



PÉRSIO PAIVA DE TORRE

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POLUIÇÃO
ATMOSFÉRICA PELOS MORADORES DA CIDADE DE
SANTOS/SP**

SANTOS

2024

PÉRSIO PAIVA DE TORRE

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POLUIÇÃO
ATMOSFÉRICA PELOS MORADORES DA CIDADE DE
SANTOS/SP**

Dissertação de Mestrado Profissional
apresentada ao Programa de Stricto
Sensu de Saúde e Meio Ambiente da
Universidade Metropolitana de Santos,
para obtenção de título de Mestre.

ORIENTADOR: PROF. DR. EDGAR MAQUIGUSSA

SANTOS

2024

FICHA CATALOGRÁFICA - BIBLIOTECA DA UNIMES

T693a TORRE, PÉRSIO PAIVA DE

Avaliação da percepção da poluição atmosférica pelos moradores da cidade de Santos/SP

Santos/SP / PÉRSIO PAIVA DE TORRE. Santos, SP: [s.n.], 2024.

Orientador : Prof. Dr. Edgar Maquigussa

Dissertação (Mestrado Profissional) Universidade Metropolitana de Santos.

1. Poluição atmosférica. 2. Material particulado 3. Doenças respiratórias
4. Monitoramento ambiental

- I. Maquigussa, Edgar.
- II. Universidade Metropolitana de Santos.
- III. Avaliação da percepção da poluição atmosférica pelos moradores da cidade de Santos/SP.

CDD: 616.2

Vanessa Laurentina Maia

CRB8_71/97

Bibliotecária _ Unimes

Evaluation of the Perception of Atmospheric Pollution by Residents of the City of Santos/SP

Keywords:

- Atmospheric pollution
- Particulate matter
- Respiratory disease
- Environmental monitoring.

Titulação: Mestrado Profissional em Saúde e Meio Ambiente

Banca examinadora: Prof Dr Tales Lyra de Oliveira

Prof Dr Mirian Aparecida Boim

Prof Dr Edgar Maquigussa



Universidade Metropolitana de Santos
Mantida pelo Centro de Estudos Unificados Bandeirante

FUNDADORA

Prof^ª. Rosinha Garcia de Siqueira Viegas

MANTENEDOR

Prof. Rubens Flávio de Siqueira Viegas

REITORIA

Prof^ª. Renata Garcia de Siqueira Viegas

Reitora

Prof^ª. Elaine Marcílio Santos

Pró-Reitora Acadêmica

Prof. Rubens Flávio de Siqueira Viegas Júnior

Pró-Reitor Administrativo

Prof. Gustavo Duarte Mendes

Direção Acadêmica

Coordenador do Programa de Mestrado de Saúde e Meio Ambiente

**PROGRAMA DE STRICTO SENSU EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE DA
UNIVERSIDADE METROPOLITANA DE SANTOS**

**BANCA EXAMINADORA E ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROFISSIONAL**

A sessão pública de defesa da dissertação de mestrado profissional intitulada de “**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA PELOS MORADORES DA CIDADE DE SANTOS/SP**”, do discente PÉRSIO PAIVA DE TORRE, orientado pelo Prof. Dr. EDGAR MAQUIGUSSA, foi realizada na data abaixo informada no anfiteatro do Programas de Stricto Sensu da Universidade Metropolitana de Santos, tendo o candidato cumprido, previamente, todas as exigências regimentais do Programa de Stricto Sensu de Saúde e Meio Ambiente, de acordo com a secretaria de pós-graduação da instituição. Realizada a apresentação da dissertação e arguição do pública do candidato, os membros da banca em reunião fechada deliberam e emitiram parecer abaixo.

Banca examinadora:	Resultado:	Assinatura
Prof. Dr. Tales Lyra de Oliveira	(X) Aprovado () Reprovado	
Profa. Dra. Mirian Aparecida Boim	(X) Aprovado () Reprovado	
Prof. Dr. Edgar Maquigussa	(X) Aprovado () Reprovado	

Homologação do resultado pelo presidente da banca examinadora:

(X) Aprovado () Reprovado

Prof. Dr. EDGAR MAQUIGUSSA
Presidente da banca examinadora

Data da defesa: 01 de outubro de 2024

PROGRAMA DE STRICTO SENSU EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE DA UNIVERSIDADE METROPOLITANA DE SANTOS

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA DISSERTAÇÃO E DO PRODUTO

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA PELOS MORADORES DA CIDADE DE SANTOS/SP

Linha de Pesquisa: Fatores de Risco à Saúde na Indústria da Cadeia de Petróleo

Projeto de Pesquisa do Orientador: Estudo das Doenças Respiratórias Associadas com a Poluição do Ar, nas Cidades com Atividade Petroquímica

Produto(s) gerado(s): **Estratégias Científicas para a Educação Ambiental no Ensino Fundamental: um Manual Prático**

Classificação da Produto

Critério	Justificar
Inserção social e econômico:	O manual tem o objetivo de qualificar/atualizar os professores do ensino fundamental para a inserção dos estudantes na área da pesquisa científica, através da realização de experimentos que envolvam o estudo da poluição atmosférica.
Impacto – realizado:	
Impacto – potencial:	Alto
Aplicabilidade - Abrangência realizada :	Abrangência regional
Aplicabilidade - Abrangência potencial:	Abrangência nacional
Aplicabilidade – Replicabilidade:	Alta aplicabilidade e replicabilidade, os experimentos podem ser realizados mesmo a escola não possuir equipamentos e infraestrutura
Inovação:	Apesar de experimentos simples, o objetivo maior do manual é inserir a metodologia científica em alunos do ensino básico/fundamental.
Complexidade:	

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA PELOS MORADORES DA CIDADE DE SANTOS/SP

Linha de Pesquisa: Fatores de Risco à Saúde na Indústria da Cadeia de Petróleo

Projeto de Pesquisa do Orientador: Estudo das Doenças Respiratórias Associadas com a Poluição do Ar, nas Cidades com Atividade Petroquímica

Produto(s) gerado(s): Capítulo Ebook 2022: **Efeito da Poluição atmosférica sobre as doenças respiratórias**

Classificação da Produto

Critério	Justificar
Inserção social e econômico:	Capítulo do ebook sobre os efeitos da poluição atmosférica sobre as doenças respiratórias
Impacto – realizado:	Atualização do conhecimento sobre a poluição atmosférica e os efeitos nocivos sobre a saúde humana
Impacto – potencial:	Alto
Aplicabilidade - Abrangência realizada:	Abrangência nacional – Disponibilidade do ebook no site do programa de pós-graduação em saúde e meio ambiente da UNIMES
Aplicabilidade - Abrangência potencial:	Abrangência nacional
Aplicabilidade – Replicabilidade:	Alta aplicabilidade e replicabilidade
Inovação:	Média inovação
Complexidade:	Média complexidade

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA PELOS MORADORES DA CIDADE DE SANTOS/SP

Linha de Pesquisa: Fatores de Risco à Saúde na Indústria da Cadeia de Petróleo

Projeto de Pesquisa do Orientador: Estudo das Doenças Respiratórias Associadas com a Poluição do Ar, nas Cidades com Atividade Petroquímica

Produto(s) gerado(s): Capítulo Ebook 2023: **Papel do material particulado sobre os processos inflamatórios e oxidativos em células pulmonares**

Classificação da Produto

Critério	Justificar
Inserção social e econômico:	Capítulo do ebook sobre os efeitos do material particulado sobre os processos inflamatórios e oxidativos em células pulmonares
Impacto – realizado:	Atualização do conhecimento os efeitos tóxicos do material particulado em células pulmonares
Impacto – potencial:	Alto
Aplicabilidade - Abrangência realizada:	Abrangência nacional – Disponibilidade do ebook no site do programa de pós-graduação em saúde e meio ambiente da UNIMES
Aplicabilidade - Abrangência potencial:	Abrangência nacional
Aplicabilidade – Replicabilidade:	Alta aplicabilidade e replicabilidade
Inovação:	Média inovação
Complexidade:	Média complexidade

**PROGRAMA DE STRICTO SENSU EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE DA
UNIVERSIDADE METROPOLITANA DE SANTOS**

TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

DEDICATÓRIA

Aos meus irmãos, ELIANE PAIVA DE TORRE E NILTON PAIVA DE TORRE

Aos meus pais, NILTON DE TORRE E MARIA DE LOURDES PAIVA DE TORRE

Aos meus filhos, BRUNO ARGENTO DE TORRE E LETÍCIA ARGENTO DE TORRE

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, inicialmente à Prof^ª. Magda Cadinelli, que foi meu principal impulso para me inscrever no Processo Seletivo de Bolsas no Programa de Mestrado Profissional em Saúde e Meio Ambiente. Serei eternamente grato à sua dedicação e esforço.

À Unimes - Universidade Metropolitana de Santos - por me conceder a bolsa de estudos no Programa de Mestrado Profissional em Saúde em Meio Ambiente.

À Reitora Acadêmica – Profa. Dra. Renata Garcia de Siqueira Viegas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edgar Maquigussa, pelo acolhimento assertivo, que teve toda a paciência do mundo, com sua generosidade e sapiência, me conduziu de forma ímpar, com orientações muito pertinentes e bem repassadas. Serei mais do que grato, aprendi o que é um mestrado, como ninguém jamais poderia me ensinar. Desejo muito que ele possa se orgulhar de mim, através de meus projetos, trabalhos e artigos futuros. Obrigado Mestre, foi uma honra conhecê-lo.

Às avaliadoras do Programa de bolsa de estudo: Prof^{as}. Dras: Ana Paula Taboada Sobral; Paula Andréa de Santis Bastos e, principalmente à Prof^ª. Dra. Yara Dadalti Fragogo (*in memoriam*), no qual eu desejo homenageá-la, pois infelizmente nos deixou, no meio do curso, nos emocionando com as lembranças de suas aulas impecáveis.

Ao Coordenador do Programa de Mestrado, Prof. Dr. Gustavo Duarte Mendes. E agradeço a todos os professores do programa: Profs. Drs: Elaine Marcílio; Marcela L. Leal Gonçalves; Mileny Esbravatti S. Colovat; Ana Luiza Cabrera; Elizabeth Barbosa de O. Sales; Mirian Aparecida Boim; Roberto Focaccia; Gabriela Magalhães e Gilberto de Nucci.

Aos membros da banca de minha de qualificação, Profs. Drs: Thales Lyra de Oliveira e Mirian Aparecida Boim.

Aos amigos, tanto àqueles que me encorajaram, quanto aos que não, pois a coragem deve partir de nós mesmos. Mas agradeço a todos, que contribuíram para aumentar o desafio.

Aos participantes da Pesquisa de meu projeto, que foram muito importantes.

Ao meus pais (*in memoriam*) e aos meus dois irmãos, pelo amor, carinho e atenção que sempre me deram.

Por fim, agradeço também aos meus filhos e à minha linda neta Maya.

Esse título é um sonho realizado, no qual contemplarei pelo resto de minha vida.

FICHA CATALOGRÁFICA - BIBLIOTECA DA UNIMES.....	3
BANCA EXAMINADORA E ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado Profissional.....	5
FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA DISSERTAÇÃO E DO PRODUTO	6
TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO	9
DEDICATÓRIA.....	10
AGRADECIMENTOS	11
SUMÁRIO	12
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	13
LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE TABELAS.....	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
3. OBJETIVOS.....	25
4. HIPÓTESE.....	25
5. METODOLOGIA	26
5.1. DESCRIÇÃO DO(S) PRODUTO(S) FINAL(AIS) A SER(EM) DESENVOLVIDO(S).....	30
6. RESULTADOS	32
7. DISCUSSÃO.....	43
8. CONCLUSÕES	47
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
10. ANEXOS.....	52
10.2 ANEXO II - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	54
10.3 ANEXO III - APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

CEP – UNIMES: Comitê de Ética da Universidade Metropolitana de Santos

CEP: Código de Endereçamento Postal

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

DPOC: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

MP : Material particulado

MP₁₀: Material particulado inalável de diâmetro aerodinâmico < 10 micrômetros

MP_{2,5}: Material particulado fino de diâmetro aerodinâmico < 2,5 micrômetros

NO₂: Dióxido de nitrogênio

NO_x: Óxidos de nitrogênio

O₃: Ozônio

OMS: Organização Mundial da Saúde

Pb: Chumbo

QUALAR: Sistema de informações da Qualidade do Ar

SO₂: Dióxido de enxofre

SO₃: Trióxido de enxofre

SO_x: Óxidos de enxofre

TCLE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

UNIMES: Universidade Metropolitana de Santos

WHOAGG: World Health Organization Air Quality Guidelines

µm: micrômetro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das estações em relação à área urbana de Santos. Fonte: CETESB.....	27
Figura 2: Localização da estação Boqueirão-Santos. Fonte: CETESB	28
Figura 3: Localização da estação Santos-Ponta da Praia em relação ao Porto de Santos. Fonte: CETESB.....	28
Figura 4: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.....	34
Figura 5: (A) Gráfico do índice de qualidade do ar nas diferentes estações. (B) Gráfico do índice de qualidade do ar nas diferentes estações e separados entre sexo. (C) Gráfico do índice de qualidade do ar nas diferentes estações e subdividos em faixas etárias.....	35
Figura 6: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.....	36
Figura 7: (A) Gráfico do índice do grau de incômodo da poluição nas diferentes estações. (B) Gráfico do índice do grau de incômodo da poluição nas diferentes estações e separados entre sexo. (C) Gráfico do índice do grau de incômodo da poluição nas diferentes estações e subdividos em faixas etárias.....	37
Figura 8: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.....	38
Figura 9: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.....	39
Figura 10: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.....	40
Figura 11: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.....	41
Figura 12: (A) Tabela com a frequência de problemas de saúde nas diferentes estações. (B) Diagrama representativo das respostas.....	42
Figura 13: (A) Média mensal da concentração de MP _{2,5} na estação Ponta da Praia. (B) Média mensal da concentração de MP ₁₀ nas estações Ponta da Praia e Santos.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados socioeconômicos e sobre tabagismo, divididos em dois subgrupos (masculino e feminino).....	33
Tabela 2: Média de idade entre os participantes, e a quantidade diária que permanece na residência, divididos em 2 subgrupos (masculino e feminino).....	34

Introdução: A poluição atmosférica está relacionada com diversas doenças respiratórias e estima-se que 91% da população mundial vive em regiões com ar poluído. Os principais poluentes atmosféricos são NO₂, SO₂, SO₃, CO, CO₂ e o material particulado (MP). O MP é classificado de acordo com seu tamanho, e pode interagir diretamente com o organismo. O maior porto da América Latina, localizado na cidade de Santos, tem elevado tráfego de navios o que contribui para a geração de poluentes atmosféricos, além disso, a presença de algumas atividades de armazenamento, principalmente com relação aos granéis sólidos geram emissão de grandes quantidades de MP. Este projeto tem como objetivo: avaliar a percepção da poluição atmosférica em relação a sazonalidade (inverno e verão) pelos moradores da cidade de Santos.

Metodologia: Pesquisa empírica, de natureza descritiva e analítica, do tipo transversal, com abordagem quantitativa e qualitativa, por meio de um formulário de entrevista contendo dados socioeconômicos, percepção da qualidade do ar, assim como sobre as queixas de saúde relacionadas com a poluição atmosférica. Foram levantados os dados em dois períodos, no inverno e no verão. Também foram levantados os dados das duas estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, nos mesmos períodos da pesquisa. **Resultados:** O formulário foi respondido por 45 moradores. A percepção da qualidade do ar foi geralmente considerada como regular ou boa, sem diferença significativa entre as estações do ano, entre os sexos e os subgrupos de idade. No entanto, a maioria dos entrevistados percebeu depósitos de pó e partículas em suas residências e relataram problemas de saúde, como rinite, irritação no nariz e garganta, sinusite e tosse seca. A análise quantitativa dos dados de poluição atmosférica, revelou que a concentração de material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) manteve-se constante ao longo do período estudado, entretanto, houve maior concentração de MP₁₀ na estação Ponta da Praia. Embora os níveis de poluição estivessem dentro dos limites considerados normais pela CETESB, eles excederam as recomendações da OMS, destacando a necessidade de medidas mais rigorosas para melhorar a qualidade do ar e reduzir os impactos na saúde pública.

Palavras-chave: poluição atmosférica, material particulado, doenças respiratórias e monitoramento ambiental.

Introduction: Air pollution is associated with various respiratory diseases, and it is estimated that 91% of the global population lives in regions with polluted air. The major air pollutants are NO₂, SO₂, SO₃, CO, CO₂, and particulate matter (PM). PM is classified according to its size and can directly interact with the organism. The largest port in Latin America, located in the city of Santos, experiences high ship traffic, contributing to generating atmospheric pollutants. Additionally, certain storage activities, especially those related to solid bulk, generate large amounts of PM emissions. This project aims to evaluate the perception of atmospheric pollution in relation to seasonality (winter and summer) by residents of the Santos city. **Methodology:** This study is an empirical, descriptive, and analytical cross-sectional research with quantitative and qualitative approaches. Data were collected through an interview form containing socioeconomic information, perceptions of air quality, and health complaints about air pollution. Data were collected in two periods, winter and summer. Additionally, data from the two air quality monitoring stations of CETESB were collected for the same periods. **Results:** The interview form was completed by 45 residents. The perception of air quality was generally considered fair or good, with no significant differences between seasons, genders, or age subgroups. However, most respondents noticed dust and particle deposits in their homes and reported health issues such as rhinitis, nose and throat irritation, sinusitis, and dry cough. Quantitative analysis of air pollution data revealed that the concentration of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) remained constant throughout the study period. However, higher concentrations of PM₁₀ were observed at the Ponta da Praia station. Although pollution levels were within the limits considered normal by CETESB, they exceeded the recommendations of the WHO, highlighting the need for stricter measures to improve air quality and reduce public health impacts.

Key words: atmospheric pollution, particulate matter, respiratory diseases and environmental monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A poluição é a introdução de substâncias nocivas no meio ambiente, prejudicando seres humanos e outros organismos vivos. Estes poluentes, que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, são emitidos em altas concentrações, comprometendo a qualidade ambiental e, conseqüentemente, a qualidade de vida. A poluição do ar, em particular, está associada a diversas doenças e aumento da mortalidade, sendo um problema crítico de saúde pública. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), 4,2 milhões de mortes anuais são atribuídas à poluição do ar, com 91% da população global vivendo em áreas onde a qualidade do ar excede os limites recomendados.

As atividades humanas, especialmente em áreas urbanas e industriais, são as principais fontes de poluição do ar, com emissões significativas de veículos e indústrias. A Revolução Industrial intensificou este problema, gerando grandes quantidades de poluentes que afetam negativamente a saúde pública, a economia e o meio ambiente. Entre os poluentes mais preocupantes estão o material particulado (MP), ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x) e nitrogênio (NO_x), e chumbo (Pb), todos com efeitos devastadores na saúde humana e no ecossistema.

Os impactos da poluição do ar são especialmente severos para crianças, idosos e pessoas com condições de saúde preexistentes. Estima-se que, no Brasil, a poluição atmosférica cause cerca de 22.000 mortes prematuras por ano, número que pode aumentar para 36.000 até 2040. As cidades portuárias, como Santos, enfrentam desafios adicionais devido às atividades de transporte e armazenamento de grãos, que liberam grandes quantidades de material particulado e outros poluentes. Este estudo visa comparar a qualidade do ar em duas áreas de Santos, uma impactada por atividades portuárias e outra mais afastada, para avaliar os efeitos da poluição atmosférica local.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A poluição é definida como a introdução no meio ambiente de substâncias prejudiciais aos seres humanos e outros organismos vivos. Poluentes podem ser sólidos, líquidos ou gases nocivos, produzidos em concentrações elevadas, reduzindo a qualidade do nosso meio ambiente e, portanto, a qualidade de vida. Assim, a poluição do ar pode causar ou contribuir para o aumento de diversas doenças e até mesmo da mortalidade, podendo representar um perigo potencial para a saúde humana¹.

A poluição do ar representa um problema crítico de saúde pública, pois 4,2 milhões de mortes a cada ano são atribuíveis à poluição do ar e 91% da população global vive em regiões onde a qualidade do ar excede a Diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) de acordo com o último relatório de 2018². A OMS ajustou quase todos os valores-guia de qualidade do ar para baixo, alertando que exceder os novos níveis das diretrizes de qualidade do ar traria riscos significativos para a saúde. Por outro lado, aderir a estes níveis pode salvar milhões de vidas. A cada ano, estima-se que a exposição à poluição do ar cause 7 milhões de mortes prematuras e resulte na perda de milhões de anos de vida saudáveis. Em crianças, isso pode incluir redução do crescimento e da função pulmonar, infecções respiratórias e agravamento da asma. Em adultos, a cardiopatia isquêmica e o acidente vascular cerebral são as causas mais comuns de morte prematura atribuíveis à poluição atmosférica, e também estão surgindo evidências de outros efeitos, como diabetes e doenças neurodegenerativas. Isso coloca a carga de doenças atribuíveis à poluição do ar no mesmo nível de outros grandes riscos globais à saúde, como dieta inadequada e tabagismo³. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que cerca de 384 milhões de pessoas sofrem de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e 334 milhões de asma, que é a doença mais comum entre os desfechos respiratórios. Em 2023, o Comitê Científico sobre Poluição do Ar confirmou que a poluição do ar contribui cada vez mais para a patogênese da DPOC. Estimativas recentes indicam que, a poluição do ar é responsável por 50% do risco total de desenvolver DPOC, além disso, os componentes gasosos e particulados da poluição do ar contribuem para a doença e que não há níveis mínimos ou seguros de poluição do ar ambiente⁴.

A emissão de substâncias poluentes no ar atmosférico pode ocorrer via fontes naturais como vulcões e incêndios, mas as atividades antrópicas são a principal causa da poluição do ar ambiental. Em grandes cidades, os veículos movidos a combustíveis fósseis (automóvel, ônibus, caminhão etc.) lançam na atmosfera a maior parte dos produtos químicos perigosos,

além disso, os poluentes liberados por atividades industriais contribuem de sobremaneira para a poluição ambiental e para os efeitos adversos na saúde humana⁵.

A revolução industrial foi um grande avanço em termos de tecnologia, sociedade e prestação de serviços, porém ela também foi responsável pela produção de grande quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera que são prejudiciais aos seres humanos tornando-se um problema de saúde pública mundial e com múltiplas facetas. Impactos sociais, econômicos, e a piora na qualidade de vida estão relacionados a esse grande problema. Claramente, a urbanização e a industrialização estão atingindo proporções sem precedentes em todo o mundo, constituindo um dos maiores riscos à saúde pública e responsável por cerca de 9 milhões de mortes por ano^{1,5}.

Os componentes nocivos do ar incluem uma mistura de partículas (material particulado), e gases liberados na atmosfera principalmente por indústrias, veículos motorizados e usinas térmicas, bem como na combustão de biomassa e combustíveis fósseis. Os poluentes podem ser classificados como primários ou secundários: os poluentes primários são lançados diretamente na atmosfera, enquanto os poluentes secundários resultam de reações químicas entre os poluentes primários⁶. Esses e outros fatores afetam a saúde principalmente de crianças, idosos e de pessoas que fazem parte do grupo de risco.

A OMS relata seis principais poluentes atmosféricos: material particulado (MP), ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e chumbo (Pb). A poluição do ar pode ter um efeito desastroso em todos os componentes do meio ambiente, incluindo lençóis freáticos, solo e ar. A chuva ácida, o aquecimento global, o efeito estufa e as mudanças climáticas têm um impacto ecológico importante na poluição do ar¹.

É bem descrito que todos os tipos de poluentes do ar, em alta concentração, podem afetar rapidamente as vias aéreas. No entanto, efeitos semelhantes também são observados com a exposição a longo prazo de concentrações mais baixas de poluentes. Sintomas como irritação no nariz e garganta, seguidos de broncoconstrição e dispneia, especialmente em indivíduos asmáticos, são geralmente encontrados após exposição a níveis elevados de dióxido de enxofre⁷, óxidos de nitrogênio⁸ e certos metais pesados, como arsênio, níquel ou vanádio. Além disso, as partículas que penetram no epitélio alveolar⁹ e o ozônio podem iniciar a inflamação pulmonar¹⁰. Em pacientes com lesões pulmonares ou doenças pulmonares, a inflamação iniciada por poluentes piora sua condição. Além disso, poluentes como óxidos de nitrogênio, aumentam a suscetibilidade a infecções respiratórias¹¹. A exposição crônica ao ozônio e certos metais

pesados reduz significativamente a função pulmonar^{12,13}, e são responsáveis por causar asma, enfisema e até câncer de pulmão^{14,15}. Lesões semelhantes ao enfisema pulmonar também foram observadas em camundongos expostos ao dióxido de nitrogênio¹⁶.

Dentre os principais poluentes, o material particulado (MP) é considerado uma das principais substâncias nocivas do ar atmosférico. O MP é normalmente formado na atmosfera como resultado de reações químicas entre os diferentes poluentes. A poluição por MP inclui partículas com diâmetros de 10 µm ou menores, chamadas MP₁₀, e partículas extremamente finas com diâmetros de 2,5 µm ou menores, denominadas MP_{2.5}, sendo que os efeitos patológicos do MP dependem diretamente de seu tamanho¹⁸. As partículas menores podem ter um efeito pior por terem acesso praticamente todas às regiões do pulmão, incluindo os alvéolos, resultando em severos processos inflamatórios.

Dados recentes da Lancet Commission on Planetary Health de 2019 indicam que mais de 4 milhões de mortes foram atribuídas ao PM_{2.5} e 370.000 relacionadas à exposição ambiental ao ozônio¹⁷. Em 2015, o MP foi classificado em 6º lugar na lista dos 10 poluentes mais perigosos¹⁹. Muitos estudos epidemiológicos em todo o mundo têm abordado a correlação entre as concentrações de MP com as visitas aos hospitais devido às doenças respiratórias^{20,21}. Embora MP possa ser detectado em muitos órgãos como fígado, rim, coração e cérebro, os pulmões são os principais locais de detecção²².

Devido a heterogeneidade dos constituintes químicos e das propriedades físicas, não há a determinação de uma dose tóxica padrão para o MP. De acordo com Fann et al, a exposição ao MP mesmo em concentração abaixo dos padrões normais, representa um risco significativo para a saúde²³. Apesar disso, diretrizes de qualidade do ar da organização mundial de saúde (WHO/AQG) estabeleceram o MP_{2.5} como o principal indicador de poluição do ar .

Os efeitos da poluição do ar na população exposta têm sido objeto de muitas pesquisas em todo o mundo para correlacionar os efeitos dos poluentes atmosféricos com a saúde humana, com o sistema respiratório e o agravamento de doenças alérgicas. Diversos estudos no mundo relacionaram o efeito dos poluentes atmosféricos com o aumento da incidência de doenças respiratórias, como doença pulmonar obstrutiva crônica, asma, e câncer de pulmão²⁴⁻²⁷.

A toxicidade do MP surge de dois aspectos. Primeiro, os particulados são fagocitados pelos macrófagos alveolares e podem penetrar via barreira avéolo-capilar e atingir a circulação sistêmica^{28,29}. Em segundo lugar, as partículas podem absorver muitas outras substâncias tóxicas transportadas pelo ar em sua área de superfície, como metais pesados, hidrocarbonetos

aromáticos policíclicos e íons inorgânicos. Devido seu pequeno tamanho, o MP pode chegar facilmente às regiões dos brônquios e alvéolos dos pulmões, o que pode causar a ativação de vias inflamatórias e oxidativas no sistema respiratório³⁰.

Diversos mecanismos têm sido sugeridos para explicar os efeitos adversos dos poluentes aéreos. Uma explicação é que as altas concentrações de oxidantes contidos nos poluentes ambientais em contato com o epitélio respiratório, provocam a formação de radicais livres de oxigênio e de nitrogênio que, por sua vez, induzem o estresse oxidativo nas vias aéreas. Esse processo oxidante desencadeia uma resposta inflamatória com a liberação de células e mediadores inflamatórios. O material particulado (partículas totais em suspensão, MP₁₀ e MP_{2,5}), de forma geral, reduz a atividade mucociliar e dos macrófagos, causam estresse oxidativo e, em consequência, inflamação pulmonar e sistêmica. A exposição prolongada com esses poluentes produz remodelamento brônquico DPOC, podendo chegar a ser cancerígeno¹⁰.

A exposição a poluentes atmosféricos tem efeitos adversos para a saúde, levando ao aumento dos custos dos cuidados de saúde, morbidade e mortes prematuras e constituindo um desafio econômico e social para os formuladores de políticas. Os impactos globais são significativos, sendo que a OMS estima que 9 em cada 10 da habitantes vivem em áreas que não cumprem suas diretrizes baseada em saúde para MP_{2,5} (uma média anual de 10 µg/m³)³².

De forma geral, toda a população está suscetível aos efeitos nocivos da poluição atmosférica. Entretanto, os idosos são mais suscetíveis aos efeitos adversos da exposição aos poluentes atmosféricos por apresentarem um sistema imunológico menos eficiente (imunosenescência). O segundo grupo mais suscetível, independentemente da idade, é formado pelos portadores de doenças crônicas pré-existentes que atingem, principalmente, os sistemas respiratório (asma, DPOC e fibrose pulmonar) e circulatório (arritmias, hipertensão arterial e doenças isquêmicas do coração)³³.

No Brasil, estima-se que uma média de 22.000 pessoas perdem suas vidas prematuramente a cada ano por causa da exposição a poluentes, especialmente no ambiente urbano. De acordo com OMS, esse número poderá atingir 36.000 pessoas/ano até 2040³⁴. Estudos mais recentes sobre poluição do ar e seus efeitos na saúde humana em São Paulo forneceram consideráveis evidências de uma associação entre o aumento das internações hospitalares em indivíduos expostos a poluentes atmosféricos como O₃, NO₂, SO₂, CO e MP inalável³⁵. Os veículos motorizados são os principais responsáveis pelos altos índices de poluição do ar a que a população de São Paulo está exposta. Estima-se que a poluição do ar reduza a expectativa média de vida em São Paulo em cerca de 3,5 anos³⁶.

Estudos avaliaram o impacto do setor de transportes na emissão de poluentes, comparando as emissões de CO₂ entre os anos de 2015 e 2018, dos quinze maiores emissores do mundo. O setor de transportes por si só foi o oitavo maior emissor de CO₂ do mundo^{37,38}. O transporte marítimo internacional contribuiu para aproximadamente 3% do total mundial das emissões de gases do efeito estufa de origem antropogênica em 2018, de acordo com a Organização Marítima Internacional (IMO)³⁹. As atividades agrícolas e de construções civis, assim como poeira de rua e de estradas são também fontes antropogênicas para os MP.

Apesar da urbanização e o alto tráfego de veículos automotores serem o principal fator associado a poluição ambiental nas grandes metrópoles, outras cidades menores também sofrem com o efeito da poluição atmosférica, na dependência de suas atividades econômicas, entre elas, a cidade de Santos no estado de São Paulo recebe destaque. Santos é a cidade mais populosa da Baixada Santista, e a sua principal atividade econômica está ligado ao Porto de Santos. O complexo portuário de Santos foi inaugurado em 1892 e possui limite natural entre os municípios de Santos, Guarujá e Cubatão, constituindo o maior porto da América Latina.

O Complexo Portuário de Santos é composto por terminais voltados à armazenagem e movimentação de cargas e passageiros. Os bairros Ponta da Praia, Estuário e Macuco, que ficam na margem santista do Porto de Santos, estão localizados próximos aos terminais destinados ao transporte de grãos sólidos de origem vegetal, como soja, trigo, milho e alguns tipos de farelos. Esses materiais são movimentados de forma solta, sem um acondicionamento específico, podendo gerar grandes quantidades de poluentes atmosféricos, incluindo os MP, principalmente do tipo MP₁₀⁴⁰. Além disso, a poluição atmosférica também é decorrente da queima de combustíveis fósseis pelo elevadíssimo tráfego de caminhões que acessam o Porto de Santos e pelo próprio movimento de navios na região. Estima-se que aproximadamente 10 mil caminhões transitem diariamente pelo complexo portuário. Portanto, tanto os trabalhadores portuários quanto os moradores da região portuária são expostos a uma concentração maior de poluentes do que em regiões mais afastadas do Porto de Santos.

Os estudos sobre a saúde de moradores de áreas portuárias ainda são escassos no Brasil e no mundo. Um estudo avaliou a prevalência dos sintomas de asma e rinite, nos moradores adultos e idosos, de diferentes áreas de Santos/SP. As regiões estudadas foram nos bairros Boqueirão e Ponta da Praia. As prevalências de asma (16,4%) e rinite (30,0%) foram maiores nos moradores da Ponta da Praia. As prevalências de asma (22,2%) e rinite (18,5%) foram maiores nos moradores idosos do Boqueirão. Nesse estudo, conclui-se que morar na área portuária, durante a idade adulta, aumenta as chances de aparecimento de sintomas de asma⁴¹.

Além disso, outro estudo comparou a resposta inflamatória das vias aéreas, entre sedentários e corredores de rua, expostos a diferentes níveis de poluição atmosférica nas estações verão e inverno. Cinquenta e quatro voluntários foram acompanhados durante um ano e realizaram coletas dos materiais biológicos e os testes de caracterização das amostras foram realizados em diferentes estações do ano na região metropolitana de São Paulo. Foi constatada diferença significativa de MP_{10} e $MP_{2,5}$ entre as diferentes estações. Os corredores apresentaram níveis melhores de Vitamina D, redução na citocina inflamatória interleucina I (IL-1) e aumento na IL-10 (antiinflamatória) na estação verão em comparação ao inverno⁴².

As condições climáticas, como períodos de seca e chuva, assim como ventos, também devem ser levadas em consideração. Diante disso, foi realizado um estudo no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, no estado do Ceará, caracterizado por alto predomínio de ventos fortes em determinadas épocas do ano. Nesse estudo verificou-se que nas áreas de influência dessa região portuária, os meses referentes ao período de seca (setembro a fevereiro) apresentaram as maiores concentrações de poluentes e uma predominância de ventos leste para oeste. Os meses que compreendem o período de chuva (março a agosto) apresentaram as menores concentrações de poluentes e ventos menos definidos. As condições meteorológicas podem exercer um papel importante nos processos de remoção, dispersão ou manutenção das concentrações do material particulado na região. Mesmo com baixas concentrações de MP, é importante avaliar a constituição das partículas finas dessa região, bem como sua possível associação a efeitos adversos à saúde da população local³⁷.

Na região portuária de Santos/SP, há uma forte movimentação de veículos automotivos (caminhões) e vagões ferroviários que originam os poluentes da queima incompleta de combustíveis. Hoje, quase 50% do transporte de grãos no Brasil é feito por ferrovias. Além disso, os grãos e farelos de soja dispersam uma grande quantidade de MP que são somados às emissões da queima de diesel⁴⁴.

O controle da qualidade do ar no estado de São Paulo é realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), responsável pela supervisão, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição. Apesar deste controle, a poluição ambiental permanece uma grande preocupação, particularmente na cidade de Santos, devido à grande atividade portuária.

3. OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é avaliar a percepção da poluição atmosférica pelos moradores da cidade de Santos, e seus efeitos na saúde dessa população.

Objetivos específicos:

- Avaliar a opinião sobre a qualidade do ar pelos moradores da cidade de Santos.
- Avaliar a percepção da população sobre a poluição atmosférica.
- Avaliar os hábitos domésticos sobre os efeitos da poluição atmosférica.
- Avaliar os problemas de saúde que podem estar relacionados com a poluição atmosférica.
- Avaliar o efeito da sazonalidade (inverno e verão) na percepção da poluição atmosférica.
- Avaliar a concentração de MP₁₀ e MP_{2,5} no período estudado através de dados da CETESB-Qualar.

4. HIPÓTESE

A poluição atmosférica pode ser causada por diversas fontes, sendo fixa ou móveis. Na região portuária de Santos, existe além do grande tráfego de veículos a combustão um grande movimento de navios que emitem poluentes atmosféricos. Além disso, o movimento de grãos sólidos no Porto também contribui para a geração de grande quantidade de material particulado. Devido a esses fatores, a cidade de Santos pode apresentar um ar de pior qualidade que pode afetar a saúde e os hábitos dos moradores. Apesar da existência de estações de medição da qualidade do ar nessa região, a percepção da população sobre a qualidade do ar é um aspecto importante que precisa ser avaliado nessa região.

5. METODOLOGIA

Descrição do tipo de estudo conduzido

Foi realizada uma pesquisa empírica, de natureza descritiva e analítica, do tipo transversal, com abordagem quantitativa e qualitativa, por meio de um formulário de entrevista contendo dados socioeconômicos, percepção sobre a qualidade do ar e informações sobre as queixas de saúde relacionadas com a poluição atmosférica. A pesquisa foi realizada durante a estação inverno (julho a agosto de 2023) e verão (janeiro e fevereiro de 2024).

Identificação do local de realização do projeto

A região de estudo definida para a realização da pesquisa está localizada na cidade de Santos, em dois pontos próximos as estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB (Santos e Ponta da Praia) (Figura 1)

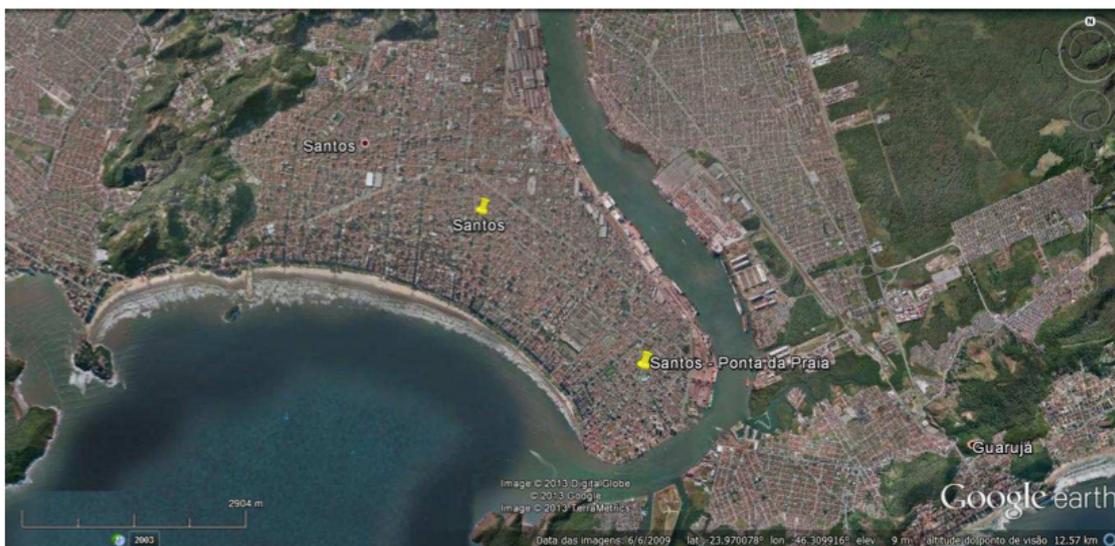


Figura 1 – Localização das estações em relação à área urbana de Santos. Fonte: CETESB (<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/Relatório-Santos-2015.pdf>)

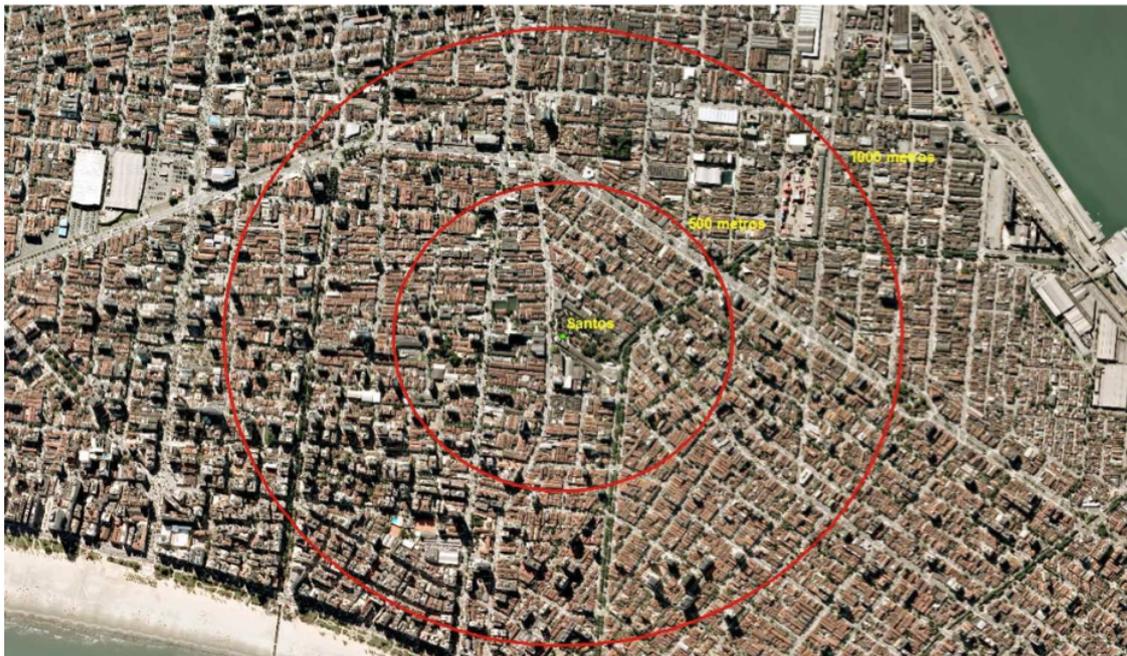


Figura 2 – Localização da estação Boqueirão-Santos. Fonte: CETESB (<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/Relatório-Santos-2015.pdf>)



Figura 3 – Localização da estação Santos-Ponta da Praia em relação ao Porto de Santos. Fonte: CETESB (<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/Relatório-Santos-2015.pdf>)

Dados da poluição atmosférica

Dados diários de poluição do ar foram coletados do site CETESB-QUALAR que analisa a qualidade do ar em tempo real. Os dados foram coletados de 2 estações localizadas em Santos (Boqueirão-Santos e Ponta da Praia). Foram coletados os valores de concentração de MP₁₀ e MP_{2,5} na estação Ponta da Praia, e a concentração de MP₁₀ na estação Boqueirão-Santos.

Descrição da população

A pesquisa foi realizada na cidade de Santos. A pesquisa de opinião ou levantamento foi realizada através de entrevista presenciais com aplicação de um questionário (ANEXO I), durante as estações de inverno e verão, para avaliar o efeito da sazonalidade na percepção da poluição atmosférica.

A amostra foi constituída com base em uma malha amostral de 45 moradores acima de 18 anos e moradores das regiões a serem estudadas pelo projeto. Todos os participantes que concordaram em responder os questionários preencheram o TCLE (ANEXO II). O trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Metropolitana de Santos (CEP - UNIMES) segundo Resolução 466/12 da Comissão Nacional de Saúde, com número de aprovação CAAE: 70567423.6.0000.5509 (ANEXO III).

Crítérios de inclusão

Os seguintes critérios tiveram de ser satisfeitos para participar do estudo:

- Capaz de compreender as perguntas e objetivo do estudo, inclusive os riscos e com intenção de cooperar com o pesquisador e agir de acordo com os requerimentos de todo o estudo, o que foi confirmado mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE);
- Idade acima de 18 anos;
- Morador da cidade de Santos.

Crêterios de exclusão

A resposta positiva a qualquer um dos seguintes cr terios exclui do estudo:

- Menores de 18 anos.

Solicita o de retirada do estudo

Solicita o por parte do participante para se retirar do estudo a qualquer momento ou, os que não desejaram continuar no estudo por razões pessoais (ou mesmo sem razão);

Análise estatística

Os dados foram coletados e tabulados em planilhas do Excel (Microsoft Office). Para a realiza o de uma análise quantitativa dos resultados, foi realizado a conversão das respostas qualitativas em quantitativas em duas questões do questionário. Na primeira questão sobre a qualidade do ar, os termos qualitativos (péssima, ruim, boa, regular e excelente) foram convertidos em valores numéricos, sendo: péssima (1), ruim (2), regular (3), boa (4) e excelente (5). Dessa forma quanto maior o número melhor   o  ndice de qualidade do ar. Na segunda questão sobre o grau de incômodo da polui o, os termos qualitativos (extremamente incomodado, muito incomodado, moderado incomodo, pouco incomodado e nada incomodado) foram convertidos em valores numéricos, sendo: extremamente incomodado (1), muito incomodado (2), moderado incomodo (3), pouco incomodado (4) e nada incomodado (5). Da mesma forma, quanto maior o número melhor menos incomodado a pessoa está com a polui o atmosférica.

Os dados quantitativos foram analisados no programa GraphPad, e apresentados na forma de gráficos com média e desvio padrão, e a análise estatística foi realizada através de test-t paramétrico ou ANOVA, foi considerado significante $p < 0,05$.

5.1. DESCRIÇÃO DO(S) PRODUTO(S) FINAL(AIS) A SER(EM) DESENVOLVIDO(S)

Produto I: Estratégias Científicas para a Educação Ambiental no Ensino Fundamental: um Manual Prático (ANEXO IV)

Relevância/Utilidade: Com o intuito de incentivar os estudantes do ensino fundamental na pesquisa científica, é necessário que os professores (educadores) tenham conhecimentos em metodologias científicas para que possam ser utilizados com seus alunos. Esse manual tem o objetivo de qualificar/atualizar os professores sobre experimentos simples que possam ser utilizados para avaliar a poluição atmosférica.

Aderência (critério obrigatório): O produto possui aderência com o programa de saúde e meio ambiente, pois, possibilita o ensino e a discussão sobre poluição atmosférica com estudantes.

Impacto: Alto impacto, pois, esse manual contém experimentos simples que podem ser realizados por diversas escolas, sem precisar de equipamentos complexos.

Demanda: Alta demanda, pois, incentiva os estudantes para o conhecimento científico através de experimentos controlados.

Área impactada pela produção: Impacto local, porém, o impacto pode ser nacional, pois, o manual estará disponível no site do Programa de Pós Graduação em Saúde e Meio Ambiente.

Aplicabilidade: Altamente aplicável

Abrangência potencial: Nacional

Replicabilidade: Altamente replicável

Inovação: Média inovação

Complexidade: Média complexidade

Produto II: Capítulo Ebook 2022: Efeito da Poluição atmosférica sobre as doenças respiratórias (Anexo V)

Relevância/Utilidade: Atualização do conhecimento sobre a poluição atmosférica e os efeitos nocivos sobre a saúde humana

Aderência (critério obrigatório): Alta

Impacto: Alto

Aplicabilidade: Altamente aplicável

Abrangência potencial: Nacional

Replicabilidade: Altamente replicável

Inovação: Média inovação

Complexidade: Média complexidade

Produto III: Capítulo Ebook 2023: Papel do material particulado sobre os processos inflamatórios e oxidativos em células pulmonares (Anexo VI)

Relevância/Utilidade: Atualização do conhecimento os efeitos tóxicos do material particulado em células pulmonares Aderência (critério obrigatório): Alta

Impacto: Alto

Aplicabilidade: Altamente aplicável

Abrangência potencial: Nacional

Replicabilidade: Altamente replicável

Inovação: Média inovação

Complexidade: Média complexidade

6. RESULTADOS

O questionário foi respondido por 45 moradores da região de Santos, identificados pelo código de endereçamento postal (CEP). Conforme indicado na Tabela 1, dos entrevistados, 23 são do sexo masculino e 22 do feminino; a maioria (60%) dos voluntários são solteiros, entre homens (56,5%) e mulheres (63,6%). Com relação a escolaridade, a maioria das mulheres possuem ensino médio completo (63,6%), entre os homens, a maioria possuem ensino superior completo ou incompleto. Além disso, somente 17,8% dos entrevistados são tabagistas, sendo que 21,7% dos homens e 13,6% das mulheres.

Tabela 1: Dados socioeconômicos e sobre tabagismo, divididos em dois subgrupos (masculino e feminino).

	Masculino	Feminino	Total
Sexo	23	22	45
Estado civil			
Solteiro(a)	13 (56.5%)	14 (63.6%)	27 (60%)
Casado(a)	9 (39.1%)	5 (22.7%)	14 (31.1%)
Divorciado(a)	1 (4.4%)	3 (13.7%)	4 (8.9%)
Viúvo(a)	0	0	0
Escolaridade			
Não estudou	0	0	0
Ensino Fundamental Incompleto	0	1 (4.6%)	1 (2.2%)
Ensino Fundamental Completo	0	1 (4.6%)	1 (2.2%)
Ensino Médio / Técnico Incompleto	3 (13.1%)	0	3 (6.7%)
Ensino Médio / Técnico Completo	6 (26.1%)	14 (63.6%)	20 (44.4%)
Ensino Superior Incompleto	7 (30.4%)	0	7 (15.6%)
Ensino Superior Completo	7 (30.4%)	6 (27.2%)	13 (28.9%)
Tabagismo			
Sim	5 (21.7%)	3 (13.6%)	8 (17.8%)
Não	18 (78.3%)	19 (86.4%)	37 (82.2%)

Com relação a idade, a média foi de 38,1 anos, sendo que não houve diferença de idade entre homens e mulheres. A média de tempo de permanência na residência foi de 13,3 horas, sendo que essa média foi similar entre homens e mulheres, conforme informado na Tabela 2.

Tabela 2: Média de idade entre os participantes, e a quantidade diária que permanece na residência, divididos em 2 subgrupos (masculino e feminino)

	Masculino	Feminino	Total
Idade	39.6 ± 17.6	36.5 ± 13.9	38.1 ± 15.8
Quantas horas permanece na residência	13.5 ± 4.9	13.9 ± 5.1	13.3 ± 4.5

Na avaliação da qualidade do ar em seu bairro, a maioria dos entrevistados consideraram a qualidade do ar como regular e boa, tanto nas estações de inverno e de verão, conforme indicado na figura 4.

Como o(a) Sr(a) avalia a qualidade do ar em seu bairro?

A

	Inverno	%	Verão	%
Péssima	2	4,4	5	11,1
Ruim	10	22,2	7	15,6
Regular	16	35,6	20	44,4
Boa	15	33,3	11	24,4
Excelente	2	4,4	2	4,4
Não sei responder	0	0,0	0	0,0
TOTAL	45	100,0	45	100,0

B

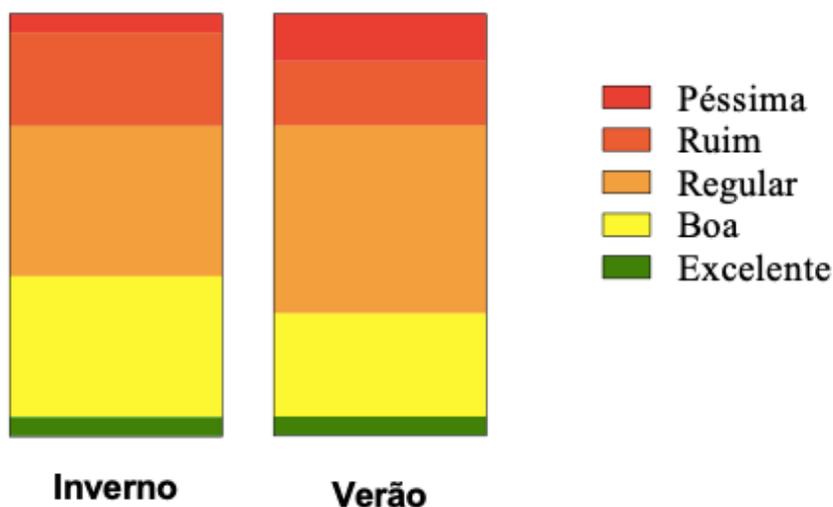


Figura 4: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.

Foi realizado uma análise quantitativa sobre a percepção da qualidade do ar pelos entrevistados, para isso, as categorias qualitativas foram transformadas em quantitativas. Cada categoria recebeu um valor, sendo a péssima (valor 1) até a excelente (valor 5). Dessa forma, a média do índice de qualidade do ar ficou entre 3, em ambas as estações, não havendo diferença estatística entre os grupos. Esse dado também foi subdividido em sexo, com o intuito de observar se existia diferença na percepção da população entre os sexos. Como observado na figura 5, não houve diferença entre o índice de qualidade do ar, nos diferentes subgrupos e nas diferentes estações. Os resultados também foram divididos em 3 diferentes faixas etárias (entre 18-29 anos, entre 30-49 anos e acima de 50 anos), e também não houve diferença estatística em relação aos diferentes subgrupos com relação a percepção da qualidade do ar.

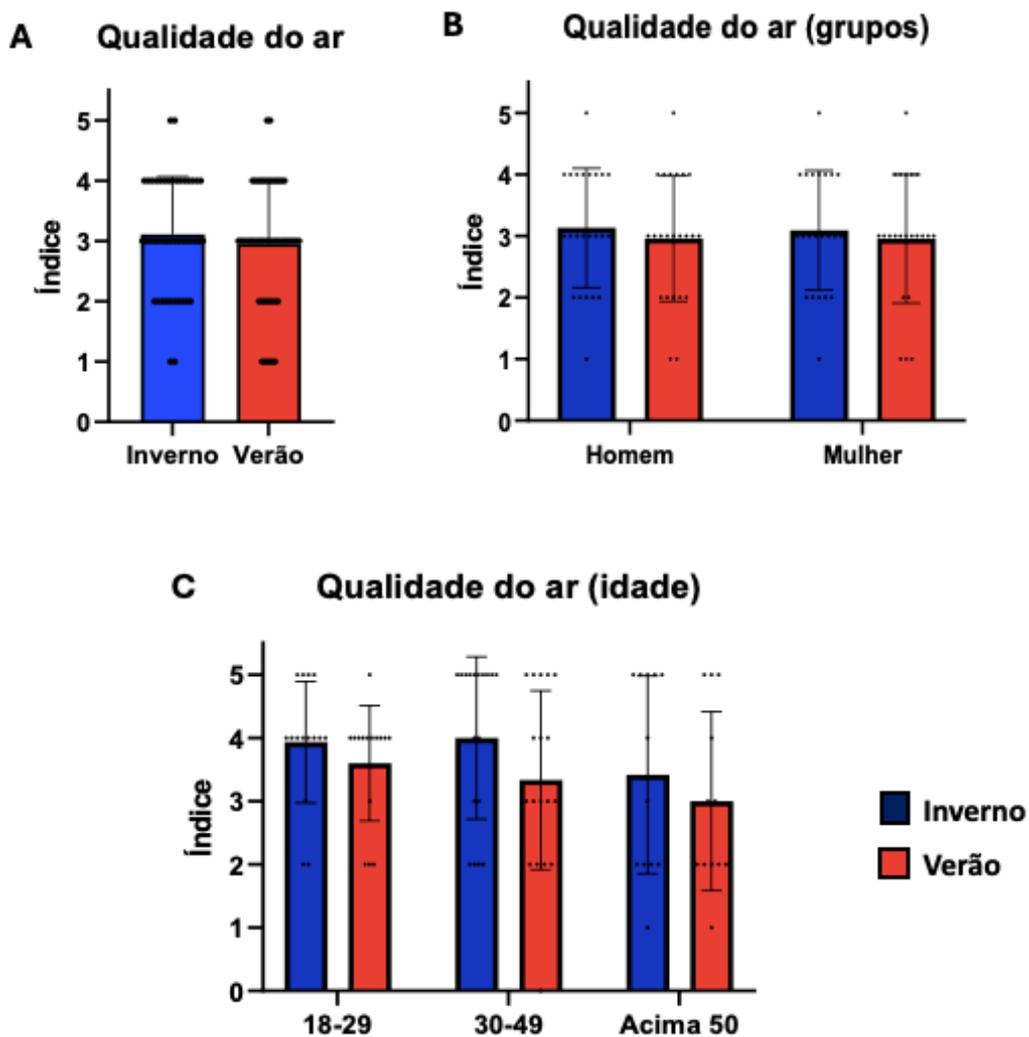


Figura 5: (A) Gráfico do índice de qualidade do ar nas diferentes estações. (B) Gráfico do índice de qualidade do ar nas diferentes estações e separados entre sexo. (C) Gráfico do índice de qualidade do ar nas diferentes estações e subdivididos em faixas etárias.

Com relação a pergunta sobre o grau de incômodo da poluição atmosférica, a maioria dos entrevistados declararam pouco incomodado (31,1%) ou nada incomodado (35,6%) na estação inverno. Enquanto que na estação verão, a maioria dos entrevistados afirmou ter um moderado incômodo (35,6%), conforme indicado na figura 6.

Em relação a poluição do ar, como você está se sentindo agora?

A

	Inverno	%	Verão	%
Extremamente incomodado	0	0,0	1	2,2
Muito incomodado	6	13,3	6	13,3
Moderado incômodo	8	17,8	16	35,6
Pouco incomodado	14	31,1	10	22,2
Nada incomodado	16	35,6	11	24,4
Não sei responder	1	2,2	1	2,2
TOTAL	45	100,0	45	100,0

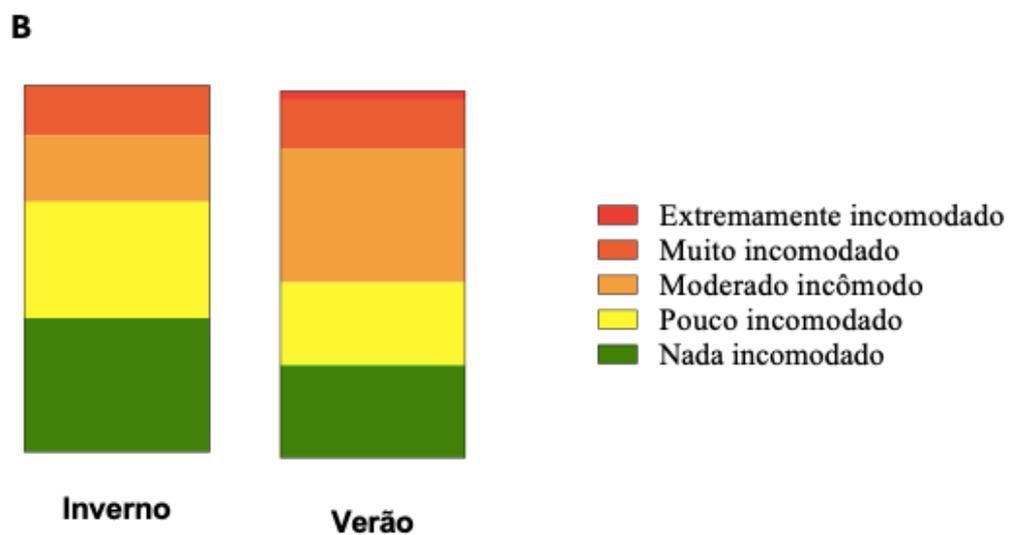


Figura 6: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.

Na análise sobre a percepção do incômodo, as categorias qualitativas também foram transformadas em quantitativas, sendo a de extremamente incomodado (valor 1) até nada incomodado (valor 5). A média do grau de incômodo da poluição atmosférica ficou entre 3,8 na estação inverno, e na estação verão essa média ficou entre 3,5, não havendo diferença estatística entre as duas estações. E, subdividindo esses dados entre os sexos, como observado na figura 7, também não houve diferença significativa. Esses resultados demonstram que não existe diferença entre a qualidade do ar e o grau de incômodo da população nas estações inverno e verão. Os resultados também foram divididos em 3 diferentes faixas etárias, e também não houve diferença estatística em relação aos diferentes subgrupos com relação ao grau de incômodo da poluição.

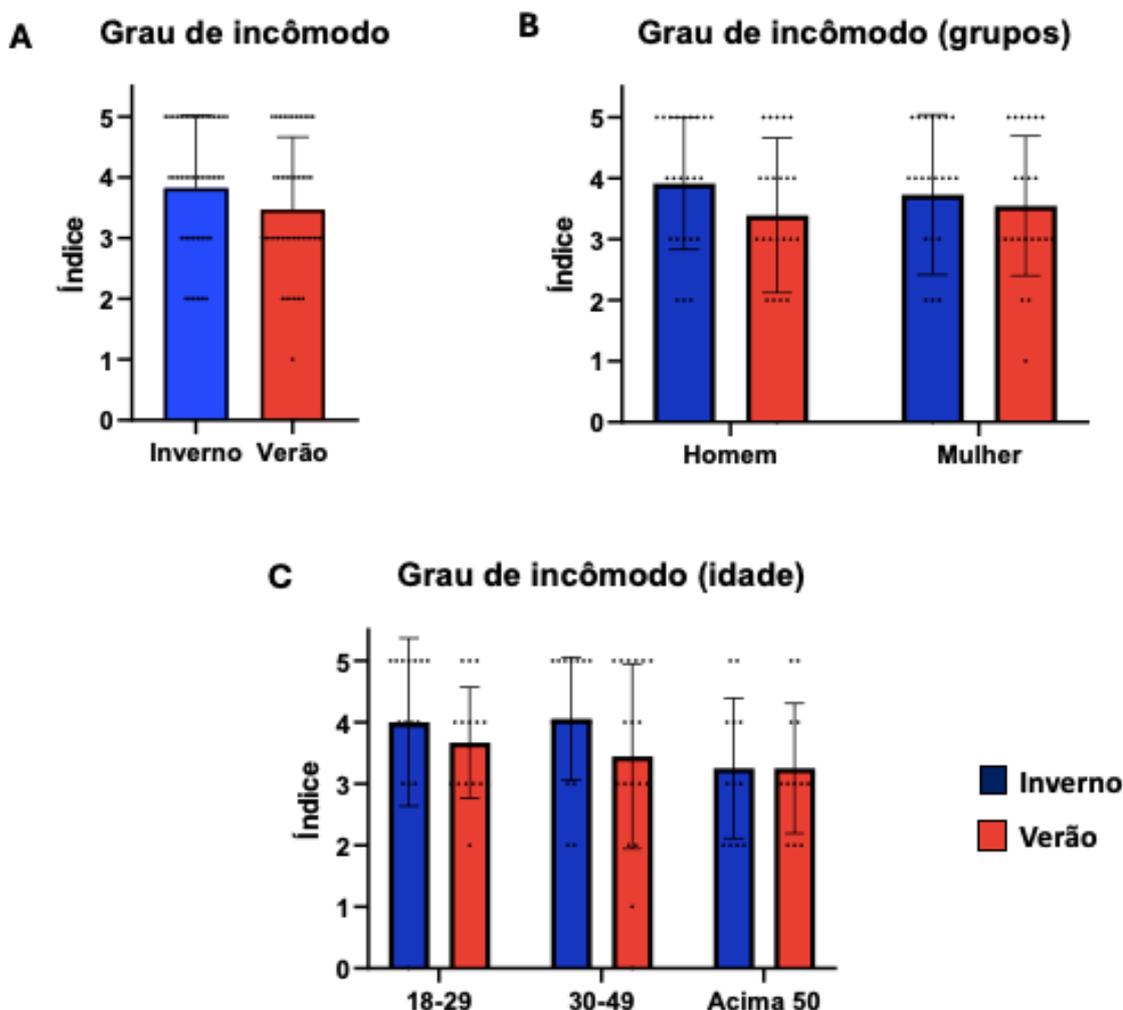


Figura 7: (A) Gráfico do índice do grau de incômodo da poluição nas diferentes estações. (B) Gráfico do índice do grau de incômodo da poluição nas diferentes estações e separados entre sexo. (C) Gráfico do índice do grau de incômodo da poluição nas diferentes estações e subdivididos em faixas etárias.

Na avaliação da percepção da poluição do ar através do depósito de pó e partículas em sua residência, a maioria dos entrevistados disse perceber, frequentemente, esses depósitos de pó e partículas, tanto na estação inverno quanto na verão. conforme indicado na figura 8.

O(a) Sr(a) percebe a poluição do ar através do depósito de pó e partículas em sua residência?

A

	Inverno	%	Verão	%
Nunca	3	6,7	2	4,4
Raramente	5	11,1	4	8,9
Às vezes	15	33,3	8	17,8
Frequentemente	17	37,8	20	44,4
Sempre	5	11,1	11	24,4
Não sei responder	0	0,0	0	0,0
TOTAL	45	100,0	45	100,0

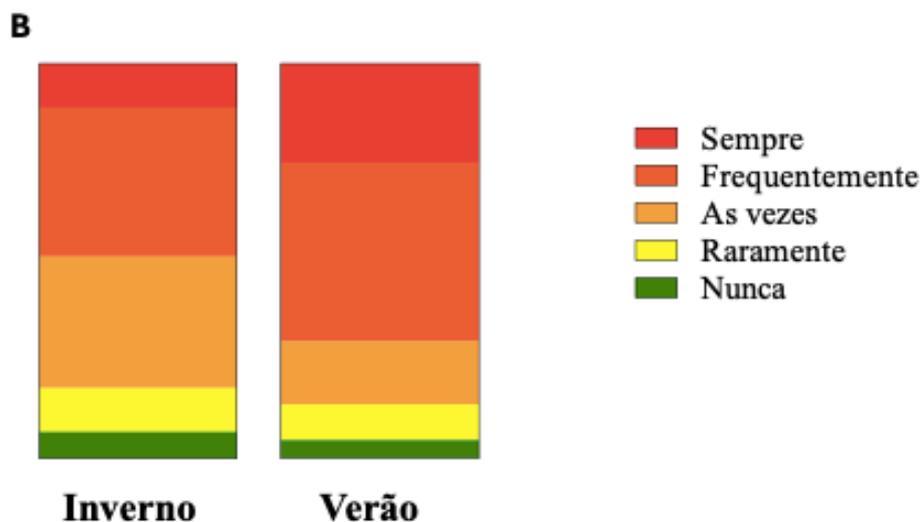


Figura 8: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das resposta

Com relação a pergunta sobre a frequência da limpeza da casa para a retirada da poeira, a maioria dos entrevistados disse que limpam frequentemente e sempre suas casas. Nós podemos observar que a frequência foi alta e similar entre as duas estações avaliadas, como demonstrado na figura 9.

A poluição do ar leva o(a) Sr(a) limpar a casa para a retirada da poeira?

A

	Inverno	%	Verão	%
Nunca	1	2,2	2	4,4
Raramente	3	6,7	1	2,2
Às vezes	5	11,1	3	6,7
Frequentemente	18	40,0	22	48,9
Sempre	18	40,0	16	35,6
Não sei responder	0	0,0	1	2,2
TOTAL	45	100,0	45	100,0

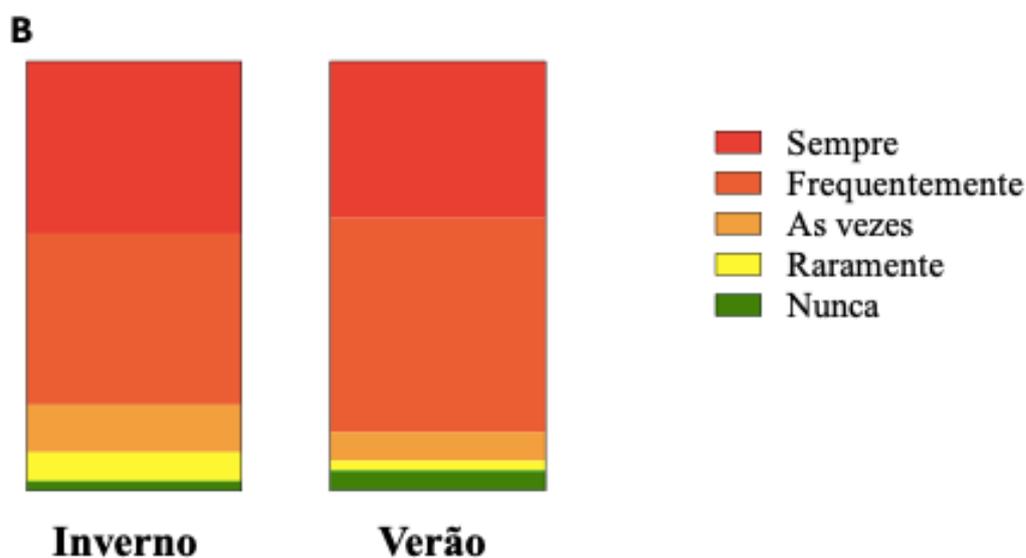


Figura 9: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.

Com relação a pergunta sobre a frequência de visitas ao médico, posto de saúde ou hospital por causa da poluição do ar, a maioria dos entrevistados disseram que nunca procuram atendimento médico. Entretanto, cerca de 13,3% da população “às vezes” procuram atendimento médico na estação inverno e esse número aumenta para 20% (as vezes + frequentemente) na estação verão, conforme figura 10.

Com que frequência você vai ao médico, posto de saúde, hospital, por causa da poluição?

A

	Inverno	%	Verão	%
Nunca	32	71,1	30	66,7
Raramente	7	15,6	6	13,3
Às vezes	6	13,3	8	17,8
Frequentemente	0	0,0	1	2,2
Sempre	0	0,0	0	0,0
Não sei responder	0	0,0	0	0,0
TOTAL	45	100,0	45	100,0

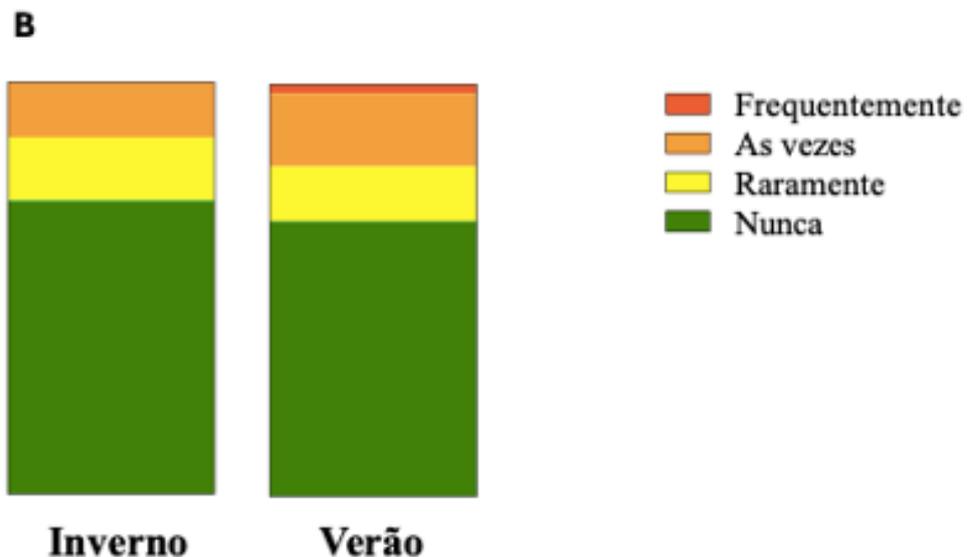


Figura 10: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.

Na avaliação da frequência que os entrevistados possuem problemas de saúde causada pela poluição do ar, a maioria dos entrevistados disseram que nunca possuem problemas de saúde. Entretanto, quando somamos as respostas: às vezes, frequentemente e sempre, observamos que na estação inverno, cerca de 33,3% dos entrevistados relataram ter problemas de saúde, e esse número aumenta para 40% na estação verão, conforme indicado na figura 11.

Com que frequência tem problemas de saúde causado pela poluição do ar?

A

	Inverno	%	Verão	%
Nunca	20	44,4	18	40,0
Raramente	8	17,8	9	20,0
Às vezes	8	17,8	12	26,7
Frequentemente	5	11,1	5	11,1
Sempre	2	4,4	1	2,2
Não sei responder	2	4,4	0	0,0
TOTAL	45	100,0	45	100,0

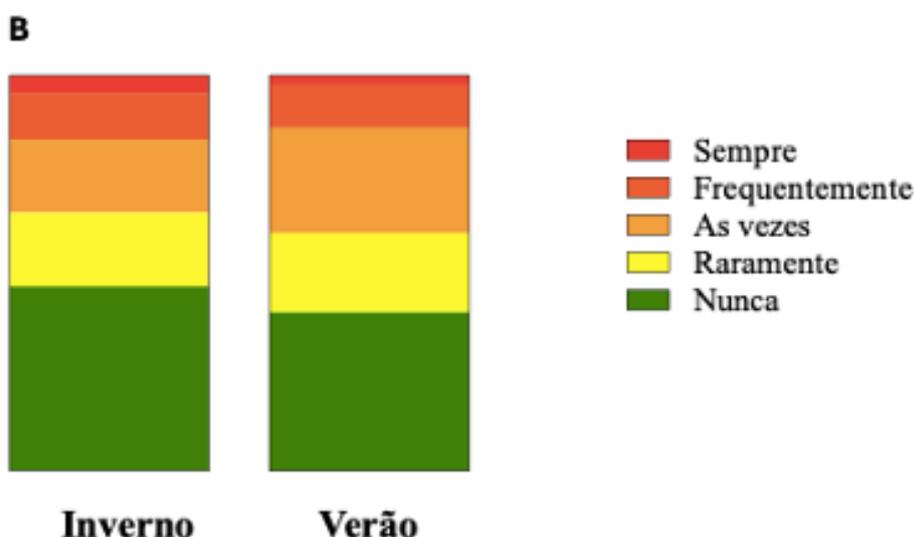


Figura 11: (A) Tabela com a distribuição das respostas durante as estações inverno e verão. (B) Diagrama representativo das respostas.

Na avaliação sobre os problemas de saúde relatados pelos moradores, as principais queixas foram: rinite, irritação no nariz, alergia, irritação na garganta e olhos, sinusite, cansaço, pele seca e tosse seca. Esses problemas foram similares entre as estações inverno e verão, conforme demonstrado na figura 12, entretanto, a frequência de problemas de saúde na estação inverno foi um pouco superior que na estação verão. Além disso, somente 2 entrevistados na estação inverno e 4 na estação verão não relatam nenhum problema de saúde relacionado com a poluição do ar. Na análise dos sintomas e doenças apresentados não houve diferença significativa. Os sintomas se agravaram na estação de inverno em relação a de verão, conforme apresentado na figura 12B.

A

Problema de saúde	Inverno	Verão
Irritação ouvido	1	2
Nenhum	2	4
Falta ar (dispneia)	11	10
Tosse seca	17	17
Pele seca	18	16
Cansaço	19	12
Sinusite	19	20
Irritação nos olhos	19	14
Irritação garganta	20	19
Alergia	27	21
Irritação nariz	27	25
Rinite	28	27

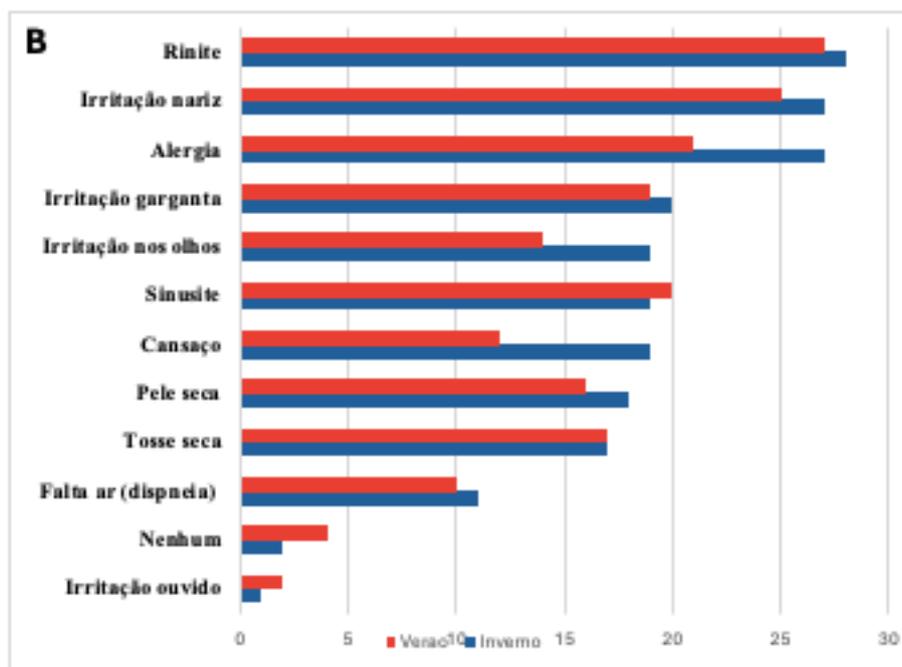
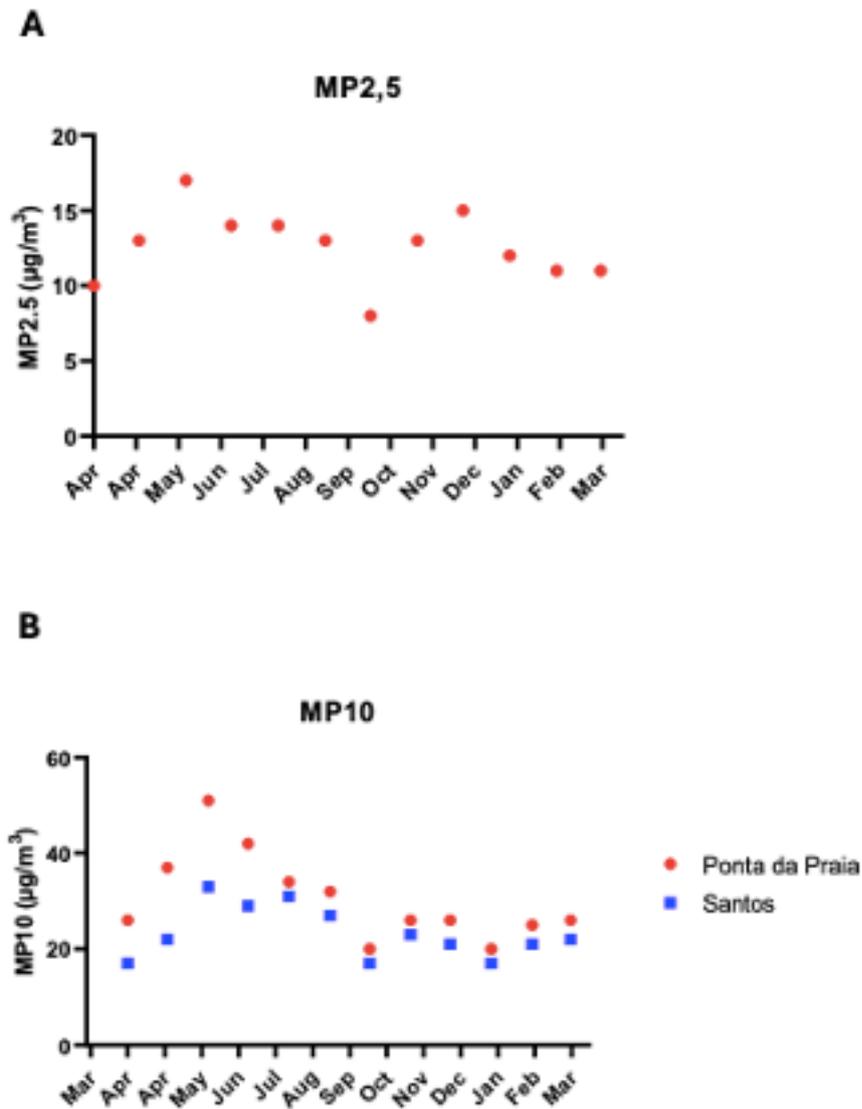


Figura 12: (A) Tabela com a frequência de problemas de saúde nas diferentes estações. (B) Diagrama representativo das respostas.

A poluição atmosférica foi avaliada através da análise da concentração de material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) durante o período de abril de 2023 até março de 2024. Esses dados foram coletados de duas estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB MP_{2,5} é avaliado somente na estação Ponta da Praia, e o MP₁₀ é avaliada nas duas estações (Ponta da Praia e Santos). Com relação ao MP_{2,5}, a concentração desse material se manteve relativamente

constante durante todo o período analisado, tendo um pico, em maio de 2023. Com relação ao MP_{10} , podemos observar que a concentração dessa partícula foi superior na região da Ponta da Praia comparada a estação de Santos, e o pico da concentração foi entre maio e junho de 2023, como demonstrado na figura 13.



.Figura 13: (A) Média mensal da concentração de $MP_{2,5}$ na estação Ponta da Praia. (B) Média mensal da concentração de MP_{10} nas estações Ponta da Praia e Santos.

7. DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou a percepção da população da cidade de Santos sobre os efeitos da poluição atmosférica, e a possível influência do Porto de Santos na qualidade do ar. Essa região possui um grande tráfego de veículos de grande porte, associado com a dispersão de MP através do movimento dos grãos sólidos durante a descarga/carga, contribuindo para a poluição atmosférica. A piora da qualidade do ar pode afetar a saúde e os hábitos cotidianos dos moradores da região, e a percepção da poluição atmosférica é uma maneira pessoal de avaliar a qualidade do ar. Nossos resultados indicaram que a maioria dos entrevistados consideraram a qualidade do ar como “regular” ou “boa”, tanto nas estações inverno e verão, e sem diferença na percepção entre homens e mulheres. Um estudo similar avaliou a qualidade do ar na cidade de Itabira/MG, localizada no Quadrilátero Ferrífero, demonstrando 73,5% do total de entrevistados avaliaram a qualidade do ar onde como “péssima” ou “ruim”, entretanto, nessa região existe um grande polo mineral e metalúrgico caracterizado pela emissão de diversos poluentes⁴⁵. A percepção da qualidade do ar não teve diferença entre os gêneros homem e mulher, e nem em diferentes subgrupos de idade.

Em relação ao grau de incômodo da poluição atmosférica, a maioria dos entrevistados se sentiram “pouco incomodados” ou “nada incomodados” na estação inverno, porém no verão a maioria relatam “moderado incômodo”. Essa percepção não teve influência do sexo, entretanto, um estudo observou que as mulheres se sentem mais incomodadas com a qualidade do ar do que os homens, nesse estudo, as mulheres revelaram sentir “extremamente incomodada” com a qualidade do ar na região Grande Vitória⁴⁷. Ao realizarem a mesma análise de acordo com a faixa etária dos entrevistados, os indivíduos com idade acima de 35 anos relataram um maior nível de incômodo com a poluição do ar comparado aos moradores com idade entre 16 e 34 anos, indicando que a poluição atmosférica é percebida, principalmente, entre os indivíduos mais velhos⁴⁷. Diferentemente, no nosso estudo, nós não observamos diferença em relação ao grau de incômodo da poluição do ar entre os diferentes subgrupos de idade, mas foi observado uma tendência, mesmo sem diferenças estatísticas.

No porto de Santos ocorrem claramente a emissão de poluentes por fontes fixas (carga e descarga de grãos) ou móveis (sendo o maior causador os automóveis, trens e caminhões). Uma pesquisa realizada na cidade de Pelotas/RS, revelou que os moradores avaliaram a qualidade do ar como regular e consideraram como o principal vilão o tráfego de caminhões⁴⁸. Em outro estudo, realizado em Diadema/SP, observou que os entrevistados avaliaram a

qualidade do ar sendo pior na região central comparada os bairros mais afastados, e também identificaram que os principais causadores da poluição atmosférica são os veículos automotores⁴⁹.

Em relação à percepção da poluição do ar, através do depósito de pó e partículas nas residências, a maioria dos entrevistados disse perceber, “frequentemente”, esses depósitos de MP, tanto no inverno quanto no verão, sendo alta e similar entre as duas estações avaliadas. O nosso resultado foi similar com outro estudo que indicou que 96,2% dos entrevistados percebem a presença de poeira, e também com relação a opacidade do ar e a presença de fumaça. Outro estudo, avaliou a percepção da poluição do ar na região da Grande Vitória/ES, e demonstrou que 81% das pessoas entrevistadas percebem os depósitos de partículas “sempre” ou “frequentemente” em seu cotidiano⁴⁷.

A poluição do ar pode afetar os hábitos dos moradores da região, no nosso estudo, a maioria dos entrevistados limpam “frequentemente” e “sempre” suas casas, não tendo diferença entre as duas estações avaliadas. O estudo na cidade de Itabira indicou que 50,5% dos entrevistados limpam suas casas diariamente para retirada de poeira⁴⁵.

Um estudo realizado na Índia avaliou o efeito das estações do ano sobre a concentração de poluentes atmosférico, indicando que a concentração média de MP foi superior ao limite do estabelecido no país, durante todo o período avaliado. Além disso, os níveis mais elevados foram observados na estação inverno, e conseqüente maior procura por atendimento médico⁴⁷. Esse trabalho indica uma semelhança ao nosso estudo, com o agravamento dos sintomas e doenças detectados no inverno, em relação ao verão.

Nosso estudo observou que a minoria dos entrevistados procuram atendimento médico por algum problema causado pela poluição, esse resultado foi similar entre inverno e verão. A estação verão é mais quente e seca e a estação inverno mais fria e úmida. O percentual de pessoas que procuram atendimento médico é menor dos que relatam problemas de saúde, muito provavelmente pelas dificuldades encontradas no atendimento médico, por fazerem uso da automedicação, ou por já estarem habituados com alguns sintomas.

Em relação aos problemas de saúde e sintomas, relatados pelos moradores, as principais queixas foram: “rinite”, “irritação no nariz”, “alergia”, “irritação na garganta e olhos”, “sinusite”, “cansaço”, “pele seca” e “tosse seca”. Esses problemas foram similares entre as estações inverno e verão. O estudo de Itabira indicou que “irritação no nariz” foi o maior problema identificado nos moradores da região, seguido de “rinite”, “ardor e irritação nos

olhos”, “tosse seca”, “alergia” e “tosse seca”. No estudo da Grande Vitória, indicou que “alergia” foi o sintoma mais citado, seguido da “rinite” e “bronquite”. Doenças como “sinusite”, “pneumonia”, “faringite”, “irritação nos olhos” e “bronquite asmática” que foram citadas em menores proporções pelos entrevistados que relataram problemas de saúde.

As doenças respiratórias são as principais consequências da poluição atmosférica, um estudo realizado na Espanha associou a DPOC com as estações do ano, indicando as internações hospitalares e a mortalidade foram mais frequentes no outono e inverno. Além disso, houve uma correlação positiva entre atendimentos de emergência relacionados à DPOC com a concentração de NO₂, O₃ e MP_{2,5}. Quando os efeitos sazonais foram avaliados, observamos que as internações hospitalares e a mortalidade foram mais frequentes no outono e no inverno. Além disso, encontramos associações significativas de temperatura, umidade, ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), MP₁₀ e dióxido de nitrogênio (NO₂) com internações hospitalares. As temperaturas mais baixas também estão relacionadas com o maior número de admissão hospitalar por exacerbação da DPOC ⁵¹.

Com relação às emissões de poluentes por veículos automotores, a fuligem é um fator determinante para o agravamento de doenças pulmonares em regiões onde o tráfego é intenso. Um estudo realizado na região portuária da Eslovênia avaliou a concentração de poluentes nos períodos das estações inverno e primavera, revelando um aumento significativo no inverno⁴⁹. Outro fator importante que contribui para a qualidade do ar é a velocidade e a direção dos ventos, que podem ajudar a dispersar a poluição para outras regiões.

A região portuária de Santos circula grande concentração de automóveis e caminhões que utilizam o diesel como combustível, aumentando a produção de fuligem por essas fontes. A fuligem é um tipo de MP que possui impacto significativo na qualidade do ar e pode ter consequências negativas para a saúde humana, especialmente para idosos, crianças e recém-nascidos.

Um estudo sobre a poluição atmosférica na cidade de Santos/SP avaliou o impacto da movimentação portuária de cargas de soja a granel sobre os níveis de poluentes atmosféricos e a sobre a saúde dos moradores. Este estudo observou que o crescimento das exportações de soja em grãos teve correlação com o número de internações por doenças respiratórias, e esse aumento foi maior na primavera, época da maior exportação de soja⁵³.

A qualidade do ar é constantemente avaliada pela CETESB, e como observado nos resultados, a concentração de MP₁₀ foi maior na estação da Ponta da Praia comparada a estação

de Santos. A pior qualidade do ar na região da Ponta da Praia, pode ser devido ao fato que o Porto de Santos esteja mais próximo desta estação. Indicando que as atividades portuárias (representadas pelo carregamento e descarregamento de granéis sólidos e pelo intenso tráfego diário de caminhões e embarcações no Porto de Santos) contribuem para a poluição atmosférica⁵⁴. Embora, pelos padrão da CETESB ($25\mu\text{m}/\text{m}^3$ para $\text{MP}_{2,5}$ e $50\mu\text{m}/\text{m}^3$ para MP_{10}), a qualidade do ar seja considerada “BOA” durante boa parte do ano, os limites determinados pela OMS é de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o $\text{MP}_{2,5}$ e de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o MP_{10} . Os valores médio coletados no nosso estudo estão acima do limite determinado pela OMS. Portanto, o nível de MP na região de Santos está acima do recomendado pela OMS.

Nossos resultados não demonstraram diferença entre a percepção da poluição atmosférica e nas queixas de problemas de saúde e sintomas, nas estações inverno e verão, o que pode indicar que a qualidade do ar é regular durante todo o ano. Apesar de existirem diferenças climáticas nas duas estações, como umidade do ar, velocidade e direção dos ventos, elas não foram capazes de alterar a percepção da poluição atmosférica pelos moradores da região.

8. CONCLUSÕES

A qualidade do ar na região de Santos foi considerada boa/regular pela maioria dos entrevistados, e não houve diferença na percepção da poluição atmosférica nos diferentes subgrupos (sexo e idade). Além disso, a percepção da qualidade do ar foi similar nas duas estações avaliadas (inverno e verão), indicando que apesar da diferença climática (temperatura, vento e umidade), a percepção da qualidade do ar continua similar. Esses dados mostram que a qualidade do ar avaliada pelos moradores é similar durante quase todo o ano. O Porto de Santos pode ter contribuído para o aumento na concentração de MP_{10} avaliado na estação Ponta da Praia, esse fato pode ser devido ao grande tráfego de caminhões e navios na região, além disso existe a poluição atmosférica causada pela movimentação dos grãos sólidos nessa região que pode ter contribuído para a piora da qualidade do ar.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WHO. [Internet] *Air Pollution*. WHO. Available online at: <http://www.who.int/airpollution/en/>
2. WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021.
3. Novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS visam salvar milhões de vidas da poluição atmosférica - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde (paho.org)
4. Sin DD, Doiron D, Agustí A, Anzueto A, Barnes PJ, Celli BR, Criner GJ, Halpin D, Han MK, Martinez FJ, Montes de Oca M, Papi A, Pavord I, Roche N, Singh D, Stockley R, Lopez Varlera MV, Wedzicha J, Vogelmeier C, Bourbeau J; GOLD Scientific Committee. Air pollution and COPD: GOLD 2023 committee report. *Eur Respir J*. 2023 May 11;61(5):2202469. doi: 10.1183/13993003.02469-2022. PMID: 36958741.
5. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, et al. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planetary Health*. 2022 Jun;6(6):e535-e547.
6. Arbex MA, Santos UP, Martins LC, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF. Air pollution and the respiratory system. *J. Bras. Pneumol*. 2012, 38, 643–655.
7. Balmes JR, Fine JM, Sheppard D. Symptomatic bronchoconstriction after short-term inhalation of sulfur dioxide. *Am. Rev. Respir. Dis*. 1987, 136, 1117.
8. Kagawa J. Evaluation of biological significance of nitrogen oxides exposure. *Tokai J. Exp. Clin. Med*. 1985, 10, 348.
9. Ghio AJ, Huang YC. Exposure to concentrated ambient particles (CAPs): a review. *Inhal. Toxicol*. 2004, 16, 53.
10. Uysal N, Schapira RM. Effects of ozone on lung function and lung diseases. *Curr. Opin. Pulm Med*. 2003, 9, 144.
11. Chauhan AJ, Krishna MT, Frew AJ, Holgate ST. Exposure to nitrogen dioxide (NO₂) and respiratory disease risk. *Rev. Environ. Health*. 1998, 13, 73.
12. Rastogi SK, Gupta BN, Husain T, Chandra H, Mathur N, Pangtey BS, Chandra SV, Garg N. A cross-sectional study of pulmonary function among workers exposed to multimetals in the glass bangle industry. *Am. J. Ind. Med*. 1991, 20, 391.
13. Tager IB, Balmes J, Lurmann F, Ngo L, Alcorn S, Kunzli N. Chronic exposure to ambient ozone and lung function in young adults. *Epidemiology*. 2005, 16, 751.
14. Kuo CY, Wong RH, Lin JY, Lai JC, Lee H. Accumulation of chromium and nickel metals in lung tumors from lung cancer patients in Taiwan. *J. Toxicol. Environ. Health A*. 2006, 69, 1337.
15. Nawrot T, Plusquin M, Hogervorst J, Roels HA, Celis H, Thijs L, Vangronsveld J, Van Hecke E, Staessen JA. Environmental exposure to cadmium and risk of cancer: a prospective population-based study. *Lancet Oncol*. 2006, 7, 119.

16. Wegmann M, Fehrenbach A, Heimann S, Fehrenbach H, Renz H, Garn H, Herz U. NO₂-induced airway inflammation is associated with progressive airflow limitation and development of emphysema-like lesions in C57bl/6 mice. *Exp. Toxicol. Pathol.* 2005, 56, 341.
17. Wallbanks S, Griffiths B, Thomas M, Price OJ, Sylvester KP. Impact of environmental air pollution on respiratory health and function. *Physiol Rep.* 2024 Aug;12(16):e70006. doi: 10.14814/phy2.70006. PMID: 39175108; PMCID: PMC11341277.
18. Wilson WE, Suh HH. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc.* 1997, 47:1238–49.
19. GBD. 2015 risk factors collaborators. global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the global burden of disease study 2015. *Lancet.* 2016, 388:1659e1724.
20. Moustiris KP, Ntourou K, Nastos PT. Estimation of particulate matter impact on human health within the urban environment of Athens city, Greece. *Urban Sci.* 2017; 1:6.
21. Tian Y, Xiang X, Juan J, et al. Fine particulate air pollution and hospital visits for asthma in Beijing, China. *Environ Pollut.* 2017; 230:227e233.
22. Aalapati S, Ganapathy S, Manapuram S, Anumolu G, Prakya BM. Toxicity and bio-accumulation of inhaled cerium oxide nanoparticles in CD1 mice. *Nanotoxicology.* 2014; 8:786e798.
23. Fann N, Lamson AD, Anenberg SC, Wesson K, Risley D, Hubbell BJ. Estimating the national public health burden associated with exposure to ambient PM_{2.5} and ozone. *Risk Anal.* 2012; 32:81e95.
24. Kunzli N, Perez L, Rapp R. Air quality and health. *Eur. Respir. Soc.* 2014; 44:614–626.
25. Gehring U, Wijga AH, Brauer M, Fischer P, Jongste JC, Kerkhof M, Oldenwening M, Smit HA, Brunekreef B. Trac-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2010; 181:596–603.
26. Ko FW, Tam W, Wong TW, Chan DP, Tung AH, Lai CK, Hui DS. Temporal relationship between air pollutants and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Hong Kong. *Thorac. Soc.* 2007; 62:780–785.
27. Reis H, Reis C, Sharip A, Reis W, Zhao Y, Sinclair R, Beeson L. Diesel exhaust exposure, its multi-system effects, and the effect of new technology diesel exhaust. *Environ. Int.* 2018; 14:252–265.
28. Pinkerton KE, Green FH, Saiki C, et al. Distribution of particulate matter and tissue remodeling in the human lung. *Environ Health Perspect.* 2000; 108:1063e1069.
29. Xu D, Huang N, Wang Q, Liu H. Study of ambient PM_{2.5} on the influence of the inflammation injury and the immune function of subchronic exposure rats [in Chinese]. *Wei Sheng Yan Jiu.* 2008; 37:423e428.
30. Liu M, Shi Z, Yin Y, Wang Y, Mu N, Li C, Ma H, Wang Q. Particulate matter 2.5 triggers airway inflammation and bronchial hyperresponsiveness in mice by activating the SIRT2-p65 pathway. *Front Med.* 2021 Oct;15(5):750-766. doi: 10.1007/s11684-021-0839-4. Epub 2021 Jun 28. PMID: 34181194.

31. Anenberg SC, Henze DK, Tinney V, Kinney PL, et al. Estimates of the Global Burden of Ambient [Formula: see text], Ozone, and [Formula: see text] on Asthma Incidence and Emergency Room Visits. *Environ Health Perspect*. 2018 Oct;126(10):107004.
32. WHO. WHO's global air-quality guidelines. *Lancet*. 2006, 368:1302.
33. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front Public Health*. 2020 Feb 20;8:14.
34. World Health Organization. Air Quality Guidelines; Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide; World Health Organization: Copenhagen, Denmark, 2005.
35. Andrade MF, Kumar P, Freitas ED, Ynoue RY, Martins J, Nogueira T, et al. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. *Atmos. Environ*. 2017, 159, 66.
36. Fajersztajn L, Veras M, Saldiva PHN. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? *Estud. Avançados*. 2016; 30, 7–27.
37. European Commission. CO2 Time Series 1990–2015 Per Region/Country. EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research [Internet]. 2016 [acesso em 2022 Jun 23]; Disponível em: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/emissions_reports.
38. European Commission. Fossil CO2 emissions of all world countries. EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research [Internet]. 2018 [acesso em 2022 Jun 23]; Disponível em: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/emissions_reports
39. International Maritime Organization. Greenhouse Gas Study. Fourth IMO GHG Study: Executive Summary [Internet]. 2020 [acesso em 2022 Jun 23]; Disponível em: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20Executive-Summary.pdf>
40. Alvarez MC. Análise da qualidade do ar nos bairros periféricos ao Porto de Santos (SP). *Revista de Empreendedorismo e Inovação Sustentáveis*, 2017; v.2, n.1, p.56-363.
41. Matos JC. Avaliação da prevalência de sintomas de asma e rinite autorreferidos em moradores adultos e idosos de diferentes áreas do município de Santos (SP). Tese [Doutorado em saúde coletiva] – Universidade Católica de Santos; 2018.
42. Sá MC. Estudo comparativo da resposta inflamatória de vias aéreas em corredores de rua e sedentários expostos a diferentes níveis de poluição atmosférica. Tese [Doutorado em Ciências] – Universidade Federal de São Paulo; 2018.
43. Couto LO, Nuto, SAS, Hacon SS, Gioda A, Sousa FW, Filho EBB. Estimativa da concentração média diária de material particulado fino na região do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Ceará, Brasil. *Cad. Saúde Pública* 2020; 36(7):e00177719
44. RUMO. [homepage na internet]. Nova operação de trem com 120 vagões da Rumo marca o início da safra plena de soja em Mato Grosso [acesso em 12 junho de 2024]. Disponível em: <https://rumolog.com>

45. Matos CA, Freitas ACV, Silva AML. Assessment of the Itabira/MG population discomfort level to atmospheric pollution. *Research, Society and Development*. 2023, 12: e7312239494.
46. Chura YRC, Carvalho RB, Marmett B, Amantéa SL, Rhoden CR. Percepção ambiental de alunos de ensino fundamental utilizando a temática da poluição atmosférica. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*. 2022; 17(5), 464–473.
47. Machado, M; Santos, JM; Borges, W. Estudo dos fatores determinantes do incômodo causado pela poluição de ar através de Survey. [Internet]. Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO). (2014). Disponível em: enegep2014_TN_STO_203_150_26240.pdf (abepro.org.br)
48. Kruger MFD, Rodrigues RA, Escobar CC, Correa EK. Atmospheric pollution perception of the Pelotas population/RS – Brazil on the topic. Pelotas (RS). *Revista Thema* 2019. Available from: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1532/1811>
49. Guimarães P, Rosario NE, Rizzo LV. Percepção da poluição do ar por comerciários no município de Diadema, na região metropolitana de São Paulo. *RBCIAMB* 2019. 51:112-127.
50. Gupta S, Sharma SK, Tiwari P, Vijayan N. Insight Study of Trace Elements in PM_{2.5} During Nine Years in Delhi, India: Seasonal Variation, Source Apportionment, and Health Risks Assessment. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2024; May;86(4):393-409.
51. de Miguel-Díez J, Hernández-Vázquez J, López-de-Andrés A, Álvaro-Meca A, Hernández-Barrera V, Jiménez-García R. Analysis of environmental risk factors for chronic obstructive pulmonary disease exacerbation: A case-crossover study (2004-2013). *PLoS One*. 2019; 23;14(5):e0217143.
52. Jereb B, Gajšek B, Šipek G, Kovše Š, Obrecht M. Traffic Density-Related Black Carbon Distribution: Impact of Wind in a Basin Town. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 16;18(12):6490.
53. Sarra, SR; Mulfarth, RCK. Atmospheric pollution in the city of Santos (State of São Paulo - Brasil) and its impacts on health. *Brazilian Journal of Development*. 2021; 7(11), 101963–101981.
54. CETESB [homepage na internet]. Avaliação da qualidade do ar no município de Santos [acesso em 27 mar 2005]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/Relat%C3%B3rio-Santos-2015.pdf>

10. ANEXOS

10.1 ANEXO I (Questionário)

QUESTIONÁRIO

Nome do Entrevistado: _____

Celular para Contato: _____

Você aceita responder novamente essa pesquisa no verão? SIM Não

CEP de residência _____

Idade em anos: _____

Estado civil: solteiro casado União estável divorciado Viúvo

Profissão? _____

Quantas horas permanece em casa diariamente? _____

Fumante: Sim. Não

Escolaridade do Entrevistado?

1. Não estudou
2. Ensino Fundamental Incompleto.
3. Ensino Fundamental Completo.
4. Ensino Médio/ Técnico Incompleto.
5. Ensino Médio/ Técnico Completo.
6. Ensino Superior Incompleto.
7. Ensino Superior Completo.
9. NS/NR

- Nada exposto
- Pouco exposto
- Mais ou menos exposto
- Muito exposto
- Extremamente exposto
- Não sei responder

Somando a renda de todas as pessoas que residem com o(a) Sr(a), qual é aproximadamente a renda familiar?

1. Até 3 SM (até R\$ 1.635,00).
2. De 3 SM até 10 SM (de R\$ 1.636,00 até R\$ 5.450,00).
3. De 10 SM até 20 SM (de R\$ 5.451,00 até R\$ 10.900,00).
4. De 20 SM até 50 SM (de R\$ 10.901,00 até R\$ 27.250,00).
5. Acima de 50 SM (mais de R\$ 27.250,00).
9. NS/NR.

Como o(a) Sr(a). avalia a qualidade do ar em seu bairro/região?

- Péssima
- Ruim
- Regular
- Boa
- Excelente
- Não sei responder

PERCEPÇÃO E INTENSIDADE DO INCÔMODO

Em relação à poluição do ar, como o(a) Sr(a). está se sentindo agora:

- Nada incomodado
- Pouco incomodado
- Moderado incômodo
- Muito incomodado
- Extremamente incomodado
- Não sei responder

O(A) Sr(a) percebe a poluição do ar através de quais dessas situações?

- Depósitos de pó, partículas, flocos, etc.
- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

- Pela presença de odores de veículos, chaminés, resíduos industriais,

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

Em relação à poluição do ar, na sua casa, como o(a) Sr(a). Se sente?

Pela opacidade, turvamento, escurecimento, enfumacamento do ar.

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

CONSEQUÊNCIAS DA POLUIÇÃO

A poluição do ar leva o(a) Sr(a) a:

- Limpar a casa para a retirada da poeira:

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

- Não deixar as janelas da casa abertas por causa da poeira:

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

- Não deixar a roupa secando/tomando sol fora de casa por causa da poeira:

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

- Limitar as brincadeiras das crianças fora de casa por causa da poeira:

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

- Evitar frequentar os espaços públicos (praças, ruas, etc.) por causa da poeira:

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

- Ir ao médico, posto de saúde, hospital, etc. por causa da poeira:

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

Outro tipo de limitação ou incômodo:

Com que frequência o(a) Sr(a) ou alguém que mora na sua casa tem problemas de saúde causado(s) pela poluição do ar?

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Frequentemente
- Sempre
- Não sei responder

- Qual ou quais problema(s) principal(is)?

- Irritação no ouvido
- Cansaço
- Sinusite
- Pele seca/descamação da pele
- Falta de ar / dificuldade de respirar
- Irritação na garganta
- Alergia
- Tosse seca
- Ardor e irritação nos olhos
- Rinite
- Irritação no nariz
- Nenhum
- Outro

10.2 ANEXO II - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)



Universidade Metropolitana de Santos - UNIMES
Comitê de Ética em Pesquisa

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – (TCLE)

TÍTULO DA PESQUISA: Avaliação da percepção da poluição atmosférica pelos moradores da região portuária de Santos

Número do CAAE:

Você está sendo convidado(a) a participar como voluntário de uma pesquisa cujo título é: “**Avaliação da percepção da poluição atmosférica pelos moradores da região portuária de Santos.**”. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos e é elaborado em duas vias, assinadas e rubricadas pelo pesquisador e pelo participante/responsável legal, sendo que uma via deverá ficar com você e outra com o pesquisador.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo na forma como é atendido se você não autorizar a publicação do seu caso ou retirar o consentimento a qualquer momento.

Justificativa e objetivos:

O objetivo deste estudo é avaliar a percepção da população moradora da região portuária sobre a poluição atmosférica.

Procedimento:

Na sua participação você responderá um questionário com perguntas sobre o perfil socioeconômico e a sua percepção sobre a poluição atmosférica.

Desconfortos e riscos:

O risco nesta pesquisa poderá ser considerado mínimo, no sentido de você se sentir cansado quando estiver respondendo o questionário. O voluntário poderá parar e combinar com o pesquisador/entrevistador o retorno. Compreenderemos caso queira deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou coação.

Benefícios:

Os benefícios não são diretos a você. A sua participação contribuirá para a construção do conhecimento científico sobre o efeito da poluição atmosférica na população da região portuária de Santos.

Acompanhamento e assistência

A qualquer momento, antes, durante ou até o término da pesquisa, nos colocamos a disposição para o esclarecimento de qualquer dúvida sobre a pesquisa.



Universidade Metropolitana de Santos - UNIMES
Comitê de Ética em Pesquisa

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E
ESCLARECIDO – (TCLE)**

Sigilo e privacidade

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo. Os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins da pesquisa e que poderão ser apresentados em eventos de natureza científica e/ou publicados, sem revelar a identidade dos participantes.

Ressarcimento e indenização

Caso esta pesquisa cause, comprovadamente, qualquer custo ou dano procure o pesquisador responsável a fim de ressarcimento ou possível indenização.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, se precisar consultar esse registro de consentimento ou quaisquer outras questões, você poderá entrar em contato com os pesquisadores:

Nome do pesquisador responsável: Edgar Maquigussa
Endereço: Alameda das Boninas 306 – apto 103
E-mail: edgarmaquigussa@gmail.com

Nome do discente pesquisador: Persio Paiva de Torre
Endereço: Rua João Guerra, 215 - Macuco - 11.035-131 - Santos/SP
Telefone: (13) 99781-4446
E-mail: persiotorre@hotmail.com

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do relato de caso, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNIMES pelo telefone (13) 3228-3400, ramal 3506, entre segunda e sexta-feira em horário comercial ou no endereço Avenida Conselheiro Nébias, 536, 2. Andar. Bairro Encruzilhada, Santos-SP ou pelo e-mail cpq@unimes.br

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, procedimentos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incomodo que este estudo pode acarretar, aceito participar.

Nome do (a) participante: _____

Data: ____/____/____.

(Assinatura do participante)

REBRICADO PARTICIPANTE DE PESQUISA

REBRICADO PESQUISADOR



Universidade Metropolitana de Santos - UNIMES
Comitê de Ética em Pesquisa

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E
ESCLARECIDO – (TCLE)**

Responsabilidade do Pesquisador:

Assegura ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

_____ Data: ____ / ____ / ____
(Assinatura do pesquisador)

10.3 ANEXO III - APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA

UNIVERSIDADE
METROPOLITANA DE SANTOS
- UNIMES



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação da percepção da poluição atmosférica pelos moradores da região portuária de Santos

Pesquisador: EDGAR MAQUIGUSSA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 70567423.8.0000.5509

Instituição Proponente: CENTRO DE ESTUDOS UNIFICADOS BANDEIRANTE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.144.339

Apresentação do Projeto:

o projeto apresenta a

***Hipótese:**

A qualidade do ar depende de diversos fatores, e na região portuária de Santos, o crescente fluxo de navios, mercadorias transportadas e tráfego de caminhões trouxe consigo o revés da maior emissão de poluentes atmosféricos na região. Entretanto, o incômodo da poluição atmosférica e seus impactos na saúde da população depende de cada morador da região afetada pela poluição. Nossa hipótese é que o incômodo da poluição atmosférica seja maior na região portuária de Santos.

Objetivo Primário:

O objetivo deste projeto é avaliar a percepção da poluição atmosférica por moradores da região de Santos, e seus efeitos na saúde dessa população.

Metodologia Proposta:

Dados da poluição atmosférica. Dados diários de poluição do ar serão coletados do site CETESB-QUALAR que analisa a qualidade do ar em tempo real. Os dados serão coletados de 2 estações localizadas em Santos (Boqueirão-Santos e Ponta da Praia). Serão coletados os valores de

Endereço: Av Conselheiro Nébias 536
Bairro: Encruzilhada **CEP:** 11.045-002
UF: SP **Município:** SANTOS
Telefone: (13)3228-3400 **Fax:** (13)3226-3400 **E-mail:** fernanda.agnelli@unimes.br

Continuação do Parecer: 6.144.330

concentração de NO₂, SO₂, MP₁₀ e MP_{2,5}, de acordo com a disponibilidade de cada estação. Pesquisa de levantamento ou survey A pesquisa de opinião ou levantamento será realizada através de entrevista presenciais com aplicação de um questionário (Anexo 1) realizado no Google Forms (Google) durante as estações de inverno e verão, para avaliar o efeito da sazonalidade na percepção da poluição atmosférica. A amostra será

constituída com base em uma malha amostral de 100 moradores acima de 18 anos e moradores das regiões a serem estudadas pelo projeto. Todos os participantes que concordarem em responder os questionários preencherão o TCLE (Anexo II). O trabalho será submetido ao Comitê de Ética da Universidade Metropolitana de Santos (CEP - UNIMES) segundo Resolução 468/12 da Comissão Nacional de Saúde.

Tamanho da Amostra no Brasil: 100*

As informações foram extraídas de: Data de Submissão do Projeto: 26/08/2023 Nome do Arquivo: PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2158456.pdf Versão do Projeto: 2

Objetivo da Pesquisa:

*Objetivo Primário:

O objetivo deste projeto é avaliar a percepção da poluição atmosférica por moradores da região de Santos, e seus efeitos na saúde dessa população."

As informações foram extraídas de: Data de Submissão do Projeto: 26/08/2023 Nome do Arquivo: PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2158456.pdf Versão do Projeto: 2

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

*Riscos:

O risco nesta pesquisa poderá ser considerado mínimo, no sentido de você se sentir cansado quando estiver respondendo o questionário. O voluntário poderá parar e combinar com o pesquisador/entrevistador o retorno. Compreenderemos caso queira deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou coação.

Benefícios:

Os benefícios não são diretos a você. A sua participação contribuirá para a construção do conhecimento científico sobre o efeito da poluição atmosférica na população da região portuária de Santos."

Endereço: Av Conselheiro Nébias 536
Bairro: Encruzilhada CEP: 11.045-002
UF: SP Município: SANTOS
Telefone: (13)3228-3400 Fax: (13)3226-3400 E-mail: fernanda.agnelli@unimes.br

Continuação do Parecer: 6.144.330

As informações foram extraídas de: Data de Submissão do Projeto: 26/06/2023 Nome do Arquivo: PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2156456.pdf Versão do Projeto: 2

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

"O maior porto da América Latina, localizado na cidade de Santos, tem elevado tráfego de navios o que contribui para a geração de poluentes atmosféricos, além disso, a presença de algumas atividades de armazenamento, principalmente com relação aos granéis sólidos geram emissão de grandes quantidades de MP. Este projeto tem como objetivo principal avaliar a percepção da poluição atmosférica pelos moradores da região portuária de Santos."

As informações foram extraídas de: Data de Submissão do Projeto: 26/06/2023 Nome do Arquivo: PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2156456.pdf Versão do Projeto: 2

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto; ok

Projeto; ok

TCLE; ok

PB Informações básicas; ok

Cronograma; ok

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Solicitações revisadas e de acordo.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2156456.pdf	26/06/2023 23:23:07		Aceito
Outros	Carta_ao_CEP_Perslo.pdf	26/06/2023 23:22:25	EDGAR MAQUIGUSSA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_paralelo_Perslo.pdf	26/06/2023 23:20:14	EDGAR MAQUIGUSSA	Aceito
Cronograma	Cronograma_Perslo.pdf	26/06/2023 23:10:28	EDGAR MAQUIGUSSA	Aceito

Endereço: Av Conselheiro Nébias 536
Bairro: Encruzilhada CEP: 11.045-002
UF: SP Município: SANTOS
Telefone: (13)3226-3400 Fax: (13)3226-3400 E-mail: fernanda.agnelli@unimes.br

UNIVERSIDADE
METROPOLITANA DE SANTOS
- UNIMES



Continuação do Parecer: 6.144.330

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Poluicao_atmoseica.pdf	07/06/2023 18:05:36	EDGAR MAQUIGUSSA	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	07/06/2023 18:02:10	EDGAR MAQUIGUSSA	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

SANTOS, 27 de Junho de 2023

Assinado por:
Marcela Leticia Leal Gonçalves
(Coordenador(a))

Endereço: Av Conselheiro Nébias 536
Bairro: Encruzilhada CEP: 11.045-002
UF: SP Município: SANTOS
Telefone: (13)3228-3400 Fax: (13)3226-3400 E-mail: fernanda.agnelli@unimes.br

10.4 ANEXO IV (Produto I: Estratégias Científicas para a Educação Ambiental no Ensino Fundamental: Um manual Prático)

Estratégias Científicas para a Educação Ambiental no Ensino Fundamental: Um Manual Prático

Universidade Metropolitana de Santos
Mestrado Profissional em Saúde e Meio Ambiente

**Estratégias Científicas para a Educação Ambiental no Ensino
Fundamental: Um Manual Prático**

Elaboração:

Persio Paiva de Torre

Elizabeth Barbosa de Oliveira Salles

Mirian Aparecida Boim

Edgar Maquigussa

Santos

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Estratégias científicas para a educação ambiental
no ensino fundamental [livro eletrônico] :
um manual prático / Persio Paiva de
Torre...[et al.]. -- 1. ed. -- Santos, SP :
Ed. dos Autores, 2024.

PDF

Outros autores: Elizabeth Barbosa de Oliveira
Salles, Mirian Aparecida Boim, Edgar Maquigussa.
Bibliografia.

ISBN 978-65-01-27907-7

1. Aprendizagem ativa 2. Educação ambiental
(Ensino fundamental) 3. Educação científica
4. Estratégia de aprendizado 5. Pesquisa científica
I. Torre, Persio Paiva de. II. Salles, Elizabeth
Barbosa de Oliveira. III. Boim, Mirian Aparecida.
IV. Maquigussa, Edgar. V. Título.

24-245543

CDD-372.357

Índices para catálogo sistemático:

1. Educação ambiental : Ensino fundamental 372.357

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

ISBN nº 978-65-01-27907-7

Apresentação

As abordagens de aprendizagem ativa centradas no aluno são práticas de alto impacto que aumentam o sucesso e a retenção do conteúdo pelos alunos. Dentre as diversas metodologias ativas, as aulas práticas através da realização de experimentos ajudam a inserir o aluno na pesquisa científica.

As tendências atuais na educação científica apoiam a hipótese de que o envolvimento dos alunos em projetos de pesquisa irá promover o interesse dos alunos e o domínio de conteúdo científico sofisticado; ajudar os alunos a desenvolver habilidades de processo científico; e ajudar os alunos a ganhar maior familiaridade com a cultura científica.

Dessa forma a iniciação científica (IC) no ensino fundamental é a primeira porta para a inserção da pesquisa científica no mundo acadêmico. A IC envolve inicialmente a formulação de problemas, o levantamento de hipóteses, e o desenho experimental para testar a hipótese. A IC pode ser realizada nos diversos temas e matérias escolares. Este manual tem o objetivo de inserir a pesquisa científica no estudo da poluição atmosférica.

A educação ambiental visa desenvolver habilidades de pensamento crítico nos estudantes, capacitando-os a se posicionar adequadamente sobre questões relacionadas à interação com o meio ambiente e que, de forma inevitável, terão impacto na sociedade a longo prazo. Para enfrentar as mudanças futuras, é necessário preparar os jovens inserindo as pautas climáticas no currículo educacional, o que promove uma postura crítica e uma reflexão científica em relação à poluição ambiental.

Esse manual apresenta 2 experimentos que podem ser utilizados para a educação ambiental e inserir a IC em alunos do ensino fundamental.

Os métodos de ensaio foram desenvolvidos em laboratório acadêmico para as escolas que desejam implementar a habilidade científica na avaliação das emissões de poluentes atmosféricos em diferentes localidades.

ANÁLISE QUALITATIVA DE MATERIAL PARTICULADO (MP) EM TECIDO DE ALGODÃO

Introdução

A poluição atmosférica está relacionada com diversas doenças respiratórias. Mais de 90% da população mundial vive em regiões com ar poluído. Um dos principais poluentes atmosféricos é o material particulado (MP). O MP é classificado de acordo com seu tamanho, e pode interagir diretamente com o organismo. A queima de combustível fóssil é a principal fonte de MP em grandes cidades.

Objetivo

O objetivo desta análise qualitativa é identificar a poluição atmosférica e examinar as possíveis fontes de emissão em diferentes localidades, por meio da comparação do tecido antes e depois da impregnação por material particulado (MP).

Metodologia

Material Necessário:

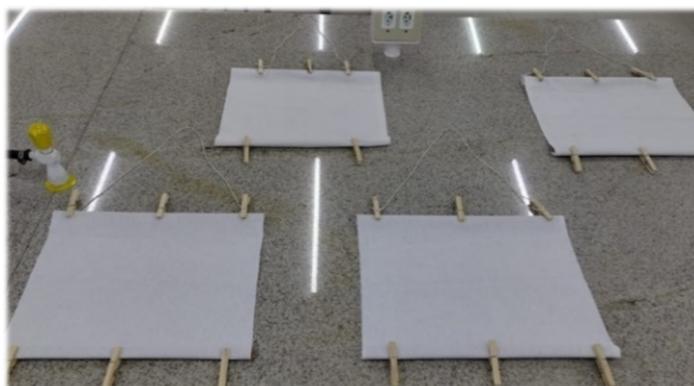
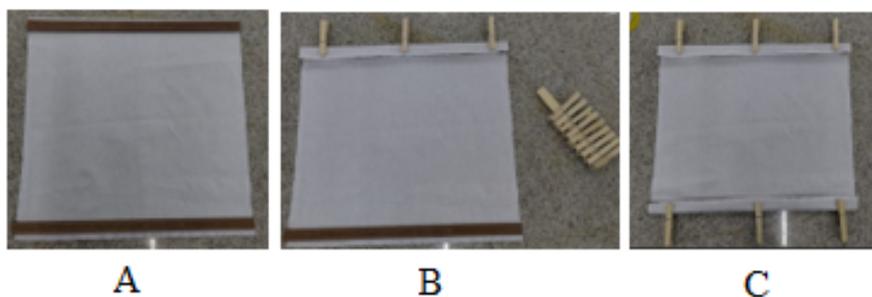
- Tecido branco de algodão (novo);
- Ripas de madeira fina e prendedores;
- Régua ou fita métrica;
- Diário para anotações - Anexo 01;
- Câmera (opcional, para documentar visualmente).



Procedimento:

I. Preparação do tecido:

- Corte um pedaço de tecido de algodão branco (novo) de tamanho de 30 cm x 30 cm;
- Certifique-se de que o tecido esteja limpo e sem manchas antes de começar o experimento;
- Adapte prendedores às ripas e faça uma dobra na extremidade superior e inferior, conforme a sequência nas imagens A, B e C abaixo:



II. Fixação do tecido:

- Escolha diferentes locais para expor os tecidos (por exemplo, próximo a uma estrada movimentada, em um parque, em uma área residencial etc.);
- Coloque um tecido em um ambiente fechado (pode ser dentro de um armário) para ser utilizado como controle.
- Prenda o tecido em uma superfície vertical (como uma parede, poste ou cerca);
- Certifique-se de que o tecido esteja esticado e firme para evitar que se mova com o vento;
- Meça a altura a partir do solo e anote a localização e a altura de cada tecido no seu diário.



III. Exposição:

- Deixe o tecido exposto ao ar livre por um período específico (ideal acima de 2 semanas), dependendo da intensidade da poluição que você espera capturar;
- Evite expor os tecidos em condições climáticas adversas, como chuva, que podem afetar os resultados.

IV. Coleta e Observação:

- Após o período de exposição, recolha os tecidos cuidadosamente para evitar a perda de partículas;
- Coloque cada tecido em uma superfície limpa e plana para observação;
- Compare visualmente os tecidos expostos em diferentes locais. Procure por diferenças na coloração e na quantidade de partículas visíveis.

V. Análise:

- Tire fotos dos tecidos para documentar as diferenças;
- Anote suas observações no diário, incluindo a quantidade e o tipo de partículas visíveis a olho nu (como poeira, fuligem etc.), no formulário Anexo I.
- Compare a região que onde foi colocado cada pano. Por exemplo: diferença de tráfego de automóveis; presença de indústria, região urbana, região industrializada etc.
- É importante anotar as condições climáticas durante o experimento, para avaliar possível influência do clima na poluição atmosférica.

Resultados

- Compare os resultados obtidos nos diferentes locais com o tecido Controle (pano limpo e não exposto ao MP);
- Discuta possíveis fontes de poluição nos locais onde os panos ficaram mais sujos.



Controle

Ambiente externo

Dicas Adicionais:

- Se desejar uma análise mais detalhada, você pode usar uma lupa ou microscópio para observar as partículas de poluição no pano.
- Repita o experimento em diferentes épocas do ano para avaliar variações sazonais na poluição atmosférica.
- Considere fazer o experimento em alturas diferentes para avaliar a distribuição vertical das partículas.

Local da coleta: _____

Altura: _____

Data: _____ Hora: _____

Período de monitoramento: De: _____ a _____.

Observações:

ANÁLISE MICROSCRÓPICA DE MP ADERIDO À VASELINA

Introdução

A poluição atmosférica está relacionada com diversas doenças respiratórias. Mais de 90% da população mundial vive em regiões com ar poluído. Um dos principais poluentes atmosféricos é o material particulado (MP). O MP é classificado de acordo com seu tamanho, e pode interagir diretamente com o organismo. Os veículos automotivos são os principais geradores desse poluente.

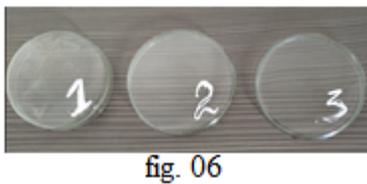
Objetivo

O objetivo dessa análise qualitativa é de perceber a poluição atmosférica de agentes poluidores e discutir a respeito das prováveis fontes geradoras, através do auxílio do microscópio.

Metodologia

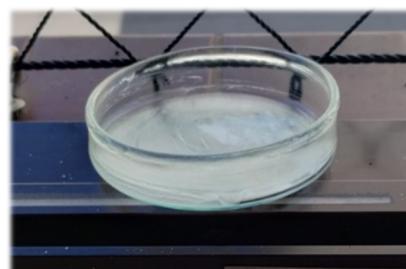
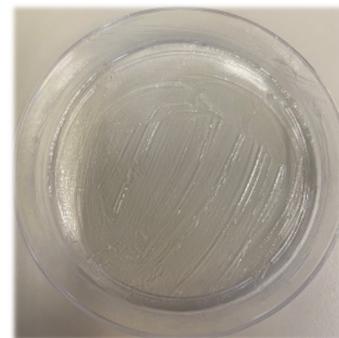
Material Necessário:

- Placas de Petri (fig. 06);
- Vaselina (fig. 07);
- Lupa ou microscópio (fig. 08).



Procedimento

- Espalhe uma fina camada de vaselina na superfície das placas de Petri.
- Coloque as placas de Petri em diferentes locais ao ar livre (por exemplo, próximo a uma estrada movimentada, em um parque etc.).
- Deixe as placas expostas por um período específico (no mínimo por 24 h).
- Coloque uma placa em um ambiente fechado (pode ser dentro de um armário) para ser utilizado como controle.
- Após o período de exposição, recolha as placas de Petri.
- Use uma lupa ou microscópio para observar e contar as partículas de poluição que aderiram à vaselina.



Análise

- Analise a placa controle (placa somente com vaselina, sem exposição ao MP);
- Tire as fotos da placa Controle e da placa exposta;
- Compare as imagens para observar as diferenças entre a quantidade de poluentes aderidas a placa.
- Anote suas observações no formulário, incluindo a quantidade e o tipo de partículas visíveis a olho nu (como poeira, fuligem etc.), no formulário Anexo II.
- É importante anotar as condições climáticas durante o experimento, para avaliar possível influência do clima na poluição atmosférica.

Resultados

- Compare os resultados obtidos nos diferentes locais;
- Discuta possíveis fontes de poluição nos locais onde os panos ficaram mais sujos.

Visão das placas

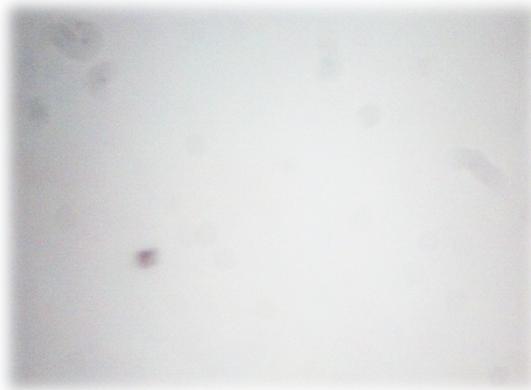


Placa controle (sem exposição)



Placa – Ambiente externo

Visão das placas (microscópica)



Placa controle (sem exposição)



Placa – Ambiente externo

ANEXO II

Local da coleta: _____

Altura: _____

Data: _____ Hora: _____

Período de monitoramento: De: _____ a _____.

Observações:

10.5 ANEXO V (Produto II: Capítulo de Ebook)

CAPÍTULO 2 - PAPEL DO MATERIAL PARTICULADO SOBRE OS PROCESSOS INFLAMATÓRIOS E OXIDATIVOS EM CÉLULAS PULMONARES

Pérsio Paiva de Torre¹, Fernando Oliveira dos Santos², Elizabeth Barbosa de Oliveira Sales³, Mirian Aparecida Boim³, Edgar Maquigussa³

1. Mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Saúde e Meio Ambiente da Universidade Metropolitana de Santos (UNIMES)

2. Discente do curso de Medicina da UNIMES

3. Docente do curso de Medicina e Orientador do Programa de Mestrado Profissional em Saúde e Meio Ambiente da UNIMES.

A poluição do ar representa um problema crítico de saúde pública, pois 4,2 milhões mortes a cada ano são atribuíveis à poluição do ar e 91% da população global vive em regiões onde a qualidade do ar excede a Diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 2005¹.

A OMS estimou que cerca de 65 milhões de pessoas sofrem de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e 334 milhões de asma, que é a doença mais comum entre os desfechos respiratórios. Além disso, as infecções do trato respiratório inferior são uma das causas mais comuns de morte, levando a 2,7 milhões de mortes em todo o mundo, especialmente entre crianças menores de 5 anos, com 700 mil mortes².

O ar atmosférico é composto por diversas substâncias, e os seis principais poluentes são: material particulado (PM), ozônio, monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e chumbo (Pb). A poluição do ar pode ter um efeito desastroso em todos os componentes do meio ambiente, incluindo lençóis freáticos, solo e ar. A chuva ácida, o aquecimento global, o

efeito estufa e as mudanças climáticas têm um impacto ecológico importante na poluição do ar³.

Dentre os principais poluentes, o material particulado (MP) é considerado uma das principais substâncias nocivas do ar atmosférico. O MP é normalmente formado na atmosfera como resultado de reações químicas entre os diferentes poluentes. A poluição por MP inclui partículas com diâmetros de 10 micrômetros (μm) ou menores, chamadas MP_{10} , e partículas extremamente finas com diâmetros de 2,5 micrômetros (μm) ou menores, denominadas $\text{MP}_{2,5}$, sendo que os efeitos patológicos do MP dependem diretamente de seu tamanho⁴. As partículas menores podem ter um efeito pior por terem acesso praticamente todas às regiões do pulmão, incluindo os alvéolos, resultando em severos processos inflamatórios.

Estudos demonstram que o $\text{MP}_{2,5}$, uma vez inalado pode causar uma resposta inflamatória pulmonar aguda através da liberação de diversos fatores pró-inflamatórios⁵. Além disso o MP pode induzir a produção de radicais livres, resultando no estresse oxidativo em células de brônquios⁶ e de células alveolares *in vitro*⁷. Embora existam muitas teorias sobre a patogênese do $\text{MP}_{2,5}$, o mecanismo e seus efeitos especificamente sobre os pulmões ainda precisam ser mais explorados. Apesar de alguns estudos já terem avaliado o papel do $\text{MP}_{2,5}$ sobre o epitélio pulmonar, seus efeitos podem variar muito, pois, a composição do material particulado depende muito da fonte emissora. O $\text{MP}_{2,5}$ tem o poder de carrear diversas substâncias, e contém compostos orgânicos (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), compostos inorgânicos (sulfato, nitrato, sal de amônio, metais pesados e minerais), e micro-organismos como bactérias e vírus⁸.

Os mecanismos moleculares da toxicidade pulmonar induzida pela poluição atmosférica são complexos e ainda não é totalmente compreendido. Os dados sugerem que existe uma relação plausível entre toxicidade celular e ativação de múltiplos processos biológicos, incluindo respostas pró-inflamatórias, estresse oxidativo, lesão mitocondrial, apoptose e transição epitélio-mesenquimal (TEM). A TEM é um processo celular normal que desempenha um papel importante durante

o desenvolvimento e reparação de tecidos danificados. No entanto, a indução exacerbada da TEM resulta em fibrose do órgão. A TEM é um processo pelo qual as células epiteliais perdem sua polaridade celular e as junções celulares, reorganizam o citoesqueleto e adquirem características mesenquimais, incluindo aumento dos potenciais invasivos e migratórios⁹. A regulação negativa da E-caderina, uma importante proteína de adesão célula-célula, é uma característica da TEM. Além disso, a repressão de marcadores epiteliais como claudinas, ocludinas e desmoplaquinas, causando a dissolução das junções aderentes é comumente observada durante a TEM. A regulação negativa de marcadores epiteliais é acompanhada pela regulação positiva de marcadores mesenquimais, incluindo fibronectina, vimentina, α -actina de músculo liso (α -SMA) e desmina¹⁰⁻¹¹.

A exposição do pulmão ao MP também ativa diversas vias inflamatórias. As células epiteliais alveolares iniciam a resposta inflamatória através do contato direto com o MP_{2,5}.¹² Esse fator irá estimular a produção de diversas citocinas pró-inflamatórias como, interleucina-1 (IL-1), IL-4, IL-12, interferon gama (IFN-gama) e o fator de necrose tumoral (TNF- α). O processo inflamatório também ocorre através de do aumento de células inflamatórias, um estudo observou que pulmão exposto ao MP apresentou aumento na contagem de neutrófilos, linfócitos, eosinófilos e macrófagos M1 e M2.¹³ A ativação do sistema inflamatório pode ativar o processo de fibrose pulmonar (15), através do aumento expressão do fator de crescimento transformador- β (TGF- β), um importante fator pró-fibrótico.¹⁴

O MP também é responsável pela ativação de vias oxidativas. Os efeitos oxidativos que o MP causa nas células pulmonares resultam em dano mitocondrial, ao retículo endoplasmático e ao DNA.¹⁵ A exposição dos pneumócitos ao MP resulta na expressão de espécies reativas de oxigênio (ERO), alterando o equilíbrio entre substâncias oxidantes a anti-oxidantes.¹⁶ O aumento das EROs estão relacionadas com a ativação de importantes vias, como a via do NF- κ B. Essa via de sinalização está relacionada com processos de inflamação, apoptose, proliferação e diferenciação celular.¹⁷

Os efeitos da poluição do ar na população exposta têm sido objeto de muitas pesquisas em todo o mundo para correlacionar os efeitos fotoquímicos do ar e da saúde, o sistema respiratório e o agravamento de doenças alérgicas. Diversos estudos no mundo relacionaram o efeito dos poluentes atmosféricos com o aumento da incidência de diversas doenças respiratórias. Entretanto, é importante compreender os mecanismos moleculares envolvidos na fisiopatogênese das doenças respiratórias induzidas pelo material particulado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Internet]. Geneva: World Health Organization. 2021.
2. GBD 2016 Lower Respiratory Infections Collaborators. Estimates of the global, regional, and national morbidity, mortality, and aetiologies of lower respiratory infections in 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Infect Dis*. 2018; 18(11):1191-1210.
3. WHO. *Air Pollution*. WHO. Available online at: <http://www.who.int/airpollution/en/>
4. Wilson WE, Suh HH. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc*. 1997; 47:1238-49.
5. Zhou Z, Liu Y, Duan F, Qin M, Wu F, Sheng W, Yang L, Liu J, He K. Transcriptomic analyses of the biological effects of airborne PM_{2.5} exposure on human bronchial epithelial cells. *PLoS One*. 2015, 10(9) e0138267.
6. Zhou Y, Ma J, Wang B, et al. Long-term effect of personal PM_{2.5} exposure on lung function: a panel study in China. *J Hazard Mater*. 2020; 393:122457-122457.
7. R. Kalluri, R.A. Weinberg, The basics of epithelial-mesenchymal transition, *J. Clin. Invest*. 2009; 119(6):1420-1428.

Os efeitos da poluição do ar na população exposta têm sido objeto de muitas pesquisas em todo o mundo para correlacionar os efeitos fotoquímicos do ar e da saúde, o sistema respiratório e o agravamento de doenças alérgicas. Diversos estudos no mundo relacionaram o efeito dos poluentes atmosféricos com o aumento da incidência de diversas doenças respiratórias. Entretanto, é importante compreender os mecanismos moleculares envolvidos na fisiopatogênese das doenças respiratórias induzidas pelo material particulado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Internet]. Geneva: World Health Organization. 2021.
2. GBD 2016 Lower Respiratory Infections Collaborators. Estimates of the global, regional, and national morbidity, mortality, and aetiologies of lower respiratory infections in 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Infect Dis*. 2018; 18(11):1191-1210.
3. WHO. *Air Pollution*. WHO. Available online at: <http://www.who.int/airpollution/en/>
4. Wilson WE, Suh HH. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc*. 1997; 47:1238-49.
5. Zhou Z, Liu Y, Duan F, Qin M, Wu F, Sheng W, Yang L, Liu J, He K. Transcriptomic analyses of the biological effects of airborne PM_{2.5} exposure on human bronchial epithelial cells. *PLoS One*. 2015, 10(9) e0138267.
6. Zhou Y, Ma J, Wang B, et al. Long-term effect of personal PM_{2.5} exposure on lung function: a panel study in China. *J Hazard Mater*. 2020; 393:122457-122457.
7. R. Kalluri, R.A. Weinberg, The basics of epithelial-mesenchymal transition, *J. Clin. Invest*. 2009; 119(6):1420-1428.



CAPÍTULO 9 - EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE AS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Julliana F. Camara, Isabella T. Wintruff, Pésio P. de Torre, Thiago Z. Lima,
Elizabeth B. Oliveira-Sales, Mirian A. Boim, Edgar Maquigussa

INTRODUÇÃO

A poluição é definida como a introdução no meio ambiente de substâncias prejudiciais aos seres humanos e outros organismos vivos. Poluentes podem ser sólidos, líquidos ou gases nocivos produzidos em concentrações mais altas do que o normal e que reduzem a qualidade do meio ambiente. No que diz respeito aos humanos, um poluente do ar pode causar ou contribuir para um aumento em doenças graves ou na mortalidade, dessa forma, pode representar um perigo potencial para a saúde humana¹.

A emissão de substâncias poluentes no ar atmosférico pode ocorrer via fontes naturais (vulcões, incêndios), entretanto, as atividades antrópicas são a

principal causa da poluição do ar ambiente. Em grandes cidades, os veículos a combustão (automóvel, ônibus, caminhão etc.) lançam na atmosfera a maior parte dos produtos químicos perigosos, mas vários poluentes do ar são liberados de instalações industriais e podem causar efeitos adversos na saúde humana e no meio ambiente.

A poluição do ar é uma mistura de partículas, material particulado, e gases liberados na atmosfera principalmente por indústrias, veículos motorizados e usinas térmicas, bem como na queima de biomassa e combustíveis fósseis. Os poluentes podem ser classificados como primários ou secundários: os poluentes primários são lançados diretamente na atmosfera, enquanto os poluentes secundários resultam de reações químicas entre os poluentes primários². Esses e outros fatores afetam a saúde principalmente de crianças, idosos e de outros que fazem parte do grupo de risco.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) relata seis principais poluentes atmosféricos: material particulado (PM), ozônio, monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e chumbo (Pb). A poluição do ar pode ter um efeito desastroso em todos os componentes do meio ambiente, incluindo lençóis freáticos, solo e ar. Além disso, representa uma séria ameaça aos organismos vivos. A chuva ácida, o aquecimento global, o efeito estufa e as mudanças climáticas têm um impacto ecológico importante na poluição do ar¹.

O material particulado (MP) é normalmente formado na atmosfera como resultado de reações químicas entre os diferentes poluentes. A poluição por material particulado (MP) inclui partículas com diâmetros de 10 micrômetros (µm) ou menores, chamadas MP₁₀, e partículas extremamente finas com diâmetros de 2,5 micrômetros (µm) ou menores, denominadas MP_{2.5}. A penetração das partículas no organismo humano depende intimamente de seu tamanho³. Estudos têm mostrado uma relação entre MP e efeitos adversos à saúde, com foco na exposição a curto (agudo) ou longo prazo (crônica) ao MP⁴.

Numerosos estudos descrevem que todos os tipos de poluentes do ar, em alta concentração, podem afetar as vias aéreas. No entanto, efeitos semelhantes também são observados com a exposição a longo prazo de concentrações mais baixas de poluentes. Sintomas como irritação no nariz e garganta, seguidos de broncoconstrição e dispneia, especialmente em indivíduos asmáticos, são geralmente encontrados após exposição a níveis elevados de dióxido de enxofre⁵, óxidos de nitrogênio⁶ e certos metais pesados, como arsênio, níquel ou vanádio. Além disso, as partículas que penetram no epitélio alveolar⁷ e o ozônio iniciam a inflamação pulmonar⁸. Em pacientes com lesões pulmonares ou doenças pulmonares, a inflamação iniciada por poluentes piorará sua condição.

Dentre os principais poluentes, o MP é considerado uma das principais substâncias nocivas do ar atmosférico. O MP tornou-se um problema de saúde pública, sendo implicado como a causa de 4,24 milhões de mortes em 2015, 7,8% maior do que em 2005⁹. Em 2015, o MP foi classificado em 6º na lista dos 10 poluentes mais perigosos⁹. Muitos estudos epidemiológicos em todo o mundo têm abordado a correlação entre as concentrações de MP com as visitas ao hospital devido a doenças respiratórias^{10,11}. O MP pode interagir diretamente com o corpo humano, embora as partículas possam ser detectadas em muitos órgãos como os pulmões, fígado, rins, coração e cérebro, entretanto, devido a exposição, os pulmões são os principais locais de detecção¹². Por causa da heterogeneidade em seus produtos químicos e propriedades físicas, não há dose tóxica padrão para o MP. De acordo com Fann et al, mesmo a exposição ao MP em uma concentração abaixo dos padrões americanos, representa um risco significativo para a saúde¹³. Por causa de seus impactos substanciais na saúde, em 2006, as diretrizes de qualidade do ar da organização mundial de saúde (WHOAGG) estabeleceram PM_{2.5} como o principal indicador de poluição causada por partículas.

A toxicidade do MP surge de dois aspectos. Primeiro, os particulados podem penetrar na região dos alvéolos pulmonares e, assim, infiltrar o sistema circulatório

através da membrana respiratória^{14,15}. Em segundo lugar, as partículas podem absorver muitas outras substâncias tóxicas transportadas pelo ar em sua área de superfície, como metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e orgânicos e íons inorgânicos¹⁶.

Os efeitos da poluição do ar na população exposta têm sido objeto de pesquisas em todo o mundo para correlacionar os efeitos fotoquímicos do ar e da saúde, o sistema respiratório e o agravamento de doenças alérgicas. Gao et al. relatou que o mundo sofreu perdas econômicas de 129 bilhões de dólares em associação com as emissões de gases de efeito estufa em 2016¹⁷. Na Suíça, pesquisadores identificaram um aumento na incidência de asma em adultos que vivem em regiões de alto tráfego automotivo¹⁸. Gehring et al. associou o aumento nos níveis de $MP_{2,5}$ com um aumento da incidência de asma em crianças de oito anos¹⁹. Em Hong Kong, Ko et al. associaram o aumento da incidência de hospitalização de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) com poluentes ambientais, como SO_2 , NO_2 , $MP_{2,5}$ e MP_{10} ²⁰. Outro estudo também encontrou um aumento na incidência de hospitalizações por Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) com aumento das emissões de NO_2 em cidades na Dinamarca²¹. Nos EUA, Reis et al. observaram uma incidência muito alta de câncer de pulmão em cidades com concentrações de $PM_{2,5}$ acima de 28 ppb²⁰.

No Brasil, estima-se que uma média de 22.000 pessoas perdem suas vidas prematuramente a cada ano por causa da exposição a poluentes fora de casa, especialmente no ambiente urbano. De acordo com Organização Mundial da Saúde (OMS), esse número poderia atingir 36.000 pessoas/ano até 2040²². Estudos mais recentes sobre poluição do ar e seus efeitos na saúde humana em São Paulo forneceram consideráveis evidências de uma associação entre o aumento das internações hospitalares em indivíduos expostos a poluentes atmosféricos como O_3 , NO_2 , SO_2 , CO e MP inalável²³. De acordo com Bravo et al., mais de 99.000 mortes são atribuídas à poluição do ar a cada ano²⁴. Os veículos motorizados são principalmente responsáveis pelos altos índices de poluição do ar a que a

população de São Paulo está exposta. A poluição do ar estima-se que reduza a expectativa média de vida em São Paulo em cerca de 3,5 anos²⁵. Os indivíduos mais suscetíveis a doenças causadas por emissões de poluentes são crianças, idosos, pessoas com doenças crônicas e pessoas com suscetibilidade genética. Além disso, os poluentes podem afetar o feto humano durante a gravidez, causando retardo de crescimento intrauterino, prematuridade, baixo peso ao nascimento e, nos casos mais graves, anomalias congênitas e morte intrauterina ou perinatal²⁶. A exposição crônica a MP_{2,5} emitido por combustíveis fósseis, especialmente aqueles que contêm chumbo, aumenta o risco de doenças cardíacas e respiratórias e podem até evoluir para câncer de pulmão. O aumento da poluição do ar em grandes centros urbanos também foi associado a todos os fatores de risco para doenças cardiovasculares, como arritmia, vasoconstrição e aumento da pressão arterial, isquemia miocárdica e cerebral, e a progressão da arteriosclerose²⁷.

Diante do exposto, existe uma forte relação entre a qualidade do ar e a incidência de doenças respiratórias. E apesar da existência de um órgão que avalia os poluentes do ar, muitas vezes, a qualidade do ar está ruim ou péssima em diversos períodos do ano. Além disso, os efeitos da poluição no sistema respiratório podem ser devido a uma intoxicação aguda ou crônica. Dessa forma, os moradores e trabalhadores das regiões industrializadas são expostos a uma quantidade de poluentes por um longo período.

REFERÊNCIAS

1. WHO. *Air Pollution*. WHO. Available online at: <http://www.who.int/airpollution/en/>
2. Arbex, M.A.; Santos, U.P.; Martins, L.C.; Saldiva, P.H.N.; Pereira, L.A.A.; Braga, A.L.F. Air pollution and the respiratory system. *J. Bras. Pneumol.* 2012, 38, 643–655.
3. Wilson WE, Suh HH. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc.* 1997, 47:1238–49.
4. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A and Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front. Public Health.* 2020, 8:14.
5. Balmes, J.R., Fine, J.M., Sheppard, D. Symptomatic bronchoconstriction after short-term inhalation of sulfur dioxide. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1987, 136, 1117.
6. Kagawa, J. Evaluation of biological significance of nitrogen oxides exposure. *Tokai J. Exp. Clin. Med.* 1985, 10, 348.
7. Ghio, A.J., Huang, Y.C. Exposure to concentrated ambient particles (CAPs): a review. *Inhal. Toxicol.* 2004, 16, 53.
8. GBD. 2015 risk factors collaborators. global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2015: a systematic analysis for the global burden of disease study 2015. *Lancet.* 2016, 388:1659e1724.
9. Moustris KP, Ntouriou K, Nastos PT. Estimation of particulate matter impact on human health within the urban environment of Athens city, Greece. *Urban Sci.* 2017, 1:6.

19. Ko, F.W.; Tam, W.; Wong, T.W.; Chan, D.P.; Tung, A.H.; Lai, C.K.; Hui, D.S. Temporal relationship between air pollutants and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Hong Kong. *Thorac. Soc.* 2007, *62*, 780–785.
20. Andersen, Z.J.; Hvidberg, M.; Jensen, S.S.; Ketzel, M.; Loft, S.; Sørensen, M.; Tjønneland, A.; Overvad, K.; Raaschou-Nielsen, O. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution: A cohort study. *Am. J. of Respir. Crit. Med.* 2011, *183*, 455–461.
21. Reis, H.; Reis, C.; Sharip, A.; Reis, W.; Zhao, Y.; Sinclair, R.; Beeson, L. Diesel exhaust exposure, its multi-system effects, and the effect of new technology diesel exhaust. *Environ. Int.* 2018, *14*, 252–265.
22. WHO, World Health Organization. Air Quality Guidelines; Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide; World Health Organization: Copenhagen, Denmark, 2005.
23. Andrade, M.F.; Kumar, P.; Freitas, E.D.; Ynoue, R.Y.; Martins, J.; Nogueira, T.; Martinez, P.P.; Miranda, R.M.; Albuquerque, T.; Gonçalves, F.L.T.; et al. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. *Atmos. Environ.* 2017, *159*, 66.
24. Bravo, M.A.; Son, J.; De Freitas, C.U.; Gouveia, N.; Bell, M.L. Air pollution and mortality in São Paulo, Brazil: Effects of multiple pollutants and analysis of susceptible populations. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2016, *26*, 150–161.
25. Fajersztajn, L.; Veras, M.; Saldiva, P.H.N. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? *Estud. Avançados* 2016, *30*, 7–27.
26. Arbex, M.A.; Santos, U.P.; Martins, L.C.; Saldiva, P.H.N.; Pereira, L.A.A.; Braga, A.L.F. Air pollution and the respiratory system. *J. Bras. Pneumol.* 2012, *38*, 643–655.