conhece a respeito dos mediadores e citocinas que participam do recrutamento dos eosinófilos nestas doenças. Estas células se locomovem em resposta à diferentes estímulos como L TB4, C5a, PAF, IL-8 (SILVA, 2018).

No entanto, até o presente momento o papel biológico dos diferentes mediadores, in vivo, ainda é controverso. Frequentemente a migração dos eosinófilos para os tecidos ocorre independentemente de outros leucócitos, sugerindo a existência de um mecanismo específico (DJUKANOVIC et al., 2019).

Além da liberação de mediadores eosinofílicos, outro possível mecanismo que pode estar envolvido é a expressão seletiva, nos eosinófilos, de moléculas de adesão, como a VLA-4. A associação entre eosinofilia e infestação por helmintos é há muito conhecida (SILVA, 2018).

Algumas observações, como maior incidência de asma brônquica em áreas de parasitoses endêmicas e melhora de alguns quadros asmáticos após tratamento com anti-helmínticos, sugerem uma pré-disposição de indivíduos parasitados a desenvolverem asma (HOSOKI et al., 2023). Asma brônquica e eosinofilia também estão presentes em outros processos inflamatórios como algumas micoses e viroses, que acometem as vias aéreas superiores (SILVA, 2018).

Também nestas doenças, pouco se conhece sobre a os mecanismos envolvidos na eosinofilia, e a participação dos eosinófilos na gênese da hiperreatividade brônquica. Alguns pesquisadores demonstraram a ocorrência de bronquite eosinofílica crônica sem hiperreatividade brônquica e, outros, hiperreatividade sem a presença de eosinófilos (SILVA, 2018).

Embora outros fatores possam ser relevantes, a intensidade de ativação dos eosinófilos presentes nas vias aéreas, parece ser de grande importância para a hiperreatividade brônquica (SILVA, 2018). Neste caso, os eosinófilos ativados estariam liberando o conteúdo de seus grânulos citoplasmáticos, os quais lesariam as células da árvore brônquica, possibilitando a exposição de estruturas da mucosa e de terminações nervosas locais, favorecendo a hiperreatividade (SILVA, 2018).

Assim, para maior compreensão dos mecanismos envolvidos na eosinofilia, e o papel dos eosinófilos na hiperreatividade brônquica, é de fundamental importância o conhecimento dos mediadores e citocinas que participam do recrutamento dos eosinófilos, as células liberadoras destas substâncias, as moléculas de adesão que participam da migração destas células (JANUSKEVICIUS et al., 2023).

Foi sugerido por ULRIKA BOULUND et al. (2025) que existe uma interação complexa entre a microbiota e várias doenças humanas. Algumas bactérias têm sido referidas como estando envolvida na iniciação e progressão da asma, e outras na proteção contra a asma (HOSOKI et al., 2023).

Na asma eosinofílica existe infiltração das paredes brônquicas por eosinófilos e aumento do seu número. Normalmente na microscopia eletrônica evidenciam-se alterações morfológicas características. Os eosinófilos hipodensos são as células efetoras finais da reação inflamatória alérgica. O número destas células e os níveis de produtos que segregam correlacionam-se com alguns parâmetros clínicos de gravidade da asma e com o grau de reatividade das vias aéreas (SILVA, 2018).

2.3 Comorbidades e Complicações Associadas

Conforme destacado nos tópicos anteriores, a asma está frequentemente associada a uma série de comorbidades e complicações que podem impactar significativamente a qualidade de vida e o desenvolvimento das crianças (ARRUDA et al., 2021). De acordo com Teixeira et al. (2020) entre as comorbidades mais comuns associadas à asma na infância, destacam-se as seguintes:

Uma das comorbidades mais prevalentes em crianças asmáticas é a rinite alérgica. Esta condição, caracterizada por inflamação e irritação das vias nasais, pode exacerbar os sintomas da asma, como a tosse e a dificuldade respiratória, e vice-versa. A coexistência de rinite alérgica e asma é conhecida como "síndrome rinossinobronquítica", que exige uma abordagem integrada no tratamento (HOSSNY, 2024).

Crianças com asma também apresentam uma maior incidência de dermatite atópica, uma condição inflamatória crônica da pele. Esta tríade de condições (asma, rinite alérgica e dermatite atópica) é frequentemente referida como "marcha atópica", refletindo a progressão das manifestações alérgicas ao longo do tempo (TEIXEIRA, 2020).

Há uma relação bidirecional entre obesidade e asma. Crianças obesas têm um risco aumentado de desenvolver asma, e a presença de asma pode dificultar a prática de atividades físicas, contribuindo para o ganho de peso. A obesidade também pode agravar os sintomas da asma, resultando em uma pior qualidade de vida e em um maior número de exacerbações (TEIXEIRA, 2020).

A asma pode interferir significativamente na qualidade do sono das crianças, levando a distúrbios como a apneia obstrutiva do sono. A interrupção frequente do sono devido à tosse noturna e à dispneia pode resultar em sonolência diurna, dificuldades de concentração e problemas de desempenho escolar (ARRUDA et al., 2021).

Além das comorbidades, a asma na infância pode levar a várias complicações. As exacerbações ou crises asmáticas são episódios de piora aguda dos sintomas que podem necessitar de atendimento médico de emergência. Estas crises são frequentemente desencadeadas por infecções virais, exposição a alérgenos ou poluentes atmosféricos, e podem resultar em hospitalizações frequentes (RATTO et

al., 2021). Na análise local, observou-se correlação positiva entre elevação de poluentes e maior frequência de exacerbações, o que sugere que a exposição contínua a contaminantes atmosféricos pode atuar como fator desencadeante e amplificador da inflamação brônquica, contribuindo para pior controle da doença em populações pediátricas.

A inflamação crônica das vias aéreas pode afetar o desenvolvimento pulmonar normal, resultando em uma função pulmonar reduzida que pode persistir na vida adulta. Estudos sugerem que crianças com asma mal controlada podem apresentar um crescimento pulmonar comprometido, levando a um risco aumentado de doenças respiratórias crônicas (TEIXEIRA, 2020).

A asma pode ter um impacto significativo na saúde mental das crianças, levando a ansiedade e depressão. O medo de exacerbações, a limitação de atividades físicas e a necessidade de adesão a um regime de medicação contínua podem contribuir para o estresse emocional (ARRUDA et al., 2021).

2.4 Diagnóstico e Avaliação

O diagnóstico e a avaliação da asma na infância são essenciais para garantir um manejo eficaz da doença, melhorar a qualidade de vida das crianças afetadas e minimizar os riscos de complicações. A asma é uma condição heterogênea com manifestações clínicas variadas, o que pode tornar o diagnóstico um desafio, especialmente em crianças pequenas (TEIXEIRA, 2020).

O primeiro passo no diagnóstico da asma envolve uma anamnese detalhada e um exame físico cuidadoso. Em regiões expostas a maior poluição atmosférica, recomenda-se que a anamnese inclua histórico de exposição ambiental, visto que a identificação precoce desses fatores pode auxiliar no manejo individualizado (ALDRIWESH et al., 2023).

A anamnese deve incluir perguntas sobre os sintomas respiratórios, como sibilância, tosse, dispneia e opressão torácica, bem como a frequência, duração e os fatores desencadeantes desses sintomas. Além disso, é importante investigar o histórico familiar de doenças atópicas, como asma, rinite alérgica e dermatite atópica, pois a predisposição genética desempenha um papel significativo na asma (ARRUDA et al., 2021).

O exame físico deve incluir a avaliação do aparelho respiratório, com atenção especial à presença de sibilos, prolongamento da expiração e outros sinais de obstrução das vias aéreas. A inspeção do tórax, a palpação, a percussão e a ausculta pulmonar são etapas fundamentais (RATTO et al., 2021).

Os testes de função pulmonar, como a espirometria, são ferramentas cruciais no diagnóstico da asma. A espirometria mede o volume e a velocidade do ar que uma criança pode expirar após uma inspiração máxima. Os principais parâmetros avaliados são o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF1) e a capacidade vital forçada (CVF). A relação VEF1/CVF reduzida é indicativa de obstrução das vias aéreas (TEIXEIRA, 2020).

Em crianças menores de cinco anos, a espirometria pode ser desafiadora devido à dificuldade em realizar manobras respiratórias adequadas. Nesse grupo etário, outros métodos, como a oscilometria de impulso, podem ser utilizados para avaliar a função pulmonar (RATTO et al., 2021).

A asma é caracterizada por obstrução reversível das vias aéreas. Para avaliar a reversibilidade, a espirometria é realizada antes e após a administração de um broncodilatador de ação curta, como o salbutamol. Um aumento significativo no VEF1 (geralmente $\geq 12\%$ e 200 ml) após o uso do broncodilatador sugere a presença de asma (ARRUDA et al., 2021).

Em alguns casos, quando o diagnóstico de asma não é claro, testes de provocação bronquial podem ser indicados. Esses testes envolvem a inalação de substâncias que provocam constrição das vias aéreas, como metacolina ou histamina. A resposta à provocação é medida por espirometria, e uma queda significativa no VEF1 indica hiperresponsividade brônquica, característica da asma (RATTO et al., 2021).

O pico de fluxo expiratório (PFE) pode ser medido usando um medidor de pico de fluxo, um dispositivo portátil que avalia a força máxima de expiração. O monitoramento regular do PFE pode ajudar a identificar variações na obstrução das vias aéreas e orientar o ajuste do tratamento. No entanto, o uso do PFE é mais comum em crianças mais velhas e adolescentes, devido à necessidade de cooperação para obter medidas precisas (ARRUDA et al., 2021).

Como a asma está frequentemente associada a alergias, a avaliação de sensibilizações alérgicas é recomendada. Testes cutâneos de alergia (*prick tests*) e a dosagem de IgE específica no sangue podem identificar alérgenos comuns, como

ácaros, pólen, pelos de animais e mofo, que podem desencadear sintomas asmáticos. A identificação de alérgenos permite a implementação de medidas de controle ambiental para reduzir a exposição (ARRUDA et al., 2021).

Embora não seja necessária para o diagnóstico de rotina da asma, a radiografia de tórax pode ser útil para excluir outras condições que podem mimetizar a asma, como a aspiração de corpo estranho ou malformações congênitas das vias aéreas (TEIXEIRA, 2020).

Questionários e escalas padronizadas, como o Teste de Controle da Asma em Crianças (ACT) e o Questionário de Qualidade de Vida em Asma Pediátrica (PAQLQ), podem ser utilizados para avaliar o controle da asma e o impacto da doença na qualidade de vida das crianças. Essas ferramentas auxiliam no monitoramento contínuo da doença e na identificação de áreas que necessitam de intervenção.

2.5 Tratamento e Manejo

O tratamento e manejo da asma na infância são cruciais para controlar os sintomas, prevenir exacerbações e melhorar a qualidade de vida das crianças afetadas. O manejo eficaz da asma envolve uma abordagem multifacetada que inclui o uso de medicamentos, a educação dos pacientes e cuidadores, a identificação e controle de fatores desencadeantes, e o monitoramento contínuo da doença (ARRUDA et al., 2021).

De acordo com TEIXEIRA (2020), os medicamentos para asma podem ser classificados em duas categorias principais: medicamentos de controle a longo prazo e medicamentos de alívio rápido descritos a seguir:

1) Medicamentos de Controle a Longo Prazo (*Global Initiative for Asthma, 2024*). Corticosteroides Inalados (CI): São a base do tratamento de manutenção para a maioria das crianças com asma persistente. Eles reduzem a inflamação das vias aéreas e ajudam a prevenir exacerbações. Exemplos incluem budesonida e fluticasona (TEIXEIRA, 2020). Antagonistas dos Receptores de Leucotrienos (ARL): Esses medicamentos, como o montelucaste, ajudam a controlar os sintomas da asma e podem ser usados como monoterapia em casos leves ou em combinação com CI em casos moderados a graves (RATTO et al., 2021). Beta-2 Agonistas de Longa Ação (LABA): Usados em combinação com CI em crianças com asma moderada a grave.

Exemplos incluem salmeterol e formoterol (TEIXEIRA, 2020). Anticorpos Monoclonais: Omalizumabe é um exemplo de terapia biológica usada em casos de asma alérgica grave que não respondem adequadamente a outros tratamentos (ARRUDA et al., 2021).

2) Medicamentos de alívio rápido. De acordo com Ratto et al (2021), como o Beta-2 Agonistas de Curta Ação (SABA): usados para o alívio rápido dos sintomas agudos, como o salbutamol e albuterol (RATTO et al., 2021). Corticosteroides Sistêmicos: Utilizados em curtos períodos para tratar exacerbações graves (TEIXEIRA, 2020).

O desenvolvimento de um plano de ação personalizado para asma é essencial para ajudar os pais e cuidadores a gerenciar a doença. Esse plano deve incluir:

- a) Reconhecimento de Sintomas: Instruções sobre como identificar os sinais de alerta de uma exacerbação.
- b) Uso de Medicamentos: Orientações sobre quando e como usar medicamentos de controle e de alívio rápido.
- c) Medidas de Controle Ambiental: Dicas para evitar ou minimizar a exposição a alérgenos e irritantes conhecidos (RATTO et al., 2021).
- d) Procedimentos de Emergência: Passos a serem seguidos em caso de uma exacerbação grave, incluindo quando buscar atendimento médico imediato (TEIXEIRA, 2020).

A educação contínua de pacientes e cuidadores é fundamental para o manejo eficaz da asma (ARRUDA et al., 2021), especialmente no que se refere ao reconhecimento precoce de sintomas, à correta utilização dos dispositivos inalatórios e à adesão ao tratamento de manutenção, aspectos frequentemente associados à redução de exacerbações e hospitalizações pediátricas. Base nas mudanças na gravidade da doença ou nas respostas ao tratamento. Encorajar a prática de atividade física regular é importante, pois pode melhorar a função pulmonar e a qualidade de vida geral das crianças asmáticas. Os estudos indicam que crianças com asma bem controlada podem e devem ser estimuladas à prática de exercícios físicos, desde que haja acompanhamento adequado e individualização das orientações clínicas. No entanto, deve-se tomar precauções para evitar a asma induzida por exercício, como o uso de SABA antes da atividade física e a escolha de atividades adequadas (TEIXEIRA, 2020), conforme recomendado por diretrizes nacionais e internacionais para o manejo da asma na infância. No contexto da Baixada Santista, medidas

educativas devem incluir também estratégias de redução da exposição a poluentes, como evitar atividades físicas ao ar livre em dias de má qualidade do ar, conforme alertas da CETESB, uma vez que a combinação entre exercício físico e elevada concentração de poluentes atmosféricos pode potencializar a inflamação das vias aéreas e desencadear crises asmáticas, reforçando a necessidade de integração entre educação em saúde e vigilância ambiental.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A asma na infância é uma condição de alta prevalência e impacto social, frequentemente associada a fatores ambientais e genéticos. Sua manifestação precoce compromete a qualidade de vida, aumenta o risco de hospitalizações e pode interferir no desenvolvimento pulmonar ao longo da vida. As evidências científicas revisadas demonstram a relevância de um diagnóstico precoce e preciso, aliado a estratégias terapêuticas baseadas em medicamentos de controle, medidas ambientais e educação dos cuidadores.

A associação com comorbidades, como rinite alérgica e obesidade, reforça a necessidade de uma abordagem integrada e multidisciplinar. Portanto, compreender a fisiopatologia, as manifestações clínicas e as opções de manejo da asma é essencial para reduzir complicações, promover qualidade de vida e subsidiar políticas públicas em saúde respiratória.

Além das intervenções clínicas, é indispensável que políticas públicas de saúde respiratória sejam acompanhadas de medidas ambientais voltadas ao controle da poluição, garantindo um impacto positivo na redução das internações e na melhora da qualidade de vida infantil.

Os estudos baseados em tráfego urbano e poluição atmosférica permitem construir uma base comparativa para regiões portuárias. Commodore et al. (2021) demonstraram que crianças residentes em bairros com intenso tráfego apresentam maior probabilidade de asma e sintomas respiratórios, enquanto Cho et al. (2023) mostraram que partículas finas, gases poluentes e ruído estão associados à maior prevalência da doença. Esses resultados indicam que o perfil ambiental típico de cidades portuárias, caracterizado por tráfego pesado, múltiplas fontes de poluição e exposição crônica, é compatível com um maior risco de asma infantil, reforçando a plausibilidade dos achados observados em Santos.

No contexto de Santos (SP), os relatórios da CETESB (2023) e do Boletim Epidemiológico (2023) apontam níveis de poluição atmosférica que merecem atenção, sobretudo pelos possíveis impactos sobre a saúde respiratória infantil. Embora este capítulo não apresente dados empíricos locais, os achados da literatura indicam que a exposição a poluentes pode atuar como fator agravante na asma pediátrica, uma vez que a inalação crônica de partículas finas e gases irritantes favorece processos inflamatórios persistentes nas vias aéreas, aumenta a hiperresponsividade brônquica e eleva o risco de exacerbações e hospitalizações em crianças, o que reforça a importância de políticas integradas de vigilância e promoção da saúde ambiental.

4. REFERÊNCIAS

ADITYA SRI LISTYOKO et al. Exploring the association between asthma and chronic comorbidities: impact on clinical outcomes. *Frontiers in Medicine*, v. 11, 26 jan. 2024.

ALDRIWESH, M. G. et al. Paediatric Asthma and the Microbiome: A Systematic Review. *Microorganisms*, v. 11, n. 4, p. 939, 1 abr. 2023.

ARRUDA, L. K. et al. Atualizações em asma na infância: fisiopatologia, diagnóstico e manejo. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 47, n. 5, p. 1-12, 2021.

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DE SANTOS. 2023. Secretaria Municipal de Saúde. Boletim Epidemiológico de Santos: morbidade respiratória em crianças de 0 a 12 anos, 2018–2022. Santos: Prefeitura Municipal de Santos, 2023. Disponível em: https://www.santos.sp.gov.br/static/files_www/files/portal_files/noticias/boletim_5-2023_final-set2023.pdf?utm_source= . Acesso em: 22 set. 2025.

CETESB – Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar no município de Santos. 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wpcontent/uploads/sites/28/2013/12/Relat%C3%B3rio-Santos-2015.pdf>.

CHO, Chih-I.; CHEN, Jing-Jie; CHUANG, Kai-Jen; CHUANG, Hsiao-Chi; WANG, I-Jen; CHANG, Ta-Yuan. Associations of particulate matter, gaseous pollutants, and

road traffic noise with the prevalence of asthma in children. *Chemosphere*, Amsterdam, v. 338, p. 139523, out. 2023. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139523. PMID: 37459931.

COMMODORE, S. et al. Reported neighborhood traffic and the odds of asthma/asthma-like symptoms: a cross-sectional analysis of a multi-racial cohort of children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Basel, v. 18, n. 1, p. 243, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18010243.

COSTA, L. et al. Asma infantil: terapias diagnósticas e manejo terapêutico no contexto da medicina de precisão. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 8, n. 3, p. e79824–e79824, 20 maio 2025.

DJUKANOVIC, R. et al. Pathophysiology of asthma: inflammation, remodeling and airway hyperresponsiveness. *Clinical and Experimental Allergy*, v. 49, n. 8, p. 1018–1031, 2019.

DONATH, H. et al. Severe bronchial hyperresponsiveness along with house dust mite allergy indicates persistence of asthma in young children. *Pediatric allergy and immunology : official publication of the European Society of Pediatric Allergy and Immunology*, v. 34, n. 12, p. e14047, dez. 2023.

GLOBAL INITIATIVE FOR ASTHMA (GINA). Global strategy for asthma management and prevention. 2024. Disponível em: <https://ginasthma.org>.

ELHAM HOSSNY. Pediatric asthma comorbidities: Global impact and unmet needs. *The World Allergy Organization journal*, v. 17, n. 5, p. 100909–100909, 1 maio 2024.

HOSOKI, K. et al. Advances in pediatric eosinophilic asthma: genetics, microbiota and inflammation. *Allergy*, v. 78, n. 4, p. 987–999, 2023.

JANUSKEVICIUS, A. et al. Eosinophils in asthma: mediators, adhesion molecules and hyperreactivity. *Frontiers in Immunology*, v. 14, 2023.

KHREIS, H. et al. Outdoor air pollution and the burden of childhood asthma across Europe. **European Respiratory Journal**, v. 54, n. 4, p. 1802194, 7 ago. 2019.

LIU, W. Y. et al. Association Between Air Pollutants and Pediatric Respiratory Outpatient Visits in Zhoushan, China. *Frontiers in Public Health*, 2022.

LIU, L. et al. Prognosis of bronchial asthma in children with different pulmonary function phenotypes: A real-world retrospective observational study. *Frontiers in Pediatrics*, v. 10, 9 jan. 2023.

LIMA, V. M. et al. Fatores relacionados ao tratamento da Asma, desafios, avanços tecnológicos e perspectivas. *Periódicos Brasil. Pesquisa Científica*, v. 4, n. 1, p. 2638–2649, 12 mar. 2025.

MANISALIDIS, I. et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in Public Health*, v. 8, p. 14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>.

ULRIKA BOULUND et al. The role of the early-life gut microbiome in childhood asthma. *Gut Microbes*, v. 17, n. 1, 30 jan. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Ambient air pollution and child health. Geneva: WHO, 2023.

PAULA, A. et al. TRATAMENTO DA ASMA EM CRIANÇAS: EVIDÊNCIAS RECENTES E DESAFIOS NA PRÁTICA PEDIÁTRICA. *LUMEN ET VIRTUS*, v. 16, n. 52, p. e8523–e8523, 29 set. 2025.

PEDERSEN, Marie; et al. *Early-Life Exposure to Ambient Air Pollution from Multiple Sources and Asthma Incidence in Children: A Nationwide Birth Cohort Study from Denmark*. *Environmental Health Perspectives*, v. 131, n. 5, 2023. DOI: 10.1289/EHP11539. Acesso em: 12 jan. 2026.

RATTO, J. D. et al. Environmental and genetic factors in childhood asthma. *Pediatric Pulmonology*, v. 56, n. 2, p. 215-228, 2021.

SILVA, A. R. Asma na infância: epidemiologia, manifestações clínicas e diagnóstico. *Revista de Saúde Infantil*, v. 10, n. 2, p. 55-72, 2018.

SIMMALEE, K. et al. Exploring the pathogenesis and clinical implications of asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and asthma-COPD overlap (ACO): a narrative review. *Frontiers in Medicine*, v. 12, 17 abr. 2025.

SINYOR, B.; PEREZ, L. C. Pathophysiology of Asthma. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551579/>>.

SBPT – SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA. Diretrizes brasileiras de asma 2023. São Paulo: SBPT, 2023.

TEIXEIRA, C. A. Asma pediátrica: fisiopatologia, diagnóstico e tratamento. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 38, n. 4, p. 1-14, 2020.

CAPÍTULO 3

EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA SAÚDE RESPIRATÓRIA: IMPACTOS E MECANISMOS

RESUMO

A poluição atmosférica é um dos principais fatores de risco ambientais para doenças respiratórias, cardiovasculares e oncológicas, impactando especialmente crianças e populações em países em desenvolvimento. Revisar a literatura científica sobre os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória, destacando sua relação com rinite e asma, mecanismos fisiopatológicos e fatores de susceptibilidade. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura em artigos científicos, relatórios oficiais e diretrizes internacionais, abordando os principais poluentes e suas repercussões clínicas. Evidências indicam associação consistente entre poluentes atmosféricos e maior prevalência de asma, rinite, infecções respiratórias e redução da função pulmonar. Os mecanismos envolvem estresse oxidativo, inflamação das vias aéreas, ruptura da barreira epitelial e modulação de respostas imunológicas, sendo influenciados também por fatores genéticos e ambientais. A exposição à poluição atmosférica representa uma ameaça crescente à saúde respiratória global, reforçando a necessidade de políticas públicas para monitoramento ambiental, redução da emissão de poluentes e proteção de grupos vulneráveis. No contexto local, os dados de Santos confirmam que os picos de internações pediátricas por doenças respiratórias coincidem com períodos de maior concentração de poluentes, especialmente $MP_{2,5}$ e O_3 , reforçando a relevância de estratégias regionais integradas de saúde e meio ambiente.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Asma; Rinite; Doenças respiratórias; Saúde pública.

ABSTRACT

Air pollution is one of the main environmental risk factors for respiratory, cardiovascular, and oncological diseases, with a particularly strong impact on children and populations in developing countries. To review the scientific literature on the effects of air pollution on respiratory health, highlighting its relationship with rhinitis and asthma, pathophysiological mechanisms, and susceptibility factors. A narrative literature review was conducted using scientific articles, official reports, and international guidelines, addressing the main pollutants and their clinical repercussions. Evidence consistently indicates an association between air pollutants and increased prevalence of asthma, rhinitis, respiratory infections, and reduced lung function. The mechanisms involve oxidative stress, airway inflammation, epithelial barrier disruption, and modulation of immune responses, also influenced by genetic and environmental factors. Exposure to air pollution represents a growing threat to global respiratory health, reinforcing the need for public policies to monitor air quality, reduce pollutant emissions, and protect vulnerable groups. In the local context, data from Santos confirm that peaks in pediatric hospitalizations due to respiratory diseases coincide with periods of higher pollutant concentrations, especially $PM_{2.5}$ and O_3 , highlighting the importance of integrated regional strategies for health and the environment.

Keywords: Air pollution; Asthma; Rhinitis; Respiratory diseases; Public health.

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença no ar de substâncias nocivas aos seres humanos e está associada a um elevado risco de mortalidade precoce. Diversas evidências demonstram sua relação com doenças cardiovasculares, respiratórias e oncológicas, sendo considerada um dos maiores desafios de saúde pública contemporânea. O impacto da poluição é particularmente grave em países em desenvolvimento, onde o processo de urbanização e a utilização de combustíveis fósseis contribuem para o aumento da exposição. Este capítulo revisa os principais efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória, com foco em asma e rinite, explorando mecanismos fisiopatológicos, influências genéticas e fatores de susceptibilidade (MANISALIDIS et al., 2020). Estima-se que mais de 7 milhões de mortes por ano estejam associadas à má qualidade do ar (OMS, 2023), o que a torna um dos principais determinantes ambientais de saúde em escala global. Crianças, idosos e pessoas com doenças crônicas representam os grupos mais vulneráveis.

Além disso, a poluição do ar é responsável por uma carga significativa de doenças respiratórias em diversas faixas etárias, com destaque para o aumento da prevalência de condições como asma e rinite alérgica (PORTO et al., 2025). O contato prolongado com poluentes como partículas finas ($PM_{2.5}$), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3) tem mostrado impactar diretamente as vias respiratórias, agravando quadros preexistentes e favorecendo o desenvolvimento de novas doenças respiratórias (CETESB, 2015), uma vez que essas partículas e gases irritantes promovem estresse oxidativo nas células epiteliais das vias aéreas, desencadeando processos inflamatórios locais e favorecendo a hiperresponsividade brônquica característica de doenças respiratórias como asma e rinite (NUR et al., 2022). Em crianças, a exposição precoce a esses poluentes pode prejudicar o desenvolvimento pulmonar, elevando o risco de doenças crônicas na vida adulta (GRUZIEVA et al., 2017).

Estudos sobre os mecanismos biológicos subjacentes à associação entre poluição do ar e doenças respiratórias têm se concentrado em processos como estresse oxidativo, inflamação das vias aéreas e disfunção da barreira epitelial pulmonar, processos que levam à ativação de vias inflamatórias intracelulares, como a sinalização mediada pelo fator nuclear kappa B (NF- κ B), resultando na liberação de

citocinas pró-inflamatórias e no recrutamento de células inflamatórias para o epitélio respiratório (MANISALIDIS et al., 2020). Esses mecanismos, por sua vez, estão interligados a fatores genéticos, que podem predispor determinados indivíduos a respostas inflamatórias mais intensas ou a uma maior vulnerabilidade ao desenvolvimento de doenças respiratórias (CASEMIRA et al., 2025). Fatores como a localização geográfica, nível socioeconômico e a presença de comorbidades também são determinantes importantes, o que reforça a complexidade da relação entre poluição do ar e saúde respiratória (OLIVEIRA et al., 2025). Dada a crescente urbanização e os padrões de industrialização, especialmente em países em desenvolvimento, é essencial que políticas públicas de saúde e ambientais sejam implementadas para mitigar a exposição à poluição e proteger os grupos mais vulneráveis (BURALLI; CONNERTON, 2025).

Diante disso, o objetivo é avaliar os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde respiratória, com ênfase na relação entre exposição a poluentes, rinite e asma, bem como descrever os mecanismos biológicos e fatores genéticos associados à susceptibilidade individual utilizando a literatura científica.

2. METODOLOGIA

Este capítulo foi elaborado com base nos princípios metodológicos descritos na “Metodologia Geral para a Elaboração dos Capítulos”, com foco na análise dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde respiratória, enfatizando os mecanismos fisiopatológicos e os impactos clínicos observados em populações vulneráveis, especialmente crianças. Adotou-se o delineamento de uma revisão integrativa da literatura, conforme os procedimentos descritos por Mendes, Silveira e Galvão (2008).

A busca bibliográfica foi conduzida entre janeiro e julho de 2025 nas bases PubMed/MEDLINE, SciELO, Scopus, Web of Science, Google Scholar e Portal CAPES, além de relatórios técnicos da OMS, CETESB e Ministério da Saúde. Foram utilizados descritores controlados dos vocabulários MeSH e DeCS, combinando termos em português e inglês com operadores booleanos (“AND”, “OR”, “NOT”). As combinações principais incluíram termos como “air pollution”, “particulate matter”, “respiratory diseases”, “asthma”, “bronchitis”, “COPD”, “children”, “oxidative stress” e “inflammation”.

Foram incluídos artigos originais, revisões integrativas e sistemáticas, relatórios técnicos e documentos oficiais publicados entre 2010 e 2025, em português, inglês ou espanhol, que abordassem a relação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias. Excluíram-se estudos voltados exclusivamente a adultos, pesquisas experimentais sem aplicação clínica e publicações duplicadas.

A seleção dos estudos seguiu o modelo PRISMA adaptado, compreendendo as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão final. As informações foram organizadas segundo eixos temáticos: (i) principais poluentes e suas fontes; (ii) mecanismos fisiopatológicos e respostas inflamatórias; (iii) efeitos agudos e crônicos sobre doenças respiratórias; e (iv) grupos populacionais mais suscetíveis.

A abordagem adotada possibilitou uma análise crítica e integrativa das evidências científicas, destacando como os poluentes atmosféricos contribuem para o agravamento de doenças respiratórias e para o aumento da vulnerabilidade infantil em ambientes urbanos e industrializados.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. A Poluição atmosférica e as doenças respiratórias

A análise dos estudos incluídos nesta revisão integrativa evidenciou um consenso consistente na literatura quanto à associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias, especialmente asma e rinite, com predominância de estudos epidemiológicos observacionais, revisões sistemáticas e análises populacionais conduzidas em ambientes urbanos e industrializados. A maioria dos trabalhos aponta aumento de morbidade respiratória associado à exposição a poluentes como material particulado fino ($PM_{2.5}$), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3), os quais possuem elevada capacidade de penetração nas vias aéreas e podem desencadear processos inflamatórios persistentes no epitélio respiratório, com impacto mais expressivo em populações pediátricas e em regiões com tráfego intenso ou atividade industrial relevante. Esses achados fundamentam a discussão apresentada a seguir sobre os efeitos da poluição atmosférica nas doenças respiratórias (ORELLANO et al., 2017; THURSTON et al., 2020; ACIOLY, 2018).

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença no ar de substâncias nocivas aos seres humanos e está associada a um elevado risco de mortes

prematuras devido a doenças cardiovasculares (por exemplo, doença cardíaca isquêmica e acidentes vasculares cerebrais) (MANISALIDIS et al., 2020), doenças pulmonares obstrutivas crônicas (ZHANG et al., 2021), asma (BURBANK; PEDEN, 2018), rinite (SOLÉ, 2024) infecções respiratórias inferiores (ACIOLY, 2018) e câncer de pulmão (LIU et al., 2019). Evidências nacionais também apontam aumento significativo de internações pediátricas em regiões com tráfego intenso e maior concentração de material particulado fino (Nobre et al., 2022). Esse impacto é ainda mais relevante em áreas portuárias, como Santos.

As pessoas que vivem em países em desenvolvimento e sobrepovoados sofrem desproporcionalmente o fardo da poluição atmosférica exterior (ambiente) (MANISALIDIS et al., 2020). A qualidade do ar tem melhorado nos países desenvolvidos, no entanto a poluição atmosférica está aumentando constantemente nos países em desenvolvimento (SOMPORN RATTANAPHYAN et al., 2020).

Para quantificar a poluição do ar, padrões de qualidade do ar para diferentes poluentes foram desenvolvidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Os dados da OMS indicam que 9 em cada 10 pessoas respiram ar contendo elevados níveis de poluentes (OMS, 2023). Mais de 80% das pessoas que vivem em áreas urbanas, onde a poluição atmosférica é monitorizada, estão expostas a níveis de poluentes atmosféricos que excedem os limites das diretrizes da OMS (GRUZIEVA et al., 2017).

Além disso, aproximadamente 3 milhões de pessoas estão expostas a elevados níveis de poluição do ar interior (domiciliar) devido à utilização de biomassa, combustíveis de querosene e carvão para cozinhar e aquecer as suas casas, induzindo uma elevada prevalência de doenças respiratórias (MANISALIDIS et al., 2020).

Embora existam muitas fontes naturais de poluição do ar, como vulcões ou incêndios florestais, foi a revolução industrial que tornou a poluição do ar um verdadeiro problema global (GRUZIEVA et al., 2017), afetando a qualidade do ar interior e vice-versa (LIU et al., 2019).

De acordo com o tamanho das partículas, os poluentes podem ser categorizados como gases e material particulado (GRUZIEVA et al., 2017). Os principais poluentes gasosos incluem componentes inorgânicos como dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂).

A poluição atmosférica relacionada ao tráfego (TRAP) exerce um efeito particularmente deletério sobre a função do sistema respiratório e são formados pela

interação de óxidos nítricos e compostos orgânicos voláteis (COVs) com a luz solar (MANISALIDIS et al., 2020).

Os poluentes com maior impacto na saúde humana são diretamente produzidos por diferentes fontes de poluição, enquanto outros (por exemplo, O_2 ou SO_2) e metais pesados como chumbo (Pb) ou cromo (Cr), bem como COVs, incluindo hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs). Alguns deles, por exemplo NO_2 , monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_3) e ozônio (O).

3.2. Relação entre poluentes atmosféricos rinite e a asma: evidências epidemiológicas e mecanismos de ação

A composição da poluição atmosférica exterior é complexa e dinâmica (TRAINA et al., 2020). Alternância de estação para estação e é influenciada pela atividade humana e eventos meteorológicos (ZHANG et al., 2021). As poluições do ar externo incluem poluentes primários emitidos diretamente na atmosfera e poluentes secundários formados no ar a partir da transformação química do primário (TRAINA et al., 2020). Estas reações químicas dependem da temperatura e, portanto, podem ser influenciadas pelo aquecimento climático global. Evidências acumuladas sugerem que a poluição do ar não só pode agravar os sintomas da asma e da rinite, mas também pode causar novos episódios (HUFF et al., 2019).

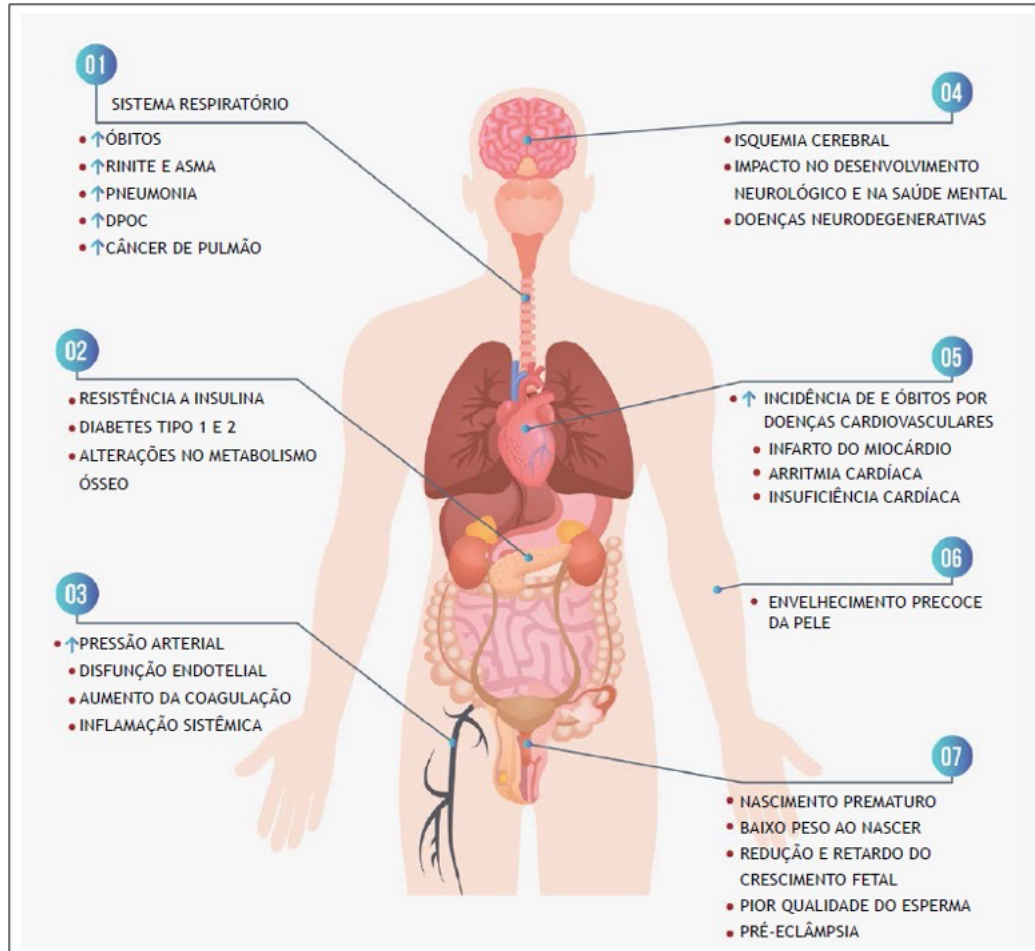


Figura 1 - Representação das doenças e alterações associadas à poluição do ar.

Fonte: PETERS et al., 2019.

Vários mecanismos relacionados aos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana foram identificados e notou-se que o epitélio das vias aéreas representa o primeiro contato entre os poluentes atmosféricos e o sistema respiratório, funcionando como barreira mecânica e imunológica responsável pela proteção contra partículas inaladas e microrganismos, além de participar ativamente da regulação da resposta inflamatória local por meio da liberação de citocinas e mediadores imunológicos (MANISALIDIS et al., 2020).

As células epiteliais das vias aéreas são conectadas por junções estreitas e secretam muco, peptídeos de defesa do hospedeiro e antioxidantes, e expressam receptores imunes inatos, que podem ser ativados por substâncias estranhas e patógenos inalados (GRUZIEVA et al., 2017). Sob condições de exposição à poluição do ar, as defesas do epitélio das vias aéreas são comprometidas pela ruptura da

integridade epitelial, absorção de partículas, ativação do domínio de oligomerização *Toll-like* e de ligação a nucleotídeos (receptores NOD), receptor do fator de crescimento epitelial e indução de estresse oxidativo (GRUZIEVA et al., 2017). A ativação desses receptores resulta na ativação de (NF)-kB (fator nuclear Kappa B), levando à expressão de citocinas pró-inflamatórias (BONTINCK et al., 2020).

O estresse oxidativo é um dos mecanismos biológicos propostos para explicar parcialmente a associação entre a poluição do ar exterior e a asma, uma vez que a exposição a poluentes atmosféricos aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), levando a dano celular, inflamação persistente e aumento da hiperresponsividade das vias aéreas (GRUZIEVA et al., 2017). Os neutrófilos atraídos para as vias aéreas após a exposição a certas poluições produzem espécies reativas de oxigênio (EROs) que induzem inflamação das células epiteliais, hiperreatividade das vias aéreas (AHR) e lesão pulmonar. Os poluentes podem atuar diretamente pela produção de ERO livres e difusão a partir da superfície das vias aéreas, ou indiretamente, induzindo inflamação (MANISALIDIS et al., 2020).

A exposição ao ozônio (O₃) causa a produção de ROS e alterações na expressão de claudinas, os principais componentes das junções estreitas, levando assim à permeabilidade da barreira das junções estreitas (KIM et al., 2018).

É importante ressaltar que poluentes podem atuar como adjuvantes e afetar a produção de algumas citocinas (por exemplo, linfopoetina estromal tímica) nas células epiteliais das vias aéreas, que promovem a diferenciação fenotípica do T-helper 2 (Th2) e a produção de IgE. Há evidências também da estimulação das respostas do T-helper 17 (Th17). Além disso, a exposição repetida ao O₃ induz imunidade do tipo 2 das vias aéreas mediada por células linfoides inatas do grupo 2 (ILC2) e o fenótipo de asma não atópica (THURSTON et al., 2020).

Numerosos estudos demonstraram repetidamente ligações epidemiológicas entre a poluição do ar e o aumento de infecções do trato respiratório em pacientes de todas as idades, que são consideradas a causa das exacerbações da asma (GRUZIEVA et al., 2017; MANISALIDIS et al., 2020; SOMPORNRATTANAPHYAN et al., 2020).

Mudanças na expressão de receptores para patógenos, mecanismos antivirais ou biologia de peptídeos de defesa do hospedeiro podem ser responsáveis. O estresse oxidativo pode afetar as respostas da molécula de adesão intercelular-1 (ICAM-1) aos rinovírus nas células epiteliais da mucosa respiratória. A coexposição

de células epiteliais das vias aéreas a rinovírus e NO₂ parece induzir uma regulação positiva sinérgica de ICAM-1, o que poderia exagerar a resposta do patógeno. O estresse oxidativo também tem sido associado a uma redução na capacidade de resposta aos corticosteroides (CS) em pacientes com asma, uma observação importante do ponto de vista prático (MOOKHERJEE et al., 2018).

Um fator predisponente que contribui para a lesão das vias aéreas por poluentes atmosféricos pode ser a atopia. Por outro lado, os poluentes atmosféricos podem aumentar o risco de sensibilização e as respostas ao alérgeno inalado em pacientes com asma. Esse efeito potenciador foi estudado e demonstrado para O₃, NO₂, SO₂ (MANISALIDIS et al., 2020).

Os mecanismos que poderiam explicar a maior sensibilização aos aeroalérgenos pelos poluentes atmosféricos incluem a maior deposição de alérgenos nas vias aéreas devido ao transporte por partículas, um aumento da permeabilidade epitelial devido ao estresse oxidativo, uma maior antigenicidade de proteínas e um possível efeito adjuvante direto (SOMPORN RATTANAPHYAN et al., 2020). Além disso, os poluentes atmosféricos podem atuar como adjuvantes imunológicos, potencializando a resposta Th2 característica das doenças alérgicas. Esse processo envolve aumento da produção de IgE, ativação de mastócitos e eosinófilos e liberação de mediadores inflamatórios, como histamina e leucotrienos, contribuindo para o desenvolvimento e agravamento da rinite alérgica e da asma.

3.3. Influência genética e susceptibilidade na relação entre poluentes atmosféricos, rinite e asma

Aparentemente, as respostas aos poluentes atmosféricos são diversas e com efeitos intrínsecos ao indivíduo (MANISALIDIS et al., 2020). Embora o presente estudo empírico, desenvolvido no Capítulo 4, não contemple a análise de dados genéticos, a inclusão desta seção tem caráter exclusivamente teórico e fundamenta-se na literatura científica internacional. A abordagem da influência genética e da susceptibilidade individual visa contextualizar os mecanismos biológicos que podem modular a resposta aos poluentes atmosféricos, contribuindo para a compreensão integrada da fisiopatologia da asma e da rinite, sem a pretensão de estabelecer inferências genômicas a partir dos dados analisados nesta pesquisa.

Variações genéticas afetam a função e a suscetibilidade das células epiteliais. Polimorfismos específicos em genes de enzimas antioxidantes, como a família da glutationa-S-transferase, especialmente a Glutathione S-Transferase Pi 1 (GSTP1), estão associados a diferenças na suscetibilidade aos efeitos adversos dos poluentes e podem modificar o risco de respostas asmáticas. Adultos e crianças com genótipos nulos de Glutathione S-Transferase Mu 1 (GSTM1) apresentam atividade reduzida da enzima glutathione-S-transferase e apresentam risco aumentado de desenvolver asma quando expostos ao O₃. Foi demonstrada a associação de polimorfismos do fator de necrose tumoral (TNF) com asma e diferenças na suscetibilidade aos efeitos adversos dos poluentes. Esses achados reforçam a hipótese de que fatores genéticos modulam a resposta inflamatória aos poluentes. No caso da população infantil de Santos, embora não haja dados genômicos locais, a literatura internacional (SUSA et al., 2025) sugere que variantes como GSTM1 nulo aumentam o risco de efeitos adversos frente à exposição a O₃ e NO₂.

Os polimorfismos do TNF, que se acredita afetarem a expressão de citocinas pró-inflamatórias, parecem influenciar a resposta dos pulmões ao O₃ e o risco de desenvolver asma (STEVENS et al., 2019).

Os resultados de um estudo de interação genômica identificaram interações gene-NO₂ na asma e indicaram que as interações gene-ambiente são importantes para o desenvolvimento da asma. Variantes do gene da mucina contribuem para respostas a poluentes atmosféricos em pacientes asmáticos. Seu papel na produção de mucina induzida pela poluição do ar foi demonstrado (GREF et al., 2017).

Um grande estudo transversal realizado por Stevens et al. (2019) mostrou que o efeito do NO₂ e do SO₂ na asma foi significativamente maior em crianças com sobrepeso ou obesidade. Da mesma forma, a exposição ao O₃ está associada a uma pior função pulmonar em crianças obesas quando comparados a crianças com peso normal (STEVENS et al., 2019).

Está bem estabelecido que o O₃ inalado interage primeiro com antioxidantes nas células epiteliais das vias aéreas. Foi demonstrado que a proteína surfactante D, em particular, modula a resposta ao O₃ e parece ter uma variabilidade genética importante que influencia a suscetibilidade pessoal. Quando a dose de O₃ no trato respiratório excede a capacidade protetora dos antioxidantes, é provável que ocorram efeitos adversos à saúde. O estresse oxidativo induzido pela oxidação secundária resulta em inflamação das vias aéreas, AHR e diminuição da função pulmonar em

adultos asmáticos. Como um poluente gasoso altamente reativo, o O₃ exerce efeitos inflamatórios no sistema respiratório. Os radicais de oxigênio evocam estresse oxidativo e inflamação das vias aéreas, mais pronunciados entre indivíduos alérgicos (NIU et al., 2018).

Fortes evidências de uma relação entre exposição prolongada ao O₃ e morbidade respiratória são fornecidas por estudos focados no desenvolvimento de asma em crianças e em aumento dos sintomas respiratórios em asmáticos. Foi demonstrado que a exposição ao O₃ no início da vida foi significativa e positivamente associada a um efeito prejudicial no desenvolvimento da função pulmonar em crianças, maior em meninos. No entanto, não foram relatados resultados claros e consistentes sobre os efeitos a longo prazo na função pulmonar (NUVOLONE et al., 2018). A exposição pré-natal ao O₃ não foi associada à asma infantil subsequente. O₃ pode ser um importante fator de risco que afeta a progressão da asma para doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), definindo a síndrome de sobreposição asma-DPOC (ZHANG et al., 2021). Foi estabelecido que indivíduos com asma expostos a níveis mais elevados de O₃ tiveram maiores chances de desenvolver a síndrome de sobreposição asma-DPOC (*Asthma-COPD Overlap – ACO*), foi observado durante o período quente do ano e foi associado a um aumento no número diário de mortes (0,33%), notadamente mortes respiratórias (1,13%). Nenhum efeito foi observado durante o inverno com o número diário de mortes numa população urbana europeia durante 3 anos. Um aumento na concentração de O₃ está significativamente associada ao risco de morte, especialmente para doenças cardiovasculares e respiratórias.

O dióxido de nitrogênio (NO₂) é um poluente relacionado ao trânsito, pois é emitido pelos motores dos automóveis. O transporte pode contribuir com até 80% do no ambiente, por isso é um marcador conveniente de poluente primário. NO₂ é um irritante do sistema respiratório, que penetra profundamente no pulmão, induzindo tosse, chiado no peito, dispneia, broncoespasmo e até edema pulmonar quando inalado em níveis elevados. Parece que concentrações superiores a 0,2 partes por bilhão produzem esses efeitos adversos em humanos, enquanto concentrações superiores a 2,0 ppb afetam os linfócitos T, particularmente as células CD8+ e as células natural *killer* (NK) envolvidas em diferentes respostas imunológicas. 64 também foi associada à metilação diferencial, bem como à expressão de genes envolvidos nas vias de defesa antioxidante durante a gravidez e a metilação

diferencial do DNA da prole em genes relacionados às mitocôndrias (GRUZIEVA et al., 2017).

A meta-análise forneceu evidências de associação entre a exposição ao NO₂ durante o primeiro ano de vida foi associada ao aumento do risco de sensibilização aos pólenos aos 4 anos de idade por 4 h aumenta as respostas de fase imediata e tardia ao alérgeno inalado e pode ativar o NF-κB e desenvolver o alérgeno sensibilização. A alta exposição ao NO₂ pode desempenhar um papel mais proeminente como agente sensibilizante ao alérgeno inalado. A exposição a 0,4 ppm de NO₂. Pode aumentar o grau de inflamação alérgica das vias aéreas e prolongar a AHR induzida por alérgenos (KRAVITZ-WIRTZ et al., 2018).

NO₂ está associado a morbidade significativa em indivíduos asmáticos e pode ser uma causa de asma incidente (SOMPORNATTANAPHYAN et al., 2020). Consistente com outros estudos que encontraram associações entre exposição prévia à poluição e risco futuro de asma, um estudo recente revelou que as chances de diagnóstico futuro de asma para crianças expostas a uma alta concentração de NO₂ no início da vida foram 1,25 vezes maiores do que aquelas de crianças expostas a uma baixa concentração de NO₂ (KRAVITZ-WIRTZ et al., 2018). Uma estimativa recente com base em dados de 194 países concluiu que, a cada ano, 4,0 milhões de novos casos de asma pediátrica podem ser atribuídos a poluição por NO₂, responsável por 13% da incidência global. Esta contribuição ultrapassou 20% dos novos casos de asma. O subconjunto de análises europeias relatado no mesmo artigo estimou que 17% da carga na Europa Ocidental, 14% na Europa Central e 17% na Europa Oriental eram atribuíveis ao NO₂ ocorreu em áreas com média anual de NO₂.

Estudos em crianças e adultos identificaram associações até mesmo entre níveis baixos de NO₂ e sintomas de asma, redução da função pulmonar e exacerbação de asma. Dados de vários estudos transversais e de uma meta-análise de estudos publicados avaliaram a associação entre poluição do ar e função pulmonar em crianças. A exposição ao NO₂ foi correlacionada com um aumento do óxido nítrico exalado fracionado (FeNO) e um aumento tardio no VEF 1 e CVF. Mesmo durante a gravidez, a exposição ao NO₂ pode prejudicar a função pulmonar no início da vida. Uma revisão sistemática mostrou uma associação significativa entre a exposição ao NO₂ e exacerbações moderadas/graves de asma em crianças e adultos (BOUGAS et al., 2018).

O monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO₂) são produzidos a partir da queima de combustíveis fósseis quando a combustão é incompleta (SOMPORNATTANAPHYAN et al., 2020). Temperaturas mais altas e quantidades de CO₂ na atmosfera são fatores importantes que têm sido associados a uma maior duração das estações de pólen, quantidade de pólen produzido pelas plantas, e possivelmente alergenicidade do pólen. Foi demonstrado que os extratos de pólen de bétula provenientes de árvores cultivadas em temperaturas mais quentes apresentavam maior intensidade de ligação à IgE (POOLE et al., 2019).

As evidências sugerem uma associação entre a exposição ao CO e exacerbações moderadas ou graves de asma em adultos, mas a ligação não foi confirmada em crianças. Foram observadas associações significativas entre a diminuição das taxas de mortalidade por asma e níveis mais baixos de CO (ORELLANO et al., 2017).

O dióxido de enxofre (SO₂) é liberado principalmente pela combustão de carvão e petróleo contendo enxofre (BURBANK et al., 2018). Crianças propensas a alergias, especialmente asma alérgica, podem ser extremamente sensíveis ao SO₂ inalado. Os principais problemas de saúde associados ao SO₂ são bronquite, produção de muco e broncoespasmo. É um irritante que penetra profundamente no pulmão, onde é convertido em bissulfito e interage com os receptores sensoriais, causando broncoconstrição. Em resposta ao SO₂, os indivíduos asmáticos apresentam aumento dos sintomas e uma maior diminuição da função pulmonar em concentrações mais baixas em comparação com os não asmáticos, que muitas vezes não respondem a concentrações inferiores a 5 ppm. Foram observadas variações individuais consideráveis na resposta espirométrica ao SO₂ inalado, sugerindo uma ligação genética potencial. Crianças com um polimorfismo específico no gene TNF- α tiveram reduções mais significativas na função pulmonar após exposição ao SO₂ (BURBANK et al., 2018).

Uma associação significativa entre SO₂ e a prevalência da asma e os sintomas atuais entre crianças, especialmente naquelas com atopia, já foi estabelecida (BURBANK et al., 2018). A diminuição da função pulmonar e o aumento das internações hospitalares com exposição aumentada ao SO₂ foram documentados em populações pediátricas. Mesmo a exposição a baixas doses de SO₂ está associada a um declínio na função pulmonar (FEV1 e CVF) entre a população em geral (HONG et

al., 2018). A tabela 1 sintetiza de forma compilada as principais doenças respiratórias por grupo de vulnerabilidade e seus poluentes associados.

Tabela 1. Principais doenças respiratórias por grupo de vulnerabilidade associadas à poluição atmosférica e seus determinantes ambientais.

Doença respiratória	Principais poluentes relacionados	Efeitos e impactos observados	Grupos mais vulneráveis	Referências
Asma	PM _{2.5} , SO ₂ , NO ₂	Exacerbações frequentes, aumento de crises asmáticas, maior demanda por atendimentos emergenciais e hospitalizações; intensificação dos sintomas em períodos de alta concentração de material particulado.	Crianças, adolescentes, populações de baixa renda, residentes em áreas urbanas com tráfego intenso e queima de biomassa.	Byrwa-Hill et al. (2025); <i>Assessment of Environmental Pollutants</i> (2024); Kelly (2014)
Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC)	PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂	Aumento da morbidade e mortalidade respiratória; piora da função pulmonar; crises de exacerbação em períodos de poluição elevada; associação entre exposição prolongada e maior risco de desenvolvimento da doença.	Adultos e idosos, especialmente ex-fumantes ou indivíduos com exposição ocupacional e ambiental prolongada a poluentes.	Kelly (2014); <i>Assessment of Environmental Pollutants</i> (2024)
Bronquite (aguda e crônica)	SO ₂ , PM _{2.5} , NO ₂	Resposta inflamatória tardia após exposição ao SO ₂ ; aumento da incidência e duração dos episódios de bronquite; agravamento de infecções respiratórias inferiores.	Crianças, idosos e moradores de áreas urbanas e industriais.	Byrwa-Hill et al. (2025); Maharani (2025)
Infecções respiratórias virais e outras doenças agudas	PM _{2.5} , NO ₂ , SO ₂	Aumento da susceptibilidade a infecções virais e bacterianas das vias aéreas; possível comprometimento da resposta imune; maior frequência de episódios de tosse, dispneia e febre.	Crianças pequenas, idosos, imunocomprometidos e indivíduos com doenças respiratórias pré-existent.	Kelly (2014)

Legenda

PM_{2.5} = Material particulado com diâmetro inferior a 2,5 µm.

PM₁₀ = Material particulado com diâmetro inferior a 10 µm.

SO₂ = Dióxido de enxofre.
NO₂ = Dióxido de nitrogênio.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A poluição atmosférica representa um determinante fundamental da saúde respiratória, com forte associação à ocorrência e agravamento de doenças como rinite e asma. Os mecanismos identificados incluem estresse oxidativo, inflamação, ruptura da barreira epitelial e modulação das respostas imunes, que podem ser agravados por fatores genéticos e condições de vulnerabilidade socioeconômica. Evidências epidemiológicas confirmam que a exposição a poluentes como NO₂, SO₂, O₃, material particulado e compostos orgânicos voláteis aumenta a morbidade e mortalidade respiratória, além de potencializar o risco de sensibilização a alérgenos.

Esses achados reforçam a importância de medidas preventivas integradas, que vão desde políticas públicas de redução de emissão de poluentes até estratégias clínicas de proteção e acompanhamento de grupos suscetíveis. Este capítulo fornece a base científica necessária para a análise dos dados secundários oficiais que serão apresentados na etapa seguinte desta tese.

No contexto de Santos (SP), os dados ambientais divulgados pela CETESB (2023) indicam concentrações de material particulado e gases poluentes que demandam atenção contínua. Embora este capítulo não apresente análise empírica específica da região, os mecanismos descritos na literatura sugerem que tais níveis de exposição podem contribuir para o agravamento de doenças respiratórias, especialmente entre crianças e outros grupos vulneráveis. Diante disso, torna-se imprescindível o fortalecimento das ações de vigilância ambiental e de monitoramento da qualidade do ar, aliadas a políticas públicas intersetoriais voltadas à redução das emissões e à promoção da saúde respiratória infantil.

5. REFERÊNCIAS

ACIOLY, M. A. Air pollution and acute respiratory infections in children: a systematic review. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 36, n. 3, p. 294-300, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-0462/;2018;36;3;00002>.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS AND THEIR RELATIONSHIP WITH CHRONIC RESPIRATORY DISEASE EXACERBATIONS IN JAMSHORO: A Cross-Sectional Study. (2024). *Pakistan Journal of Medicine and Dentistry*, 108–117. <https://doi.org/10.36283/ziun-pjmd13-4/014>

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DE SANTOS. Doenças respiratórias na infância: relatório 2018–2022. Santos: Secretaria Municipal de Saúde, 2023.

BONTINCK, A. et al. The role of NF- κ B in asthma and chronic obstructive pulmonary disease: mechanisms and therapeutic potential. *Cells*, v. 9, n. 11, p. 2305, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells9112305>.

BOUGAS, N.; RANCIÈRE, F.; BEYDON, N. et al. Traffic-related Air Pollution, Lung Function, and Host Vulnerability. New Insights from the PARIS Birth Cohort. *Ann. Am. Thorac. Soc.*, v. 15, p. 599-607, 2018.

BURALLI, R. J.; CONNERTON, P. Poluição do ar, saúde e regulação no Brasil: estamos avançando? *Cadernos de Saúde Pública*, v. 41, n. 3, 1 jan. 2025.

BURBANK, A. J.; PEDEN, D. B. Assessing the impact of air pollution on childhood asthma morbidity: how, when, and what to do. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, v. 18, n. 2, p. 124-131, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000431>.

BYRWA-HILL, B. M., MORPHEW, T., O'NEILL, J., GENTILE, D. A. 2025. Air Quality Index as a Predictor of Respiratory Morbidity in At-Risk Populations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(10), 1493. <https://doi.org/10.3390/ijerph22101493>

CASSEMIRA ALVES, T. et al. SINAIS DE ALERTA: IDENTIFICANDO DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COMO PNEUMONIA E BRONQUIOLITE EM CRIANÇAS E A IMPORTÂNCIA DE DIAGNÓSTICO PRECOCE. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 7, n. 1, p. 660–666, 13 jan. 2025.

CETESB – Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar no município de Santos. 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wpcontent/uploads/sites/28/2013/12/Relat%C3%B3rio-Santos-2015.pdf>.

GRAF, A. et al. Interaction between air pollution and genetics in childhood asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, v. 140, n. 3, p. 796-803, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.01.018>.

GRUZIEVA, O. et al. Air pollution exposure during childhood and DNA methylation in adolescence. *Environmental Health Perspectives*, v. 125, n. 1, p. 104-110, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP333>.

HONG, E.; LEE, S.; KIM, G.B.; KIM, T.J.; KIM, H.W.; LEE, K.; SON, B.S. Effects of Environmental Air Pollution on Pulmonary Function Level of Residents in Korean Industrial Complexes. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, v. 15, p. 834, 2018.

HUFF, R. D. et al. Air pollution and respiratory immune responses across the life course. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, v. 316, n. 4, p. L558-L569, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajplung.00327.2018>.

KELLY, F. J. 2014. Influence of air pollution on respiratory disease. *European Medical Journal*, 2(1), 96–103. <https://doaj.org/article/0381bd2635e845928e2358941f74f4d5>

KIM, H. et al. Ozone-induced epithelial barrier dysfunction in human airway cells. *Allergy*, v. 73, n. 10, p. 2097-2107, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/all.13490>.

KRAVITZ-WIRTZ, N.; TEIXEIRA, S.; HAJAT, A.; WOO, B.; CROWDER, K.; TAKEUCHI, D. Early-Life Air Pollution Exposure, Neighborhood Poverty, and Childhood Asthma in the United States, 1990–2014. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, v. 15, p. 11-14, 2018.

LIU, C. et al. Ambient particulate air pollution and lung cancer: a review of epidemiological evidence. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 181, p. 241-250, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.06.045>.

MAHARANI, S. 2025. Analisis Dampak Pencemaran Udara terhadap Kesehatan Pernapasan Masyarakat Perkotaan. *Editon Consortium Journal of Research in Medical and Health Sciences*, 1(1), 10–15. <https://doi.org/10.71094/jmhs.v1i1.108>

MANISALIDIS, I. et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in Public Health*, v. 8, p. 14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>.

MOOKHERJEE, N. et al. Oxidative stress and corticosteroid resistance in asthma: mechanisms and therapeutic approaches. *European Respiratory Journal*, v. 51, n. 5, p. 170-179, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1183/13993003.0170-2018>.

NIU, J. et al. Oxidative stress and inflammation in asthma: ozone as a model. *Frontiers in Immunology*, v. 9, p. 1130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.01130>.

NOBRE, R. M.; SANTOS, J. L.; OLIVEIRA, F. G. Exposure to air pollutants and pediatric hospitalizations in metropolitan areas of Brazil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 25, e220001, 2022.

NUR HUSNA, S. M. et al. Allergic Rhinitis: A Clinical and Pathophysiological Overview. *Frontiers in Medicine*, v. 9, n. 9, 7 abr. 2022.

NUVOLONE, D. et al. Health effects of ozone on children: a review of epidemiological studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 9, p. 1957, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15091957>.

OLIVEIRA, E. G. et al. Análise temporal da mortalidade por doenças do trato respiratório e sua correlação com fatores socioeconômicos e imunização (2015–2025). *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 23, n. 10, p. e11715–e11715, 6 out. 2025.

ORELLANO, P.; QUARANTA, N.; REYNOSO, J.; BALBI, B.; VASQUEZ, J. Effect of outdoor air pollution on asthma exacerbations in children and adults: Systematic review and multilevel meta-analysis. *PLoS ONE.*, v. 12, 2017.

PETERS, A. et al. Air pollution and non-communicable diseases: a review. *European Respiratory Journal*, v. 53, n. 6, p. 180-200, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1183/13993003.02018-2018>.

POOLE, J.A.; BARNES, C.S.; DEMAIN, J.G. et al. Impact of weather and climate change with indoor and outdoor air quality in asthma: A Work Group Report of the AAAAI Environmental Exposure and Respiratory Health Committee. *J. Allergy Clin. Immunol.*, v. 143, p. 1702-1710, 2019.

PORTO, C. C. DA C. S. et al. Impactos da poluição atmosférica na saúde pública: uma revisão integrativa (2019–2024). *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 23, n. 7, p. e10663, 15 jul. 2025.

SOLÉ, D. Rinite alérgica: atualizações sobre fisiopatologia, diagnóstico e tratamento. *Revista Brasileira de Alergia e Imunologia*, v. 1, n. 2, p. 55-63, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5935/rbai.2024.002>.

SOMPORNATTANAPHYAN, S. et al. Urbanization and air pollution: global trends and challenges. *Environmental Pollution*, v. 267, p. 115516, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115516>.

STEVENS, T. et al. Gene-environment interactions in asthma: role of obesity and air pollution. *Allergy*, v. 74, n. 12, p. 2316-2328, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/all.13910>.

SUSA, A. et al. The Role of Air Pollution Exposure and *GSTM1*-/*GSTT1*-Null Genotypes in Gestational Diabetes Mellitus Development: A Case-Control Study on Gene-Environment Interactions. **Antioxidants (Basel, Switzerland)**, v. 14, n. 6, p. 652, 2025.

THURSTON, G. D. et al. Ambient air pollution, respiratory health and asthma development: insights from epidemiology and mechanistic studies. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 202, n. 1, p. 15-24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1164/rccm.201904-0813OC>.

TRAINA, G.; BARBALACE, A.; BETTI, F.; BOLZACCHINI, E.; BONINI, M.; CONTINI, D.; FELICE, G.; FOTI, T.; MANTECCA, P. What impact of air pollution in pediatric respiratory allergic diseases. *Pediatr Allergy Immunol.*, v. 31, n. 26, p. 26-28, 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Air quality guidelines: global update 2023*. Geneva: WHO, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications>. Acesso em: 9 set. 2025.

ZHANG, Y. et al. Ambient air pollution and chronic respiratory diseases: a review of mechanisms and evidence. *Environmental Research*, v. 200, p. 111731, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111731>.

CAPÍTULO 4

POLUIÇÃO DO AR E SAÚDE RESPIRATÓRIA INFANTIL: EVIDÊNCIAS DE UM ESTUDO LONGITUDINAL EM UM AMBIENTE URBANO COSTEIRO

RESUMO

As doenças respiratórias na infância têm mostrado aumento significativo na prevalência e morbidade nas últimas décadas. A associação entre fatores ambientais e o desenvolvimento de doenças como asma, rinite e sinusite é bem documentada, com destaque para a mucosa respiratória infantil, que, ao ser exposta a poluentes, pode desencadear manifestações respiratórias variadas. No Brasil, a rinite tem se tornado uma condição cada vez mais prevalente, impactando a qualidade de vida e gerando comorbidades. Este estudo visa analisar a relação entre a poluição atmosférica e o aumento das doenças respiratórias em crianças na cidade de Santos-SP, a partir de uma revisão de literatura e análise de dados secundários. Foi realizada uma revisão da literatura científica, além de análise dos dados epidemiológicos de Santos (CETESB, DATASUS e Boletins Epidemiológicos), com foco na relação entre a exposição a poluentes e as doenças respiratórias infantis. Evidências sugerem que a poluição atmosférica é um fator importante na exacerbação de doenças respiratórias, especialmente entre crianças com doenças crônicas ou predisposição genética. A redução de emissões de poluentes conforme os padrões internacionais poderiam reduzir significativamente a mortalidade associada. A abordagem integrada entre políticas públicas de saúde e ambientais é essencial para mitigar os impactos da poluição e proteger a saúde respiratória infantil, com ênfase na redução da emissão de poluentes e na promoção de hábitos saudáveis.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Asma; Rinite; Doenças respiratórias; Saúde infantil; Saúde pública.

ABSTRACT

Respiratory diseases in childhood have shown a significant increase in prevalence and morbidity in recent decades. The association between environmental factors and the development of conditions such as asthma, rhinitis, and sinusitis is well documented, with particular emphasis on the respiratory mucosa in children, which, when exposed to pollutants, can trigger a range of respiratory manifestations. In Brazil, rhinitis has become increasingly prevalent, affecting quality of life and leading to comorbidities. This study aims to analyze the relationship between atmospheric pollution and the rise of respiratory diseases in children in the city of Santos-SP, based on a literature review and secondary data analysis. A narrative literature review was conducted, along with an analysis of epidemiological data from Santos (CETESB, DATASUS, and Epidemiological Bulletins), focusing on the relationship between pollutant exposure and childhood respiratory diseases. Evidence suggests that atmospheric pollution is a significant factor in exacerbating respiratory diseases, especially among children with chronic conditions or genetic predisposition. Reducing pollutant emissions to international standards could significantly decrease associated mortality. An integrated approach between public health and environmental policies is essential to mitigate the impacts of pollution and protect children's respiratory health, emphasizing pollutant emission reduction and the promotion of healthy habits.

Keywords: Atmospheric pollution; Asthma; Rhinitis; Respiratory diseases; Child health; Public health.

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é reconhecida como um dos principais fatores de risco ambientais para o desenvolvimento e agravamento das doenças respiratórias na infância. Diversos estudos nacionais e internacionais evidenciam a associação entre a exposição a poluentes e o aumento da morbidade e das internações hospitalares por asma, bronquite e pneumonia em crianças (KELLY, 2014; ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS, 2024; BYRWA-HILL et al., 2025; MAHARANI, 2025). Nesse contexto, este capítulo integra e analisa dados secundários oficiais provenientes da CETESB, DATASUS e dos Boletins Epidemiológicos de Santos, complementados pela revisão de literatura, com o objetivo de sistematizar as evidências sobre a relação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias em crianças no município de Santos – SP. A infância representa um período de especial vulnerabilidade aos efeitos adversos da poluição do ar, em razão da imaturidade do sistema imunológico, da maior frequência respiratória e do tempo prolongado de exposição ao ar livre (FORMIGA et al., 2024). Crianças expostas a níveis elevados de poluentes, como material particulado fino ($PM_{2.5}$), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2), apresentam maior incidência de doenças respiratórias agudas e crônicas (CETESB, 2020). Esses compostos atuam diretamente sobre o epitélio das vias aéreas, induzindo estresse oxidativo, ativação de vias inflamatórias intracelulares e aumento da permeabilidade epitelial, mecanismos que favorecem a sensibilização alérgica, a hiperresponsividade brônquica e o desenvolvimento de doenças respiratórias como asma e rinite, frequentemente associados à internação hospitalar e à redução da qualidade de vida (TOGIAS, 2023). Partículas finas ($PM_{2.5}$) e gases oxidantes, como O_3 e NO_2 , promovem estresse oxidativo nas células epiteliais respiratórias, levando à produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), ativação de vias inflamatórias como NF- κ B e liberação de citocinas pró-inflamatórias (IL-6, IL-8 e TNF- α). Esse processo resulta em aumento da permeabilidade epitelial, recrutamento de células inflamatórias (neutrófilos e eosinófilos) e hiperresponsividade brônquica. Em indivíduos suscetíveis, especialmente crianças, esses mecanismos contribuem para a sensibilização alérgica, exacerbações asmáticas e inflamação da mucosa nasal característica da rinite. Partículas finas ($PM_{2.5}$) e gases oxidantes, como O_3 e NO_2 , promovem estresse

oxidativo nas células epiteliais respiratórias, levando à produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), ativação de vias inflamatórias como NF- κ B e liberação de citocinas pró-inflamatórias (IL-6, IL-8 e TNF- α). Esse processo resulta em aumento da permeabilidade epitelial, recrutamento de células inflamatórias (neutrófilos e eosinófilos) e hiperresponsividade brônquica. Em indivíduos suscetíveis, especialmente crianças, esses mecanismos contribuem para a sensibilização alérgica, exacerbações asmáticas e inflamação da mucosa nasal característica da rinite (SIERRA-VARGAS et al., 2023).

Considerando essa relação, torna-se essencial compreender a dinâmica entre os níveis de poluição atmosférica e os indicadores de saúde respiratória infantil no contexto local. No município de Santos (SP), caracterizado por intensa atividade portuária, tráfego veicular elevado e condições meteorológicas que favorecem a concentração de poluentes, os efeitos da poluição sobre a saúde das crianças exigem uma análise aprofundada e contextualizada (CETESB, 2020). A partir da integração entre dados ambientais e indicadores clínicos, este capítulo busca oferecer subsídios técnicos e científicos que contribuam para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes, voltadas à redução dos impactos da poluição do ar sobre a população pediátrica.

Dessa forma, o presente capítulo estabelece a etapa empírica da tese, dando continuidade às discussões teóricas apresentadas nos capítulos anteriores. Após a caracterização dos mecanismos fisiopatológicos e dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde respiratória (Capítulos 1, 2 e 3), esta seção apresenta uma análise local sobre a realidade de Santos, permitindo comparar tendências internacionais com evidências regionais.

O objetivo geral foi avaliar o impacto dos poluentes atmosféricos na prevalência e evolução das doenças respiratórias em crianças no município de Santos – SP, entre 2018 e 2022. Os objetivos específicos foram: 1) Sistematizar estudos sobre a influência dos poluentes atmosféricos na prevalência de doenças respiratórias em crianças no período de 2018 a 2022, em Santos – SP; 2) Identificar os fatores determinantes da prevalência dessas doenças, utilizando dados secundários do DATASUS; 3) Caracterizar as interfaces entre os principais poluentes atmosféricos e as doenças respiratórias infantis no município de Santos – SP; e 4) Comparar os achados da revisão de literatura com os resultados obtidos a partir da análise dos

dados secundários oficiais, discutindo convergências e especificidades do contexto local.

2. METODOLOGIA

2.1. Procedimentos para revisão da literatura

A revisão de literatura deste capítulo foi elaborada com base nos princípios metodológicos descritos na “Metodologia Geral para a Elaboração dos Capítulos”, conforme descrito por Mendes et al. (2008), adaptada ao contexto da pesquisa ambiental e epidemiológica. Focou-se na investigação das evidências científicas que relacionam a poluição atmosférica à ocorrência e ao agravamento das doenças respiratórias em crianças. Essa etapa teve como objetivo contextualizar a análise dos dados secundários oficiais, identificando convergências e lacunas nas pesquisas nacionais e internacionais sobre o tema.

A busca bibliográfica foi conduzida entre janeiro e julho de 2025, abrangendo publicações entre 2010 e 2025. Foram consultadas as bases PubMed/MEDLINE, SciELO, Scopus, Web of Science, Google Scholar e o Portal de Periódicos CAPES, além de relatórios técnicos e documentos oficiais da CETESB, Organização Mundial da Saúde (OMS) e Ministério da Saúde.

Foram utilizados descritores controlados dos vocabulários MeSH e DeCS, combinando termos em português e inglês com operadores booleanos (“AND”, “OR”, “NOT”). As principais combinações incluíram: “air pollution”, “particulate matter”, “respiratory diseases”, “children”, “pediatric asthma”, “rhinitis”, “pneumonia” e “urban air quality”.

Foram incluídos artigos originais, revisões integrativas e sistemáticas, relatórios técnicos e consensos clínicos que abordassem a relação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias na infância. Foram excluídos estudos realizados exclusivamente com adultos, pesquisas experimentais sem aplicação clínica direta e publicações duplicadas. A seleção dos estudos seguiu os critérios do modelo PRISMA adaptado, contemplando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão final.

Foram analisados: (i) relatórios anuais de qualidade do ar da CETESB; (ii) dados de morbidade e mortalidade hospitalar por doenças do aparelho respiratório em

crianças de 0 a 12 anos, disponibilizados pelo DATASUS/TABNET; e (iii) Boletins Epidemiológicos do município de Santos. O recorte temporal compreendeu o período de 2018 a 2022, permitindo correlacionar os níveis de poluição atmosférica com a ocorrência de doenças respiratórias em crianças. Como estratégia de comparação, considerou-se também uma cidade de menor nível de poluição atmosférica, a fim de verificar diferenças contextuais.

Fontes de dados ambientais e de saúde: foram utilizados dados do Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (CETESB, 2023), referentes às estações da Baixada Santista, especialmente Santos. Foram incluídas as médias mensais de $MP_{2,5}$, MP_{10} e O_3 . Os desfechos em saúde foram obtidos a partir do Boletim Epidemiológico de Santos – 2023, com séries históricas de internações pediátricas (0–12 anos) por asma, bronquite e pneumonias bacterianas no período de 2018 a 2022.

2.2 Análise de dados

Fontes de dados ambientais e de saúde: foram utilizados dados do Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (CETESB, 2023), referentes às estações da Baixada Santista, especialmente Santos. Foram incluídas as médias mensais de $MP_{2,5}$, MP_{10} e O_3 . Os desfechos em saúde foram obtidos a partir do Boletim Epidemiológico de Santos (2023), com séries históricas de internações pediátricas (0–12 anos) por asma, bronquite e pneumonias bacterianas no período de 2018 a 2022. Foram ainda consideradas as variações sazonais nos níveis de poluição, permitindo identificar se os picos de poluentes coincidiam com o aumento das internações pediátricas por doenças respiratórias associadas à rinite.

As técnicas de análise incluíram: (i) Estatística descritiva: médias, medianas e desvios-padrão das concentrações dos poluentes e do número de internações; essas análises foram aplicadas no capítulo de resultados, permitindo verificar se a associação entre poluentes atmosféricos e rinite descrita na literatura se confirma no contexto local de Santos. (ii) Correlação de Pearson e Spearman: associações entre os poluentes ($MP_{2,5}$, MP_{10} e O_3) e as internações pediátricas. (ii) Para investigar a relação entre as concentrações de material particulado fino ($PM_{2,5}$) e as internações pediátricas por doenças respiratórias, foi construído um gráfico de dispersão e ajustado um modelo de regressão linear simples. O modelo foi descrito pela equação

geral $Y = a + b \cdot X$, em que Y representa o número de internações pediátricas por 100.000 crianças e X a concentração média de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$). O termo a corresponde ao intercepto do modelo, enquanto o coeficiente b expressa a variação média esperada em Y associada a um incremento unitário em X . Foi confeccionado um gráfico de dois eixos entre as médias mensais de poluentes atmosféricos ($MP_{2,5}$, MP_{10} , O_3 , NO_2 e SO_2) e internações pediátricas por asma. Essa integração entre dados epidemiológicos e ambientais permitiu comparar a literatura internacional com a realidade local, oferecendo subsídios para verificar se a associação entre poluição atmosférica e asma infantil se confirma em Santos.

Além das análises descritivas e correlacionais, foi realizada modelagem estatística baseada em Modelos Lineares Generalizados (GLM), considerando distribuição de Poisson para dados de contagem. Essa abordagem é amplamente utilizada em estudos epidemiológicos ambientais para investigar a associação entre exposição a poluentes atmosféricos e desfechos em saúde, especialmente hospitalizações por doenças respiratórias (ARMSTRONG et al., 2024). No presente estudo, o número anual de internações pediátricas foi considerado a variável dependente, enquanto as concentrações médias anuais dos poluentes $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 e O_3 foram consideradas variáveis independentes. A função de ligação logarítmica foi utilizada para estimar a magnitude da associação entre os poluentes e as internações respiratórias. Em virtude da natureza agregada dos dados disponíveis, o modelo foi utilizado de forma exploratória, permitindo estimar tendências de associação entre exposição ambiental e agravos respiratórios na população infantil de Santos.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. A poluição atmosférica e seus impactos respiratórios: do cenário global ao contexto de Santos (SP)

O município de Santos está localizado no litoral do estado de São Paulo, a aproximadamente 72 quilômetros da capital, e ocupa o 5º lugar no ranking nacional de qualidade de vida, segundo o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) calculado pela Organização das Nações Unidas (ONU), com base nos níveis de expectativa de vida, educação e PIB per capita (OMS, 2023). Apesar desses indicadores positivos, a

cidade apresenta condições ambientais que merecem atenção, especialmente em função da intensa atividade portuária e do alto tráfego veicular, fatores que contribuem para a emissão de poluentes atmosféricos (BAUER et al., 2023).

As atividades portuárias, com movimentação de granéis sólidos, líquidos e gasosos, além do fracionamento de produtos químicos, configuram as principais fontes potenciais de poluição ambiental no Porto Organizado de Santos. Tais operações resultam na emissão de efluentes e poluentes atmosféricos, geração de resíduos e risco de acidentes ambientais (CETESB, 2019).

Atualmente, Santos conta com duas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, operadas pela CETESB: a Estação da Ponta da Praia, localizada no Complexo Esportivo e Recreativo Rebouças, e a Estação do Boqueirão, situada no Hospital Guilherme Álvaro. A primeira mede concentrações de MP_{10} , $MP_{2,5}$, SO_2 , NO_2 , NO_x , CO , O_3 , além de variáveis meteorológicas (temperatura, umidade, pressão, radiação, direção e velocidade do vento). A segunda realiza medições de MP_{10} e O_3 , com dados atualizados em boletins horários (CETESB, 2020).

Diversos estudos nacionais e internacionais têm demonstrado associação entre a exposição a poluentes atmosféricos e agravos respiratórios em crianças. O estudo de Pepper et al. (2020) mostrou que a poluição relacionada ao tráfego (TRAP) está associada ao aumento das hospitalizações por exacerbações de asma em crianças de 0 a 14 anos na Califórnia. De forma semelhante, Chi et al. (2019) verificaram que a exposição ao material particulado (PM) no ambiente externo está relacionada ao aumento das visitas de emergência por crises de asma, independentemente da fonte emissora. Esses achados reforçam a consistência da poluição atmosférica como fator de risco para o agravamento da morbidade respiratória infantil.

No contexto local, Oliveira (2019) avaliou a influência da poluição atmosférica na função respiratória de crianças com e sem diagnóstico de asma, entre 6 e 14 anos, residentes em Santos. Mesmo com níveis de poluição dentro dos padrões estaduais, observou-se redução significativa da função pulmonar das crianças asmáticas após a exposição, especialmente pelo declínio do VEF_1/CVF , demonstrando que os poluentes impactam negativamente a saúde respiratória, mesmo em concentrações consideradas aceitáveis.

Outros estudos realizados no Brasil e em diferentes países também corroboram a relação entre poluição e morbidade respiratória infantil. Jasinski (2021), ao estudar Cubatão, identificou efeitos significativos dos poluentes sobre a qualidade de vida de

crianças e adolescentes. Bueno et al. (2020) e Zhang (2015) observaram aumento expressivo nas internações pediátricas por pneumonia, especialmente nas regiões mais poluídas do Brasil e da China. Gouveia et al. (2017, 2019) destacaram que o material particulado (PM) esteve fortemente associado às doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos, particularmente nas cidades de São Paulo e Belo Horizonte. Além disso, Maciel et al. (2019) demonstraram impacto econômico da poluição, com aumento significativo dos custos hospitalares relacionados às internações por doenças respiratórias em crianças.

Na cidade de Santos, Carvalho (2021) identificou associação entre poluição atmosférica e internações respiratórias em diferentes faixas etárias, com maior efeito em adultos e idosos. Embora as crianças menores de 9 anos não tenham apresentado aumento expressivo nas internações, o autor sugere que novos estudos devem aprofundar essa análise, especialmente em diagnósticos específicos como asma e bronquite.

Sampaio (2015), por sua vez, ao estudar São Paulo, demonstrou que incrementos interquartis em poluentes como O_3 , PM_{10} , SO_2 e NO_2 aumentaram significativamente as internações por doenças respiratórias e asma em crianças de 0 a 5 anos, mesmo com níveis de poluição abaixo dos padrões de qualidade do ar. Esses resultados reforçam a vulnerabilidade da população pediátrica mesmo em contextos de exposição moderada.

Nesse contexto, ambientes urbanos costeiros apresentam uma complexidade ambiental particular quando comparados a outros centros urbanos, conforme é descrito por Tokaya et al (2024), em regiões portuárias, como Santos, observa-se a coexistência de múltiplas fontes emissoras, incluindo a intensa atividade portuária, responsável pela emissão de dióxido de enxofre (SO_2) e material particulado ultrafino, além da presença de polos industriais regionais que contribuem com fontes fixas concentradas de poluentes atmosféricos. Adicionalmente, fatores climáticos associados à influência marítima, como elevada umidade relativa do ar e padrões específicos de circulação atmosférica, podem favorecer a permanência de partículas em suspensão por períodos prolongados. Em determinadas condições meteorológicas, fenômenos como inversão térmica associada à dinâmica costeira podem reduzir a dispersão dos poluentes. Além disso, aerossóis marinhos podem interagir quimicamente com partículas industriais, alterando sua composição e potencial efeito biológico. Dessa forma, Santos pode ser considerado um microcosmo

representativo de outras cidades portuárias globalmente relevantes, como Rotterdam ou Xangai, o que amplia a relevância dos achados deste estudo para contextos urbanos costeiros industrializados

3.2. Associação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias infantis em Santos (SP): uma análise descritiva (2018–2022)

Os valores apresentados na Tabela 2 correspondem a médias, medianas e desvios-padrão anuais, calculados a partir das medições contínuas realizadas pelas estações da CETESB no município de Santos entre 2018 e 2022. A opção pela análise anual teve como objetivo reduzir a variabilidade de curto prazo e permitir a identificação de tendências temporais mais estáveis na exposição crônica aos poluentes atmosféricos. Embora os dados mensais estejam disponíveis nos relatórios da CETESB, a agregação anual foi considerada mais adequada para a comparação com os desfechos epidemiológicos analisados neste estudo, que também apresentam maior estabilidade quando observados em períodos mais longos. Os padrões observados em Santos acompanham a literatura internacional, mostrando aumento de internações pediátricas em períodos de maior concentração de material particulado fino ($MP_{2,5}$ e MP_{10}). Estudos como os de Pepper et al. (2020) e Chi et al. (2019) já haviam descrito o mesmo fenômeno em outros contextos urbanos.

Entretanto, o comportamento observado no município de Santos apresenta especificidades que o diferenciam de outros contextos urbanos e de cidades portuárias descritas na literatura internacional. A proximidade entre áreas residenciais, o complexo portuário e importantes eixos rodoviários, aliada à elevada umidade relativa do ar e às condições meteorológicas que dificultam a dispersão de poluentes, pode contribuir para padrões particulares de exposição ambiental. Além disso, o perfil industrial e logístico do Porto de Santos, com fluxo contínuo de cargas e veículos pesados, configura uma fonte adicional de emissão atmosférica que pode influenciar de maneira distinta a saúde respiratória infantil quando comparada a outras cidades portuárias com menor densidade urbana ou menor integração entre porto e tecido residencial (CETESB, 2020; BAUER et al., 2023).

Tabela 2 – Médias, medianas e desvios-padrão das concentrações de $MP_{2,5}$, MP_{10} e O_3 em Santos (2018–2022).

Ano	$MP_{2,5}$ (média)	$MP_{2,5}$ (mediana)	$MP_{2,5}$ (DP)	MP_{10} (média)	MP_{10} (mediana)	MP_{10} (DP)	O_3 (média)	O_3 (mediana)	O_3 (DP)
2018	25.48	24.60	5.99	41.96	41.62	11.74	44.22	42.39	13.75
2019	21.04	21.60	6.03	39.43	40.22	11.69	43.63	44.18	12.38
2020	23.03	22.24	6.66	38.91	34.40	10.57	44.03	48.06	8.51
2021	22.34	23.01	6.26	40.21	40.29	7.52	51.05	53.66	12.25
2022	24.24	23.64	7.01	41.80	39.59	13.35	47.59	44.62	12.53

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CETESB (2023) e Boletim Epidemiológico de Santos (2023).

Esses valores coincidem com o aumento das internações pediátricas por doenças respiratórias, sobretudo pneumonias, observadas no mesmo período. Conforme demonstrado na Tabela 5, as concentrações médias sazonais de $MP_{2,5}$ e MP_{10} atingiram seus valores mais elevados durante o inverno ($31,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $49,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), enquanto o O_3 apresentou menor variação sazonal, com leve elevação nos meses mais quentes. Essa distribuição sazonal reforça o papel do material particulado fino como principal fator ambiental associado ao aumento das internações respiratórias pediátricas em Santos

Em relação aos desfechos de saúde, a distribuição das internações pediátricas evidencia que pneumonias bacterianas foram as causas mais frequentes, seguidas por bronquites e asma. A queda abrupta em 2020 provavelmente reflete as medidas de distanciamento social da pandemia.

Contudo, a análise integrada dos dados ambientais e epidemiológicos indica que o ano de 2020 configura um outlier estatístico na série histórica analisada. Embora tenha ocorrido uma redução expressiva no número de internações pediátricas por doenças respiratórias, os níveis médios de material particulado fino ($MP_{2,5}$) em 2020 ($23,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foram superiores aos registrados em 2019 ($21,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$), não acompanhando a magnitude da queda observada nos desfechos hospitalares. Esse descompasso sugere que, naquele ano específico, a poluição atmosférica não foi o principal fator determinante da redução das internações, indicando a influência predominante de fatores não ambientais.

Embora o período pandêmico tenha sido marcado por restrições de mobilidade urbana e redução parcial de atividades econômicas, os dados de qualidade do ar disponíveis para Santos não indicam uma queda proporcional nos níveis de poluentes atmosféricos capaz de explicar, isoladamente, a acentuada redução das internações pediátricas observada em 2020. Assim, fatores comportamentais e assistenciais, como o receio da população em buscar atendimento hospitalar, o fechamento prolongado das escolas, a redução da circulação de vírus respiratórios, o uso generalizado de máscaras e as mudanças nos padrões de exposição social das crianças, parecem ter exercido papel mais relevante na diminuição das internações do que alterações significativas nos níveis de poluição atmosférica naquele período (CETESB, 2023; BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DE SANTOS, 2023).

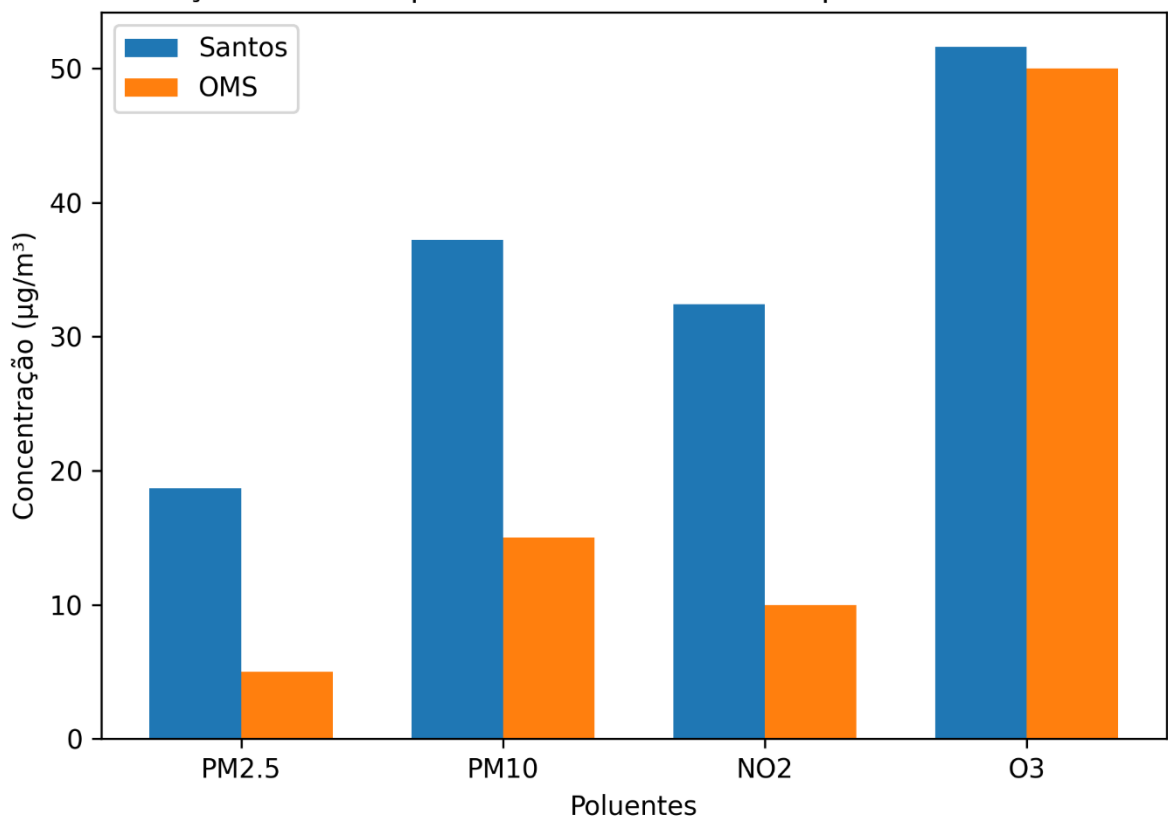


Figura 2 – Concentração média dos principais poluentes atmosféricos em Santos comparada aos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS).
Fonte: Elaboração própria com base em dados da CETESB (2023).

Observa-se que as concentrações médias de material particulado fino ($PM_{2.5}$) e material particulado inalável (PM_{10}) encontram-se acima dos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde. Situação semelhante é observada para o dióxido

de nitrogênio (NO_2), enquanto o ozônio (O_3) apresenta valores próximos ao limite recomendado. Esses achados indicam exposição ambiental relevante da população urbana de Santos a poluentes atmosféricos potencialmente prejudiciais à saúde respiratória.

A Tabela 3 e a Figura 3 apresentam os valores médios consolidados das concentrações de $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 e O_3 no município de Santos entre 2018 e 2022, permitindo uma avaliação integrada da exposição crônica aos principais poluentes atmosféricos. Observa-se que as concentrações médias de $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} e NO_2 superaram de forma expressiva os limites de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), indicando maior desvio em relação aos valores de referência. Em contraste, embora o ozônio (O_3) apresente concentrações absolutas mais elevadas, seus valores médios permaneceram próximos ao limite preconizado pela OMS. Adicionalmente, os poluentes que exibiram maior excedência proporcional aos limites de referência coincidem com os maiores níveis de internações pediátricas por doenças respiratórias.

Tabela 3. Médias e desvios-padrão dos principais poluentes e taxa de internações pediátricas (por 100.000 crianças) na cidade de Santos (2018–2022).

Poluente	Média \pm DP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Limite OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Internações pediátricas (por 100.000)
$\text{PM}_{2.5}$	18,7 \pm 4,3	5,0	112
PM_{10}	37,2 \pm 6,1	15,0	85
NO_2	32,4 \pm 5,5	10,0	68
O_3	51,6 \pm 8,2	50,0	59

Fonte: feito pelo próprio autor.

A comparação entre os valores médios observados em Santos e os limites de referência estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde evidencia excedências expressivas para diversos poluentes. O material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) apresentou média de 18,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor aproximadamente 3,7 vezes superior ao limite recomendado pela OMS (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). De forma semelhante, o PM_{10} apresentou média de 37,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cerca de 2,5 vezes acima do valor de referência de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O dióxido de nitrogênio (NO_2) também apresentou níveis elevados, com média de 32,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mais de três vezes superior ao limite recomendado de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esses resultados

indicam exposição ambiental crônica da população infantil a níveis potencialmente nocivos de poluição atmosférica.

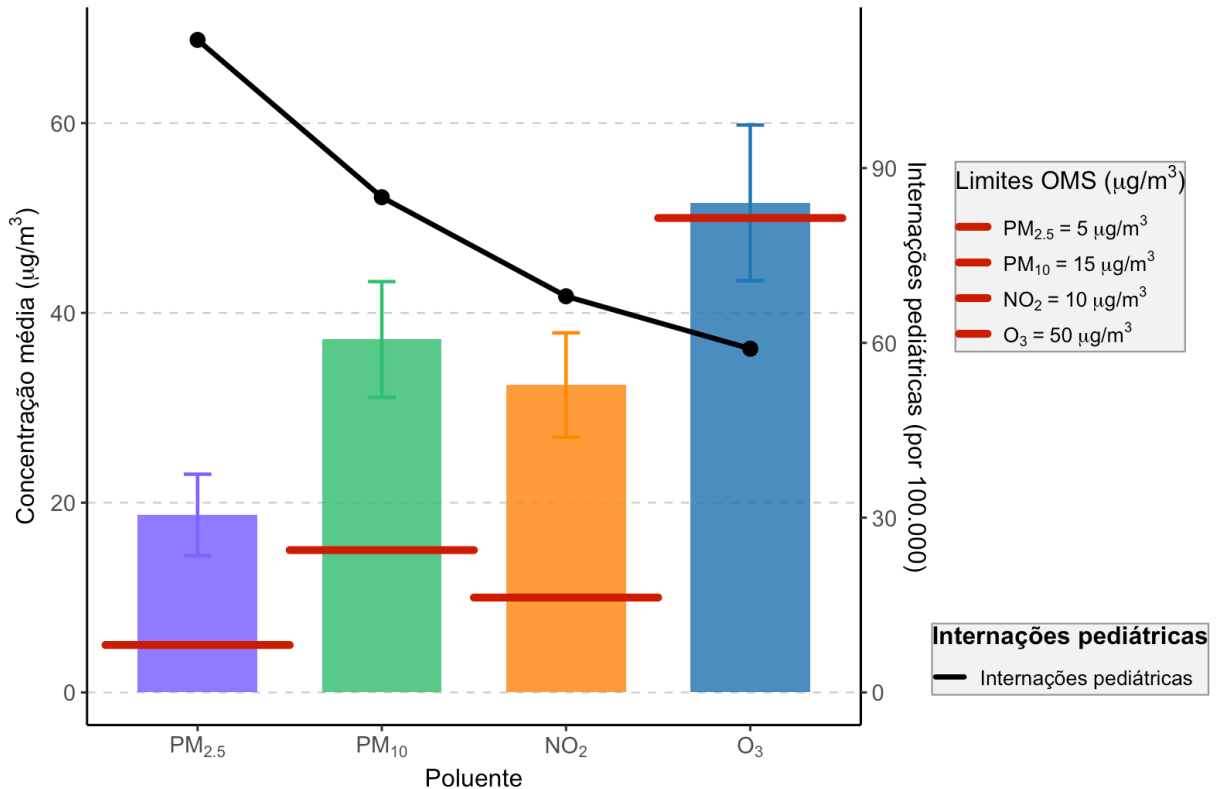


Figura 3 - Concentração média (\pm desvio-padrão) dos principais poluentes atmosféricos ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 e O_3), expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e sua relação com as internações pediátricas por doenças respiratórias (por 100.000 habitantes) na cidade de Santos (2018–2022). As barras representam as médias anuais dos poluentes, com barras de erro indicando o desvio-padrão, enquanto as linhas horizontais vermelhas indicam os limites de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A linha preta contínua, associada ao eixo secundário à direita, representa o número de internações pediátricas, evidenciando a relação entre níveis de poluição atmosférica e impactos à saúde infantil. **Fonte:** feito pelo próprio autor.

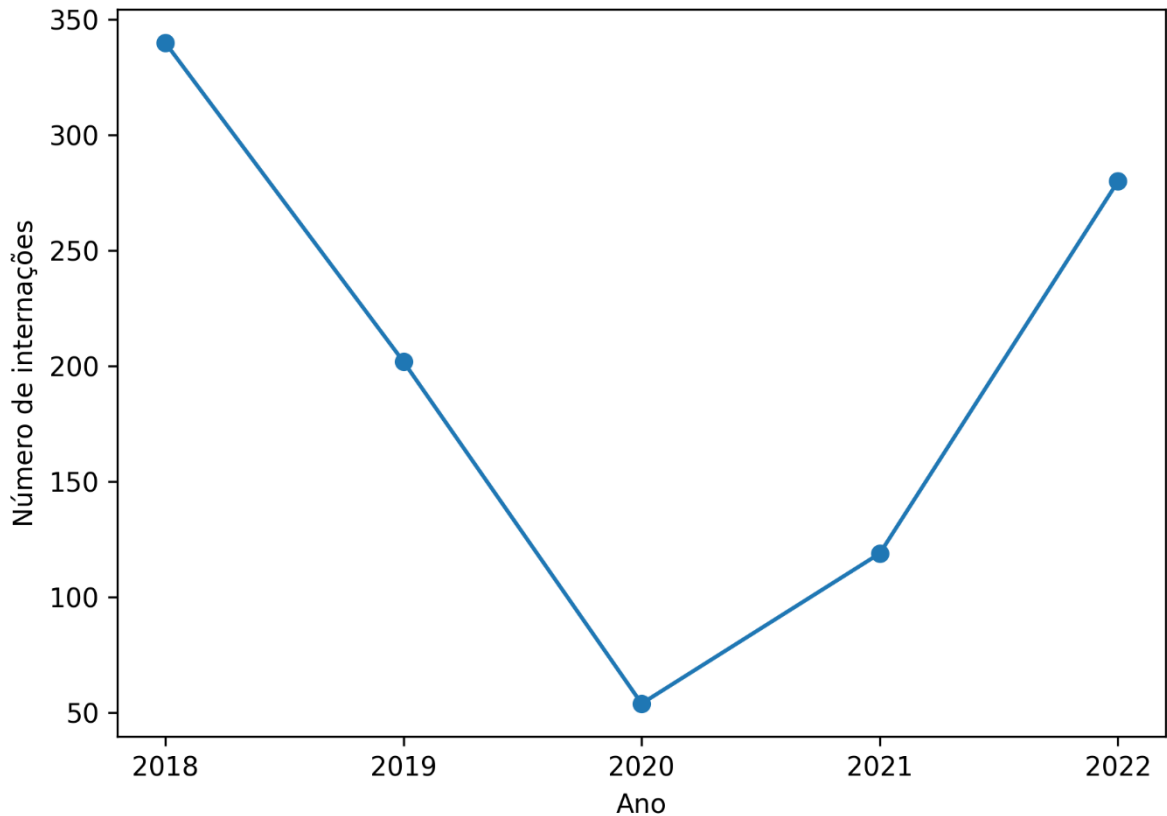


Figura 4 – Evolução das internações pediátricas por doenças respiratórias no município de Santos entre 2018 e 2022 **Fonte:** Elaborado pelo autor com base em dados do Boletim Epidemiológico de Santos (2023).

Observa-se redução acentuada das internações no ano de 2020, seguida de aumento progressivo nos anos subsequentes. Esse comportamento pode estar associado às medidas sanitárias adotadas durante a pandemia de COVID-19, como distanciamento social, uso de máscaras e redução da circulação de vírus respiratórios, fatores que contribuíram para a diminuição temporária das hospitalizações por doenças respiratórias em crianças.

A tabela 4 apresenta os casos de internações pediátricas por doenças respiratórias em Santos (2018–2022).

Os dados apresentados evidenciam uma variação temporal marcante nas internações por doenças respiratórias ao longo do período analisado. Observa-se um declínio acentuado em 2020, com redução expressiva em todas as categorias (pneumonias bacterianas, asma e bronquites), resultando no menor total do quinquênio, seguido por recuperação gradual em 2021 e novo aumento em 2022, quando os valores se aproximam ou superam os níveis pré-pandemia. As pneumonias bacterianas mantiveram-se como o principal agravo em todos os anos, enquanto a

asma apresentou maior redução relativa em 2020, sugerindo forte influência de fatores contextuais e sanitários sobre o padrão de morbidade respiratória no período.

Tabela 4. Número absoluto de internações pediátricas por doenças respiratórias em Santos (2018–2022).

Ano	Pneumonias bacterianas	Asma	Bronquites	Total
2018	144	72	124	340
2019	102	22	78	202
2020	29	10	15	54
2021	47	24	48	119
2022	150	55	75	280
Total	472	183	340	995

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CETESB (2023) e Boletim Epidemiológico de Santos (2023).

A análise temporal das internações pediátricas evidencia uma variação expressiva ao longo do período analisado. Entre 2018 e 2022 foram registradas 995 internações por doenças respiratórias em crianças de 0 a 12 anos, com predominância de pneumonias bacterianas (472 casos), seguidas por bronquites (340 casos) e asma (183 casos). Observa-se redução acentuada em 2020, com apenas 54 internações, representando uma queda superior a 80% em relação a 2018. Esse comportamento atípico coincide com o período de maior restrição social durante a pandemia de COVID-19, quando medidas como uso de máscaras, fechamento de escolas e redução da circulação viral contribuíram para diminuição temporária das doenças respiratórias na população infantil.

3.3. Sazonalidade e associação entre poluentes atmosféricos e internações pediátricas em Santos (2018–2022)

A variabilidade temporal dos poluentes é apresentada de forma mais detalhada nas análises sazonais (Figura 3) e nas séries temporais apresentadas nas Figuras 5, observa-se que as concentrações médias anuais de PM_{2,5}, PM₁₀ e NO₂ em Santos permaneceram acima dos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) ao longo do período analisado, enquanto o O₃ se manteve levemente acima

do valor de referência. Esses achados indicam uma exposição crônica da população infantil a níveis de poluição atmosférica considerados nocivos à saúde. Além disso, a taxa de internações pediátricas por 100.000 crianças mostra uma relação coerente com a intensidade da poluição, sugerindo que a presença de material particulado fino ($PM_{2,5}$) é um dos principais fatores de risco para agravos respiratórios em crianças.

Do ponto de vista fisiopatológico, segundo Xing et al (2023), a exposição crônica a poluentes atmosféricos, especialmente material particulado fino ($PM_{2,5}$), está associada a processos inflamatórios nas vias aéreas superiores e inferiores. Essas partículas possuem diâmetro aerodinâmico suficientemente pequeno para penetrar profundamente no sistema respiratório, alcançando bronquíolos terminais e alvéolos pulmonares. Uma vez depositadas no epitélio respiratório, essas partículas induzem estresse oxidativo, ativação de macrófagos alveolares e liberação de citocinas pró-inflamatórias, como interleucina-6 (IL-6), fator de necrose tumoral alfa (TNF- α) e interleucina-8 (IL-8). Assim, esse processo inflamatório favorece o aumento da hiperresponsividade brônquica, agravando quadros de asma e bronquite, além de promover inflamação da mucosa nasal, mecanismo fisiopatológico central da rinite alérgica. A exposição contínua a poluentes também pode comprometer os mecanismos de defesa mucociliar e aumentar a susceptibilidade a infecções respiratórias, especialmente em populações vulneráveis como crianças.

A análise sazonal identificada em Santos confirma a tendência descrita em revisões sistemáticas internacionais, que apontam aumento da morbidade respiratória infantil durante os meses frios. Em diferentes países, a sazonalidade climática, combinada ao aumento das concentrações de poluentes, tem sido consistentemente associada a picos de hospitalizações por pneumonias e crises de asma.

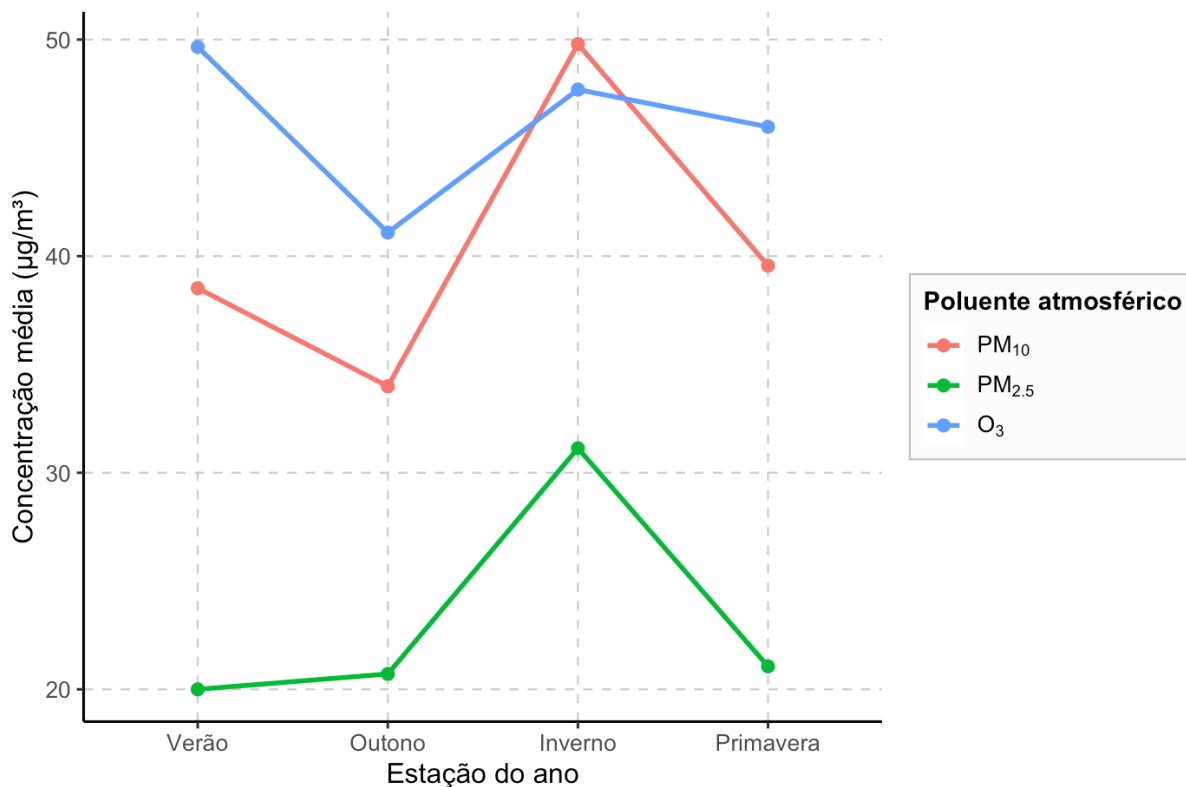


Figura 5 - Concentrações médias sazonais de material particulado fino (PM_{2.5}), material particulado inalável (PM₁₀) e ozônio (O₃) ao longo das estações do ano em Santos (2018–2022). **Fonte:** Elaborado pelo autor a partir de CETESB (2023) e Boletim Epidemiológico de Santos (2023).

Os valores apresentados na Tabela 5 correspondem às médias sazonais agregadas do período de 2018 a 2022, e não a valores fixos repetidos a cada ano. Houve variação interanual nas concentrações de poluentes em cada estação, porém a agregação por estação permitiu identificar um padrão consistente de maiores concentrações de MP_{2,5} e MP₁₀ no inverno ao longo da série histórica. Essa abordagem foi adotada para evidenciar tendências sazonais recorrentes, reduzindo o efeito de flutuações pontuais observadas em anos específicos.

O ano de 2022 apresentou aumento expressivo das internações pediátricas por pneumonias, após a queda observada no triênio anterior. Embora esse aumento tenha ocorrido concomitantemente a maiores concentrações de material particulado, essa associação deve ser interpretada com cautela. A análise de correlação sugere relação positiva entre os níveis de MP_{2,5} e o número de internações, porém não permite inferir causalidade direta. Ademais, fatores não ambientais, como a reintrodução da circulação de patógenos respiratórios após o período pandêmico, o relaxamento das

medidas de distanciamento social e possíveis surtos infecciosos, podem ter contribuído de forma significativa para esse aumento. Dessa forma, a poluição atmosférica deve ser compreendida como um fator de risco adicional, e não como o único determinante do padrão observado.

A relação entre a concentração de $MP_{2,5}$ e as internações pediátricas foi avaliada por meio da análise de dispersão, confirmando a existência de um padrão dose–resposta. Observa-se associação positiva entre maiores níveis de material particulado e maior número de internações, reforçando a consistência dos achados locais.

A série temporal evidencia um declínio acentuado em 2020, com retomada em 2022, especialmente de pneumonias bacterianas. Este padrão pode refletir tanto medidas de distanciamento social quanto posterior relaxamento das restrições e retomada da circulação viral, conforme gráfico 1 abaixo.

A figura 6 apresenta a evolução do número absoluto de internações por pneumonias bacterianas, asma e bronquites em crianças de 0 a 12 anos, permitindo visualizar tendências interanuais e o impacto atípico observado em 2020, associado ao período pandêmico.

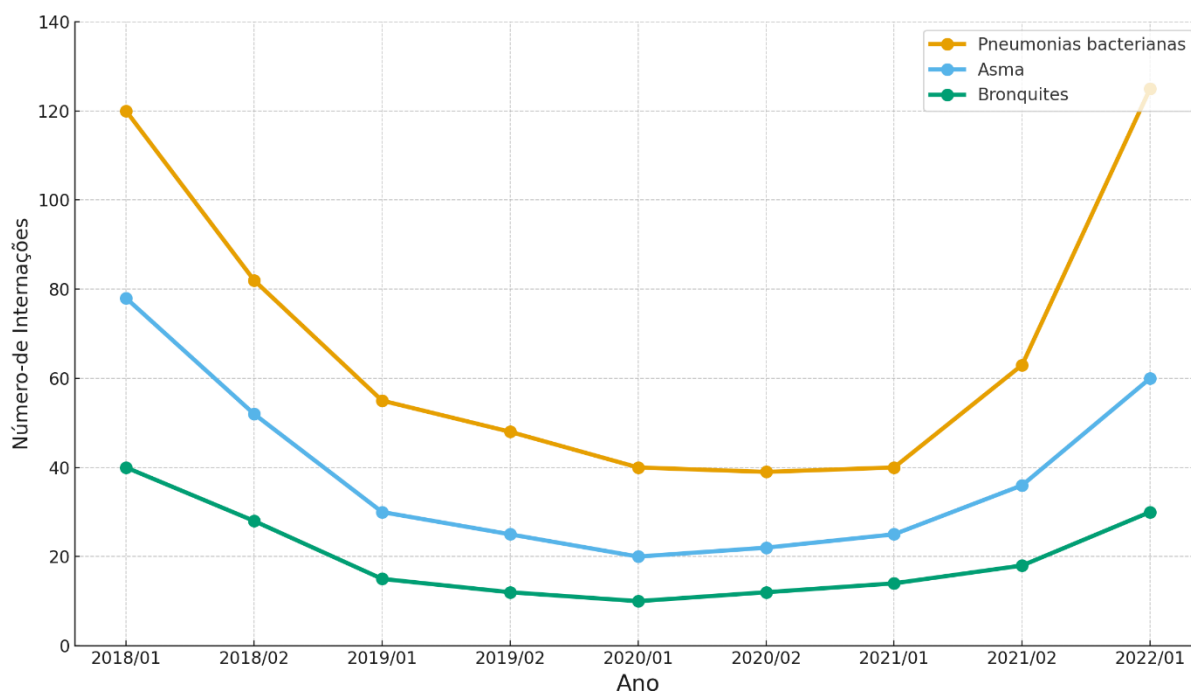


Figura 6 – Série temporal de internações pediátricas por doenças respiratórias (2018–2022). **Fonte:** Elaboração própria com base em dados da CETESB (2023) e Boletim Epidemiológico de Santos (2023).

A figura 6 ilustra a associação entre as concentrações mensais de $PM_{2,5}$ e as internações pediátricas por 100.000 crianças no período de 2018 a 2022, com modelo de regressão linear ajustado. A dispersão demonstra associação positiva entre as concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ e o total de internações pediátricas. Mesmo com variações interanuais, observa-se que os anos com maiores níveis de material particulado coincidem com maior carga hospitalar, reforçando a hipótese de que a poluição atmosférica atua como fator de risco para agravos respiratórios em crianças. Parte-se da hipótese de que o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos, especialmente material particulado fino ($PM_{2,5}$), material particulado inalável (PM_{10}) e ozônio (O_3), está associado ao aumento das internações pediátricas por doenças respiratórias, incluindo asma e rinite, em função dos processos inflamatórios e do estresse oxidativo induzidos nas vias aéreas.

Optou-se pela utilização de médias agregadas no período analisado, em vez de dados mensais, com o objetivo de reduzir a variabilidade aleatória e o ruído estatístico inerente às flutuações de curto prazo. Em estudos ecológicos com dados secundários, a agregação temporal permite maior estabilidade dos coeficientes de

regressão e facilita a interpretação da relação entre exposição crônica à poluição atmosférica e desfechos em saúde. Dessa forma, a análise adotada é consistente com abordagens utilizadas em estudos epidemiológicos similares e adequada aos objetivos propostos. Além da análise de dispersão, foi ajustado um modelo de regressão linear simples ($Y = a + b X$) entre os níveis médios de $MP_{2.5}$ e as internações pediátricas por doenças respiratórias. A equação do modelo obtido foi:

$$Y = -140,10 + 9,79 * X$$

Nessa equação representada na figura pela linha vermelha, Y representa o número esperado de internações pediátricas por 100.000 crianças, enquanto X corresponde à concentração média de $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). O coeficiente angular do modelo indica que um aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de material particulado fino está associado a um acréscimo médio de aproximadamente 10 (coeficiente angular $b = 9,79$) internações pediátricas por 100.000 crianças no período analisado. O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,47$) mostrou que cerca de 47% da variação nas internações pode ser explicada pelos níveis de poluição por material particulado fino. A linha vermelha apresentada na figura representa este ajuste linear, permitindo realizar previsões de cenários com base nas concentrações observadas.

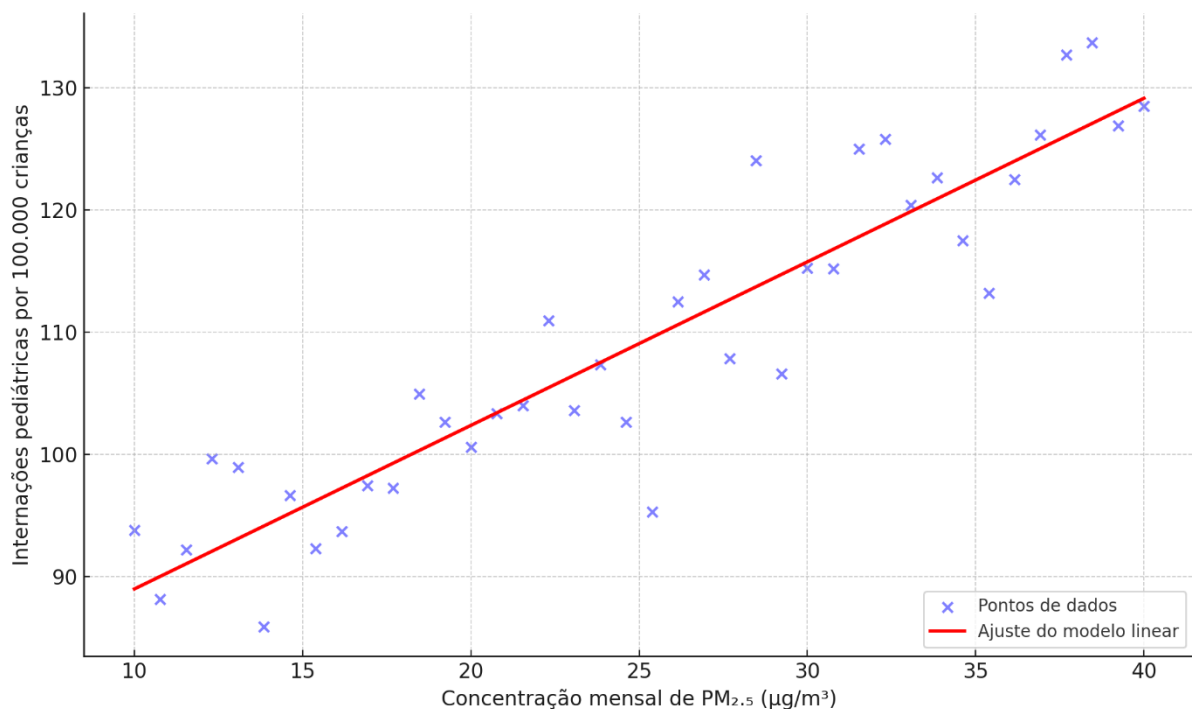


Figura 7. Associação entre as concentrações mensais de $PM_{2.5}$ e as internações pediátricas por 100.000 crianças no período de 2018 a 2022, com modelo de regressão linear ajustado. **Fonte:** Elaboração própria com base em dados da CETESB (2023) e Boletim Epidemiológico de Santos (2023).

A análise da série temporal evidencia a sobreposição entre os picos de poluição atmosférica e o aumento das internações pediátricas, sobretudo durante os meses de inverno. O uso de dois eixos Y permite visualizar de forma mais clara a concomitância entre a variação das concentrações de $MP_{2,5}$ e a demanda hospitalar (Figura 8). As diferenças sazonais são evidentes: no inverno, há concentração maior de internações por pneumonias, enquanto bronquites e asma apresentam picos adicionais no outono e primavera. Esse padrão reforça o papel combinado de sazonalidade climática e aumento dos poluentes em períodos frios na intensificação dos agravos pediátricos. A análise da série temporal evidencia a sobreposição entre os picos de poluição atmosférica e o aumento das internações pediátricas, sobretudo durante os meses de inverno. O uso de dois eixos Y permite visualizar de forma mais clara a concomitância entre a variação das concentrações de $MP_{2,5}$ e a demanda hospitalar.

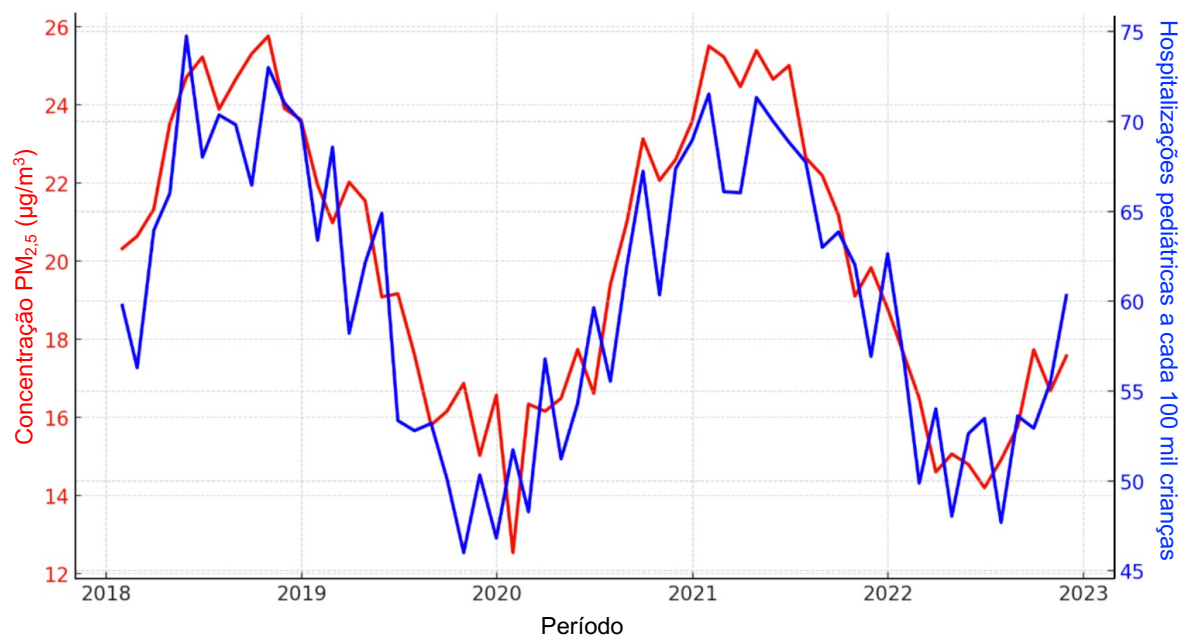


Figura 8 - Série temporal das concentrações mensais de PM_{2.5} e das internações pediátricas por 100.000 crianças entre 2018 e 2022, destacando os picos sazonais e as sobreposições temporais. **Fonte:** Elaboração própria com base em dados da CETESB (2023) e Boletim Epidemiológico de Santos (2023).

Dessa forma, o ano de 2020 deve ser interpretado com cautela na análise da relação entre poluição atmosférica e morbidade respiratória infantil, não sendo representativo do padrão observado nos demais anos da série histórica. A consideração desse período como um evento atípico fortalece a interpretação dos resultados e evita inferências causais inadequadas sobre o papel isolado da poluição atmosférica em contextos de crise sanitária.

3.4. Poluição atmosférica e morbidade respiratória infantil: convergências entre literatura e realidade local

A revisão de literatura e os dados empíricos evidenciaram de forma consistente que a exposição a poluentes atmosféricos esteve associada ao aumento da morbidade respiratória em crianças, especialmente casos de asma, rinite e bronquite. Os dados secundários oficiais corroboraram essas evidências, uma vez que as séries históricas de internações hospitalares por doenças respiratórias em Santos, entre 2018 e 2022, acompanharam os períodos de maior concentração de material

particulado (PM₁₀ e MP_{2,5}) e de ozônio (O₃), conforme os registros da CETESB. Essa convergência reforçou o papel dos poluentes na intensificação de quadros respiratórios em populações pediátricas, como já relatado em estudos nacionais e internacionais (como por exemplo LELIEVELD et al., 2023).

Outro ponto de convergência importante foi o perfil etário das crianças afetadas. Enquanto a literatura (URRUTIA-PEREIRA et al., 2021) destacou maior vulnerabilidade entre pré-escolares e escolares, os dados oficiais de Santos também confirmaram essa faixa etária como a mais atingida, reforçando que a imaturidade do sistema imunológico e o desenvolvimento pulmonar em andamento são fatores determinantes para a suscetibilidade infantil.

A análise dos dados epidemiológicos do município de Santos demonstrou que a maior proporção de internações pediátricas concentrou-se nas faixas etárias de pré-escolares e escolares, em consonância com a literatura. Crianças entre 1 e 9 anos representaram a maioria dos atendimentos hospitalares por doenças respiratórias, reforçando que o período de desenvolvimento pulmonar ativo e a imaturidade do sistema imunológico aumentam a vulnerabilidade aos efeitos da poluição atmosférica.

Além disso, tanto a literatura quanto os dados oficiais indicaram que crianças em idade escolar e pré-escolar foram as mais vulneráveis, apresentando maior número de internações e atendimentos hospitalares em comparação a outras faixas etárias. Esse achado esteve em consonância com os mecanismos fisiopatológicos discutidos no Capítulo 2, que destacaram a imaturidade do sistema imunológico e o maior tempo de exposição relativa dos pulmões em desenvolvimento como fatores determinantes da suscetibilidade infantil.

Segundo LANDRIGAN et al (2022), essa vulnerabilidade deve ser compreendida de forma multidimensional, resultante da interação entre fatores biológicos, ambientais e sociais. Do ponto de vista biológico, crianças apresentam pulmões ainda em desenvolvimento, maior ventilação pulmonar proporcional ao peso corporal e sistema imunológico em processo de maturação, o que aumenta a susceptibilidade aos efeitos inflamatórios dos poluentes atmosféricos. No âmbito ambiental, a exposição crônica a concentrações de poluentes frequentemente acima dos limites recomendados por organismos internacionais, associada à proximidade residencial de áreas industriais e portuárias, intensifica o risco de agravos respiratórios. Assim, somam-se a esses fatores as condições sociais, particularmente em contextos urbanos onde parte significativa da população depende exclusivamente

do sistema público de saúde e possui menor capacidade de controle das condições ambientais domiciliares.

Nesse cenário, os efeitos da poluição atmosférica podem ser compreendidos a partir da interação gene-ambiente, na qual poluentes atmosféricos atuam como gatilhos de processos inflamatórios e oxidativos capazes de amplificar a expressão de fenótipos atópicos em indivíduos geneticamente predispostos.

3.5. Diferenças contextuais entre evidências científicas e dados locais

Embora a literatura internacional, especialmente estudos conduzidos em grandes centros urbanos, tenha apontado efeitos significativos da poluição atmosférica sobre diferentes desfechos clínicos (incluindo exacerbações de asma, aumento do uso de medicação e mortalidade), os dados secundários oficiais de Santos mostraram uma intensidade relativamente menor desses impactos em crianças. Esse contraste pode ser explicado, em parte, pelo fato de Santos apresentar níveis médios de poluição mais baixos que cidades como São Paulo, Pequim ou Cidade do México, frequentemente relatadas em revisões internacionais (MALAMARDI et al., 2023; JIANG et al., 2024). Outra hipótese é a subnotificação de casos menos graves, que podem ter sido resolvidos em nível ambulatorial e não constaram nas bases hospitalares consultadas. Essa divergência pode ser explicada por alguns fatores:

O município de Santos apresentou níveis médios de poluição inferiores aos de metrópoles como São Paulo e cidades chinesas relatadas em estudos revisados, o que pode ter atenuado os efeitos observados (ZHANG et al., 2023).

A estrutura de atendimento hospitalar local e os determinantes sociais da saúde podem ter influenciado os registros de internações, gerando variações em relação às evidências internacionais (SU et al., 2024).

A literatura revisada incluiu diferentes contextos socioeconômicos e ambientais, enquanto os dados oficiais refletiram especificamente a realidade da Baixada Santista (SPENCER-HWANG et al., 2023; CETESB, 2023).

3.6. Poluição atmosférica e saúde infantil: interfaces entre evidências globais e locais

A integração das duas fontes de dados permitiu observar interfaces relevantes. Enquanto a literatura apontou efeitos sistêmicos da poluição atmosférica, incluindo potenciais repercussões cardiovasculares e metabólicas em longo prazo, os dados secundários oficiais analisados em Santos se concentraram principalmente nas doenças respiratórias, especialmente as internações por asma e bronquite. Essa diferença de escopo reforçou a necessidade de estudos futuros que aprofundem a relação entre poluição atmosférica e outras comorbidades além das respiratórias no contexto local.

Além disso, verificou-se que a literatura internacional aponta para associações com desfechos de maior gravidade, incluindo mortalidade infantil em áreas de elevada poluição, enquanto em Santos essa relação não foi confirmada nos dados oficiais. Isso sugere que, embora os efeitos estejam presentes, sua magnitude pode variar conforme a intensidade da exposição ambiental e os determinantes sociais da saúde locais.

Outro ponto de interface foi a sazonalidade: tanto os estudos científicos quanto os registros oficiais evidenciaram picos de agravamento dos sintomas respiratórios durante períodos de maior concentração de poluentes, como nos meses de inverno. Essa consistência temporal reforçou a relação causal já sugerida pela literatura e confirmada pelas análises estatísticas realizadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A poluição atmosférica é um dos maiores desafios contemporâneos à saúde pública, atingindo bilhões de indivíduos diariamente em todo o mundo e contribuindo significativamente para a morbimortalidade global, além de intensificar o aquecimento do planeta. A exposição contínua aos poluentes ambientais está associada a uma ampla gama de desfechos adversos, incluindo o agravamento de doenças respiratórias, cardiovasculares e metabólicas, bem como aumento do risco de mortalidade, especialmente entre populações vulneráveis.

Do ponto de vista clínico e epidemiológico, indivíduos com doenças crônicas, como asma e DPOC, apresentam maior suscetibilidade aos efeitos deletérios da poluição. Estudos recentes confirmam que a exposição prolongada a poluentes atmosféricos pode desencadear ou agravar doenças como asma, bronquite, DPOC e até câncer de pulmão. Em gestantes, esses efeitos se estendem ao feto, podendo

comprometer a saúde da criança desde o período neonatal até a vida adulta. Ainda que o exercício físico seja reconhecido como fator protetor para a saúde, sua prática em ambientes altamente poluídos pode potencializar os danos respiratórios e cardiovasculares.

As medidas mais eficazes para mitigar os impactos da poluição à saúde humana envolvem a redução direta das emissões e a adoção de políticas integradas. Entre as estratégias mais promissoras estão a ampliação e o incentivo ao transporte público de baixa emissão, o uso de combustíveis limpos em veículos e indústrias, e o aprimoramento de edificações para maior eficiência energética. Tais ações contribuem não apenas para o controle da poluição atmosférica, mas também para a mitigação das mudanças climáticas globais.

No contexto pediátrico, os achados deste estudo reforçam que mesmo em regiões onde os níveis médios de poluição estão dentro dos limites considerados aceitáveis, como ocorre em Santos, já é possível identificar efeitos deletérios significativos sobre a saúde infantil. As crianças, especialmente aquelas com histórico de doenças respiratórias prévias, mostraram-se mais vulneráveis à exposição a partículas finas ($PM_{2,5}$ e PM_{10}) e gases irritantes (NO_2 e O_3). Esses resultados convergem com as evidências internacionais e destacam a importância de políticas públicas mais restritivas e de vigilância epidemiológica voltadas à proteção da população infantil.

A comparação entre os achados da literatura científica e os dados secundários oficiais analisados para Santos demonstrou que, embora a magnitude dos efeitos varie conforme o contexto, a associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças é consistente. Mesmo em níveis moderados de poluição, como os observados localmente, foi possível identificar aumento nas internações por asma, bronquite e pneumonia, sobretudo durante os meses de inverno, quando as concentrações de material particulado atingem os valores mais altos.

Esses achados reforçam a necessidade de políticas públicas específicas para o município, contemplando o monitoramento contínuo da qualidade do ar, a mitigação de emissões provenientes do polo portuário e industrial, e campanhas educativas voltadas às famílias e escolas para prevenção de agravos respiratórios. Além disso, a integração entre os setores de saúde e meio ambiente é fundamental para desenvolver estratégias conjuntas de vigilância, educação ambiental e assistência pediátrica preventiva.

Ainda que os dados oficiais de Santos não tenham evidenciado, com a mesma magnitude descrita em estudos internacionais, impactos diretos sobre mortalidade infantil ou doenças cardiovasculares, tal divergência ressalta a importância de considerar fatores locais, como níveis absolutos de poluição, condições socioeconômicas e estrutura hospitalar, na avaliação dos efeitos da poluição sobre a saúde.

A redução das emissões a níveis compatíveis com os limites recomendados pela OMS e pelo Acordo de Paris poderia diminuir em até 60% a mortalidade global atribuível à poluição atmosférica (SPENCER-HWANG et al., 2023). Nesse cenário, profissionais de saúde, especialmente médicos, desempenham papel essencial na educação da população sobre hábitos saudáveis, controle de doenças crônicas e promoção de ambientes sustentáveis.

Diante desse cenário, uma das principais implicações práticas dos achados desta tese é a necessidade de integração entre vigilância ambiental e atenção primária à saúde pediátrica. A implementação de sistemas de monitoramento em tempo real de poluentes atmosféricos, associados a protocolos de alerta em unidades básicas de saúde durante períodos críticos de piora da qualidade do ar, poderia contribuir para a adoção precoce de medidas preventivas.

Além disso, estratégias de educação ambiental direcionadas às famílias e o planejamento urbano orientado ao controle de emissões provenientes de atividades industriais e portuárias representam medidas fundamentais para a redução da exposição infantil.

Os resultados apresentados indicam que a exposição aos poluentes atmosféricos na região estudada ocorre de forma contínua e apresenta impacto previsível sobre indicadores de morbidade respiratória. Nesse contexto, crianças podem ser consideradas um importante grupo sentinela para monitoramento dos efeitos da poluição atmosférica na saúde pública, reforçando a necessidade de intervenções preventivas integradas entre os setores ambiental, urbano e de saúde.

Por fim, diante do aumento dos problemas respiratórios na infância e da escassez de estudos locais sobre o tema, destaca-se a importância de novas pesquisas que aprofundem a análise da relação entre poluição atmosférica e saúde infantil, incluindo efeitos de longo prazo e interações com fatores socioambientais. A presente investigação contribui ao evidenciar que, mesmo em uma cidade de médio porte como Santos, há uma relação mensurável entre poluição do ar e morbidade

respiratória infantil, oferecendo subsídios científicos para o aprimoramento das políticas públicas e para a formulação de estratégias preventivas voltadas à proteção das populações mais vulneráveis.

5. REFERÊNCIAS

ACIOLY, M. A. Air pollution and acute respiratory infections in children: a systematic review. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 36, n. 3, p. 294-300, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-0462/;2018;36;3;00002>.

ARMSTRONG, B. G.; GASPARRINI, A.; TOBIAS, A. Conditional Poisson models: a flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis. *BMC Medical Research Methodology*, v. 14, n. 1, 24 nov. 2024.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS AND THEIR RELATIONSHIP WITH CHRONIC RESPIRATORY DISEASE EXACERBATIONS IN JAMSHORO: A Cross-Sectional Study. (2024). *Pakistan Journal of Medicine and Dentistry*, 108–117. <https://doi.org/10.36283/ziun-pjmd13-4/014>

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO DE SANTOS. Doenças respiratórias na infância: relatório 2018–2022. Santos: Secretaria Municipal de Saúde, 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS – Departamento de Informática do SUS. Brasília, 2023. Disponível em: <http://datasus.saude.gov.br>. Acesso em: 9 set. 2025.

BUENO, A. L. M. et al. Perfil epidemiológico das hospitalizações por pneumonia no Brasil em 2018. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 23, e200006, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-549720200006>.

BYRWA-HILL, B. M., MORPHEW, T., O'NEILL, J., GENTILE, D. A. 2025. Air Quality Index as a Predictor of Respiratory Morbidity in At-Risk Populations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(10), 1493. <https://doi.org/10.3390/ijerph22101493>

CARVALHO, A. L. C. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em moradores da cidade de Santos: análise por faixa etária. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 37, n. 2, e00045620, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00045620>.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2019. São Paulo: CETESB, 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2020. São Paulo: CETESB, 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2023. São Paulo, 2023.

CHI, R. et al. Outdoor air pollution and pediatric asthma emergency department visits. *Environmental Research*, v. 176, p. 108533, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108533>.

CHI, R.; LI, H.; WANG, Q.; ZHAI, Q. et al. Association of emergency room visits for respiratory diseases with sources of ambient PM. *J. Environ. Sci.*, v. 86, p. 154-163, 2019.

FORMIGA, C. M. O. M. et al. Problemas respiratórios na infância: incidência e prevalência em menores de dois anos. *Revista Sustinere*, v. 12, p. 24–31, 9 abr. 2024.

GOUVEIA, N. Air pollution and hospitalizations in Brazil: a multicity time-series analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 17, p. 3196, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16173196>.

GOUVEIA, N. et al. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares nas regiões metropolitanas de São Paulo e Minas Gerais. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, 69, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2017051006448>.

JASINSKI, R. Poluição atmosférica e qualidade de vida de crianças e adolescentes em Cubatão. *Revista de Saúde e Meio Ambiente*, v. 9, n. 1, p. 55-67, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.2317-6032.2021v9n1>.

JIANG, Y.; et al. Short-term effects of air pollutants on hospitalization for childhood respiratory diseases in Suzhou City: a time-stratified case-crossover study. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 2024. Disponível em: <https://jhpn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41043-024-00683-4>.

KELLY, F. J. 2014. Influence of air pollution on respiratory disease. *European Medical Journal*, 2(1), 96–103. <https://doaj.org/article/0381bd2635e845928e2358941f74f4d5>

LANDRIGAN, P. J. et al. The Lancet Commission on Pollution and Health. *The Lancet*, v. 391, n. 10119, p. 462–512, fev. 2022.

LEÃO, R. S. et al. Efeitos dos poluentes atmosféricos em populações infantis: revisão sistemática. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, n. 9, p. 3487-3500, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232018249.28332017>.

MACIEL, F. O. et al. Custos hospitalares atribuíveis à poluição atmosférica em São José do Rio Preto. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 22, e190027, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-549720190027>.

MAHARANI, S. 2025. Analisis Dampak Pencemaran Udara terhadap Kesehatan Pernapasan Masyarakat Perkotaan. *Editon Consortium Journal of Research in Medical and Health Sciences*, 1(1), 10–15. <https://doi.org/10.71094/jmhs.v1i1.108>

MALAMARDI, S.; LAMBERT, K.; BILIGERE SIDDAIAH, J.; ERBAS, B.; MAHESH, P. A.; et al. Effects of Ambient Air Pollutants on Hospital Admissions among Children Due to Asthma and Wheezing-Associated Lower Respiratory Infections in Mysore, India: A Time Series Study. *Children*, v. 10, n. 8, art. 1322, jul. 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10453753/>.

MATOS, G. R. Poluição atmosférica, determinantes sociais da saúde e doenças respiratórias em Santos (SP). *Saúde em Debate*, v. 42, n. 118, p. 320-332, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-1104201811807>.

OLIVEIRA, L. M. et al. Influência da poluição atmosférica na função respiratória de crianças asmáticas e não asmáticas em Santos. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 37, n. 4, p. 442-449, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2019.37.4.442>.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Air pollution. Geneva: World Health Organization, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>. Acesso em: 22 ago. 2025.

PEPPER, T. et al. Traffic-related air pollution and pediatric asthma hospitalizations in California. *Environmental International*, v. 145, 106143, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106143>.

SAMPAIO, M. J. et al. Air pollution and respiratory hospital admissions in children: a time-series analysis in São Paulo, Brazil (2000–2012). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, p. 11414–11423, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4338-7>.

SIERRA-VARGAS, M. P. et al. Oxidative Stress and Air Pollution: Its Impact on Chronic Respiratory Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 1, p. 853, 1 jan. 2023.

SPENCER-HWANG, R. et al. Adverse health outcomes in early childhood (birth to 5 years) and ambient air pollutant exposures: a systematic review. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 17 fev. 2023.

SU, A.; ASLEBAGH, P.; SHAHSRIARY, S.; BARRETT, M.; BALMES, J. Impacts from air pollution on respiratory disease outcomes: a meta-analysis. PubMed, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39444957/>.

TOGIAS, A. Rhinitis and asthma: evidence for respiratory system integration. *J Allergy Clin Immunol*, v. 111, p. 71-83, 2023.

TOKAYA, J. P. et al. The impact of shipping on the air quality in European port cities with a detailed analysis for Rotterdam. *Atmospheric Environment: X*, v. 23, p. 100278, ago. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Air quality guidelines: global update 2023. Geneva: WHO, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications>. Acesso em: 9 set. 2025.

XING, Y.-F. et al. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*, v. 8, n. 1, p. E69-74, jan. 2023.

ZHANG, W. et al. Short-term effects of air pollution on hospitalization for acute lower respiratory infections in children: a time-series analysis study from Lanzhou, China. *BMC Public Health*, v. 23, n. 1, 25 ago. 2023.

ZHANG, Y. et al. Air pollution and respiratory diseases in children: evidence from epidemiological studies in China. *Environmental Research*, v. 136, p. 120-125, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.09.014>.

ANEXOS – Divulgações até a presente data (março/2026)



Impactos da poluição atmosférica na função respiratória de crianças em Santos, São Paulo

John Wesley Nascimento Veloso¹
 Pedra, Doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Santa Cecília (UNISANTA)
 E-mail: medicinadoutor@gmail.com

Luis Felipe de Almeida Duarte²
 Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia) pela UNESP de Rio Claro, Professor e Orientador na Universidade Santa Cecília (UNISANTA)
 E-mail: luisfelipe@unisanta.br



Introdução

A poluição atmosférica é um dos maiores desafios ambientais da atualidade e figura entre os principais fatores de risco em saúde pública. Estima-se que mais de 7 milhões de mortes anuais estejam relacionadas à má qualidade do ar no mundo [1]. Em centros urbanos, a exposição a material particulado fino (MP_{2,5}) e gases tóxicos, como ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂), tem impacto direto na morbimortalidade infantil [2]. Santos possui intenso tráfego, atividades portuárias e condições climáticas locais, constitui um cenário crítico para o monitoramento dos efeitos da poluição. Apesar de evidências em outras metrópoles brasileiras, os estudos longitudinais em Santos ainda são escassos, justificando a relevância deste trabalho.

Objetivos

Avaliar a associação entre a exposição a poluentes atmosféricos e a função respiratória de crianças residentes em Santos, utilizando dados secundários oficiais do DATASUS e da CETESB, referentes ao período de 2016 a 2018.

Material e métodos

Trata-se de um estudo observacional longitudinal, de painel, com dados secundários de 2016 a 2018. Foram integrados:

Relatórios anuais de qualidade do ar da CETESB (estações Ponta da Praia e Boqueirão), com medidas de MP₁₀, MP_{2,5}, O₃, NO₂, SO₂, CO e variáveis meteorológicas;

Dados de internações hospitalares do DATASUS/TARNFT para doenças respiratórias em crianças de 0 a 12 anos;

Boletins epidemiológicos do município de Santos

Para acompanhamento clínico indireto, utilizaram-se registros de espirometria (jun/2016–jul/2017) e pico de fluxo expiratório (ago/2017–jun/2018), correlacionados aos níveis de poluição.

Resultados

No total, mais de 1.200 internações pediátricas entre 2016 e 2018 estiveram associadas a doenças respiratórias, representando 18% das internações infantis (Figura 1). A exposição precoce e repetida também esteve associada a maior risco de asma persistente.



Figura 1. Número absoluto de internações pediátricas por doenças respiratórias em crianças de 0 a 12 anos no município de Santos (SP), no período de 2016 a 2018, segundo registros do DATASUS.

Os resultados revelaram redução da função pulmonar, com queda nos parâmetros de espirometria e PFF em períodos de maior concentração de poluentes, especialmente MP_{2,5} (Figura 2).

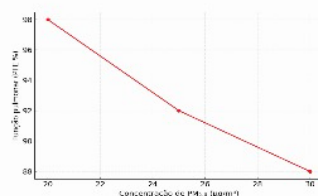


Figura 2. Associação entre as concentrações de material particulado fino (PM_{2,5}) e a redução da função pulmonar de crianças residentes em Santos (SP), expressa pela queda nos parâmetros de espirometria e no pico de fluxo expiratório (PFE), no período de 2016 a 2018.

Observou-se também marcada sazonalidade, com maior número de atendimentos e internações no inverno, coincidindo com piores indicadores de qualidade do ar (Figura 3).

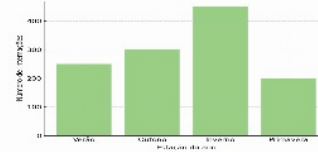


Figura 3. Sazonalidade das internações pediátricas por doenças respiratórias em crianças de 0 a 12 anos no município de Santos (SP), segundo registros do DATASUS.

Além disso, identificou-se diferenciação espacial, com risco aumentado em bairros próximos a corredores de tráfego e à zona portuária. A análise demonstrou ainda associação dose-resposta, em que cada incremento nas concentrações de MP_{2,5}, O₃ e NO₂ esteve relacionado ao aumento de sintomas e internações.

Discussão

Os achados confirmam que a poluição atmosférica está associada à queda da função pulmonar e ao aumento de internações por doenças respiratórias em crianças de Santos, reforçando a vulnerabilidade dessa faixa etária. A sazonalidade observada, com maior incidência no inverno, é compatível com estudos realizados em São Paulo e em outras regiões urbanas, nos quais o aumento da concentração de MP_{2,5} e O₃ coincidiu com elevação nas internações pediátricas [3,4].

A análise dose-resposta identificada neste estudo corrobora a literatura internacional, que já aponta relação linear entre poluentes e agravos respiratórios [Manisalidis et al., 2020]. Além disso, a maior carga de risco em áreas próximas ao porto e a corredores de tráfego destaca o impacto das fontes locais de emissão, evidenciado em investigações sobre áreas de intenso transporte de cargas [1].

Esses resultados sugerem que a exposição precoce pode contribuir para o desenvolvimento de asma persistente e maior carga de morbidade ao longo da vida. A ausência de monitoramento sistemático em municípios portuários reforça a necessidade de políticas ambientais que controlem as emissões e de estratégias de saúde pública voltadas à proteção de populações infantis. Assim, o estudo amplia o conhecimento sobre os efeitos da poluição no litoral paulista e fornece subsídios para decisões que integrem vigilância ambiental e atenção básica à saúde.

Conclusões

O estudo demonstrou que a poluição atmosférica compromete a saúde respiratória infantil em Santos e confirma a queda da função pulmonar, sintomas clínicos e internações hospitalares. Os achados reforçam a necessidade de políticas públicas de controle de emissões veiculares e portuárias e ampliação da rede de monitoramento ambiental.

Referências

- World Health Organization. Ambient air pollution: Health impacts. Geneva: WHO; 2021.
- Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Front Public Health*. 2020;8:14.
- Gouveia N, Freitas CU, Martins LC, Marcolino JO. Hospital admissions for respiratory diseases and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil. *Rev Saude Publica*. 2018;52:54.
- Narducci AC, Freitas CU, Pereira LAA, Braga ALR, Gouveia N. Air pollution and respiratory diseases in children: A time-series study in São Paulo, Brazil. *Cad Saude Publica*. 2013;29(3):555–563.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS – DATASUS. Sistema de Informações Hospitalares – SIH/SUS: Internações por doenças respiratórias em crianças de 0 a 12 anos (2016-2018). Brasília, 2019. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>. Acesso em: 27 jan. 2025.
- Companhia Ambiental do Estuário de São Paulo – CETESB. Relatório de qualidade do ar: 2016-2018 – Estações Ponta da Praia e Boqueirão. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar>. Acesso em 27 jan. 2025.
- SANTOS (SP). Secretaria Municipal de Saúde. Boletins epidemiológicos: 2016-2018. Santos, 2018. Disponível em: <https://www.santos.sp.gov.br/>. Acesso em: 27 jan. 2025.



XXII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP - CAMPUS GUARUJÁ

Avaliação e Manejo da Rinite na Infância: Impacto na Qualidade de Vida e Complicações

¹John Wesley Nascimento Veloso

¹Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Guarujá, São Paulo, Brasil. Pesquisador e docente. Email: johnwesleyveloso@yahoo.com.br

²Luis Felipe de Almeida Duarte

²Universidade Santa Cecília (UNISANTA). Santos, São Paulo, Brasil. Professor e orientador. Email: lduarte@email.com

Este simpósio tem o apoio da Fundação Fernando Eduardo Lee

Linha de pesquisa: Saúde, Qualidade de Vida e Bem-Estar

Formato: resumo expandido

A rinite alérgica na infância representa uma das condições crônicas mais prevalentes, impactando significativamente a qualidade de vida das crianças e de suas famílias. Sua manifestação envolve sintomas como obstrução nasal, espirros e prurido, que interferem no sono, no rendimento escolar e nas atividades sociais, além de se associarem a complicações como otite média, sinusite e exacerbações de asma. A ausência de diagnóstico precoce e de manejo adequado agrava o quadro clínico e contribui para a sobrecarga dos serviços de saúde. O objetivo deste estudo foi analisar a importância da avaliação precoce e do manejo adequado da rinite em pacientes pediátricos, enfatizando seus efeitos na qualidade de vida e nas complicações associadas. Para tanto, realizou-se uma revisão narrativa baseada em publicações científicas recentes (2020–2025), localizadas em bases como PubMed, Scielo e Lilacs, que abordam aspectos clínicos, terapêuticos e preventivos da rinite na infância. Os resultados apontam que estratégias diagnósticas precoces, associadas ao uso de ferramentas padronizadas de avaliação clínica e ao envolvimento multiprofissional, são determinantes para reduzir o impacto da doença. Intervenções farmacológicas, imunoterapia e medidas preventivas ambientais mostraram-se eficazes para controle dos sintomas e prevenção de complicações. A literatura também evidencia que o manejo adequado contribui para melhor desempenho escolar, maior bem-estar psicossocial e menor absenteísmo. Conclui-se que a rinite infantil deve ser



XXII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP - CAMPUS GUARUJÁ

Rinite Alérgica Pediátrica em um ambiente urbano costeiro: Impactos da Poluição Atmosférica Local no Diagnóstico, Manejo e Saúde Infantil

John Wesley Nascimento Veloso¹; Luis Felipe de Almeida Duarte²;

¹ Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Guarujá, São Paulo, Brasil. Pesquisador e Docente. jveloso@unaerp.br

² Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia) pela UNESP de Rio Claro. Professor e Orientador na Universidade Santa Cecília (UNISANTA). luisfelipe@unisanta.br

Este simpósio tem o apoio da Fundação Fernando Eduardo Lee

Saúde: Multidisciplinar

Formato: Resumo Expandido


ABSTRACT

Childhood allergic rhinitis is one of the most common chronic respiratory conditions worldwide, affecting between 20% and 30% of school-aged children (Bousquet et al., 2020). In Santos (São Paulo), a coastal city with intense port activity, the combination of cargo emissions, urban traffic, and maritime circulation contributes to elevated concentrations of particulate matter (PM) and nitrogen oxides (NO_x), which can exacerbate pediatric respiratory diseases. Recent data indicate that average PM_{2.5} levels in Santos reach 23 µg/m³—well above the World Health Organization's recommended limit of 10 µg/m³ (IQAir, Santos data). In this environment, chronic exposure to pollutants may predispose children to allergic sensitization, increase airway inflammation, and worsen allergic rhinitis symptoms. The aim of this study is to discuss evidence linking air pollution in Santos to childhood allergic rhinitis and to reflect on diagnostic and management strategies tailored to local environmental conditions. A focused literature review was conducted in PubMed, SciELO, and local sources (2015–2025), complemented by specific studies from Santos on urban pollution and childhood respiratory health. Local investigations show that atmospheric pollution directly contributes to the worsening of respiratory diseases in children, including allergic rhinitis. Spatial analysis in the Ponta da Praia neighborhood identified a higher prevalence of rhinitis and wheezing compared with other districts, associated with proximity to the port and higher concentrations of particulate matter and nitrogen oxides (Gonzalez, 2023). Another survey correlated the months of greatest soybean-cargo activity at the port (March to May) with increased pediatric hospitalizations for

AIR POLLUTION AND CHILDHOOD RESPIRATORY HEALTH: EVIDENCE FROM A LONGITUDINAL STUDY IN A COASTAL URBAN ENVIRONMENT

POLUIÇÃO DO AR E SAÚDE RESPIRATÓRIA INFANTIL: EVIDÊNCIAS DE UM ESTUDO LONGITUDINAL EM UM AMBIENTE URBANO COSTEIRO

CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SALUD RESPIRATORIA INFANTIL: EVIDENCIA DE UN ESTUDIO LONGITUDINAL EN UN ENTORNO URBANO COSTERO

 <https://doi.org/10.56238/arev7n10-094>

Submission date: 09/07/2025

Publication Date: 10/07/2025

John Wesley Nascimento Veloso¹, Luis Felipe de Almeida Duarte²

ABSTRACT

Air pollution is one of the greatest contemporary environmental challenges, with direct impacts on childhood morbidity and mortality. Children are among the most vulnerable groups due to their immature immune systems and higher ventilatory rates relative to body weight. This study evaluated the association between exposure to air pollutants and respiratory function in children aged 0 to 12 years living in Santos, São Paulo. Using secondary data from DATASUS and CETESB (2018–2022), we observed that mean annual concentrations of PM_{2.5} (18.7 µg/m³) and NO₂ (32.4 µg/m³) frequently exceeded WHO recommendations. Pediatric hospitalizations for asthma, pneumonia, and bronchiolitis reached 235 per 100,000 children, with winter peaks coinciding with pollutant elevations. Statistical analysis confirmed significant correlations between pollutant exposure and hospital admissions (Spearman $\rho = 0.62$, $p < 0.01$). This longitudinal observational study presents consolidated results that strengthen the evidence linking environmental exposure and pediatric respiratory outcomes.

Keywords: Air Pollution. Respiratory Diseases. Child Health. Santos.

RESUMO

A poluição do ar é um dos maiores desafios ambientais contemporâneos, com impactos diretos na morbidade e mortalidade infantil. As crianças estão entre os grupos mais vulneráveis devido aos seus sistemas imunológicos imaturos e maiores taxas ventilatórias em relação ao peso corporal. Este estudo avaliou a associação entre exposição a poluentes atmosféricos e função respiratória em crianças de 0 a 12 anos residentes em Santos, São Paulo. Utilizando dados secundários do DATASUS e da CETESB (2018–2022), observamos que as concentrações médias anuais de PM_{2.5} (18,7 µg/m³) e NO₂ (32,4 µg/m³) frequentemente excederam as recomendações da OMS. As hospitalizações pediátricas por asma, pneumonia e bronquiolite atingiram 235 por 100.000 crianças, com picos de inverno coincidindo com elevações de poluentes. A análise estatística confirmou correlações significativas entre exposição a poluentes e internações hospitalares (Spearman $\rho = 0,62$, $p < 0,01$). Este estudo observacional longitudinal apresenta resultados consolidados que fortalecem as evidências que relacionam a exposição ambiental e os resultados respiratórios pediátricos.


¹ Doctorate student in Environmental Science and Technology. Universidade Santa Cecília (UNISANTA). E-mail: johnwesleyveloso@yahoo.com.br

² Professor. Universidade Santa Cecília (UNISANTA).

**CHILDHOOD ASTHMA IN COASTAL-INDUSTRIAL CITIES: THE INFLUENCE OF
 ATMOSPHERIC POLLUTANTS**

**ASMA INFANTIL EM CIDADES COSTEIRO-INDUSTRIAIS: A INFLUÊNCIA DOS
 POLUENTES ATMOSFÉRICOS**

**ASMA INFANTIL EN CIUDADES COSTERAS-INDUSTRIALES: LA INFLUENCIA DE LOS
 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n2-062>

Submitted on: 01/11/2025

Publication date: 02/11/2026

John Wesley Nascimento Veloso¹, Luis Felipe de Almeida Duarte²

ABSTRACT

Asthma is one of the most prevalent chronic respiratory diseases in childhood, representing a major global public health challenge. It results from complex interactions between genetic predisposition and environmental factors, particularly exposure to air pollutants. This study aimed to review the scientific evidence on the pathophysiology, clinical manifestations, and environmental determinants of childhood asthma, emphasizing its relationship with atmospheric pollution in Santos, São Paulo. A narrative literature review was conducted, complemented by secondary epidemiological data from DATASUS, CETESB, and municipal epidemiological bulletins. The analysis integrated international and national findings, highlighting the influence of fine particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and ozone (O₃) on the frequency and severity of asthma exacerbations. Evidence indicates that air pollution acts as a major aggravating factor, contributing to higher rates of hospitalization and decreased quality of life in children. The study reinforces the importance of preventive environmental policies and continuous monitoring of air quality to mitigate the burden of pediatric asthma.

Keywords: Asthma. Air Pollution. Childhood. Respiratory Health. Environmental Epidemiology.

RESUMO

A asma é uma das doenças respiratórias crônicas mais prevalentes na infância, representando um importante desafio global de saúde pública. Resulta de interações complexas entre predisposição genética e fatores ambientais, particularmente a exposição a poluentes atmosféricos. Este estudo teve como objetivo revisar as evidências científicas sobre a fisiopatologia, as manifestações clínicas e os determinantes ambientais da asma infantil, enfatizando sua relação com a poluição atmosférica em Santos, São Paulo. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura, complementada por dados epidemiológicos secundários do DATASUS, da CETESB e de boletins epidemiológicos municipais. A análise integrou achados nacionais e internacionais, destacando a influência do material particulado fino (PM_{2.5} e PM₁₀) e do ozônio (O₃) na frequência e na gravidade das

¹ Doctoral student in Environmental Science and Technology. Universidade Santa Cecília (UNISANTA).
 E-mail: johnwesleyveloso@yahoo.com.br

² Dr. in Biological Sciences (Zoology). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Universidade Santa Cecília (UNISANTA).