

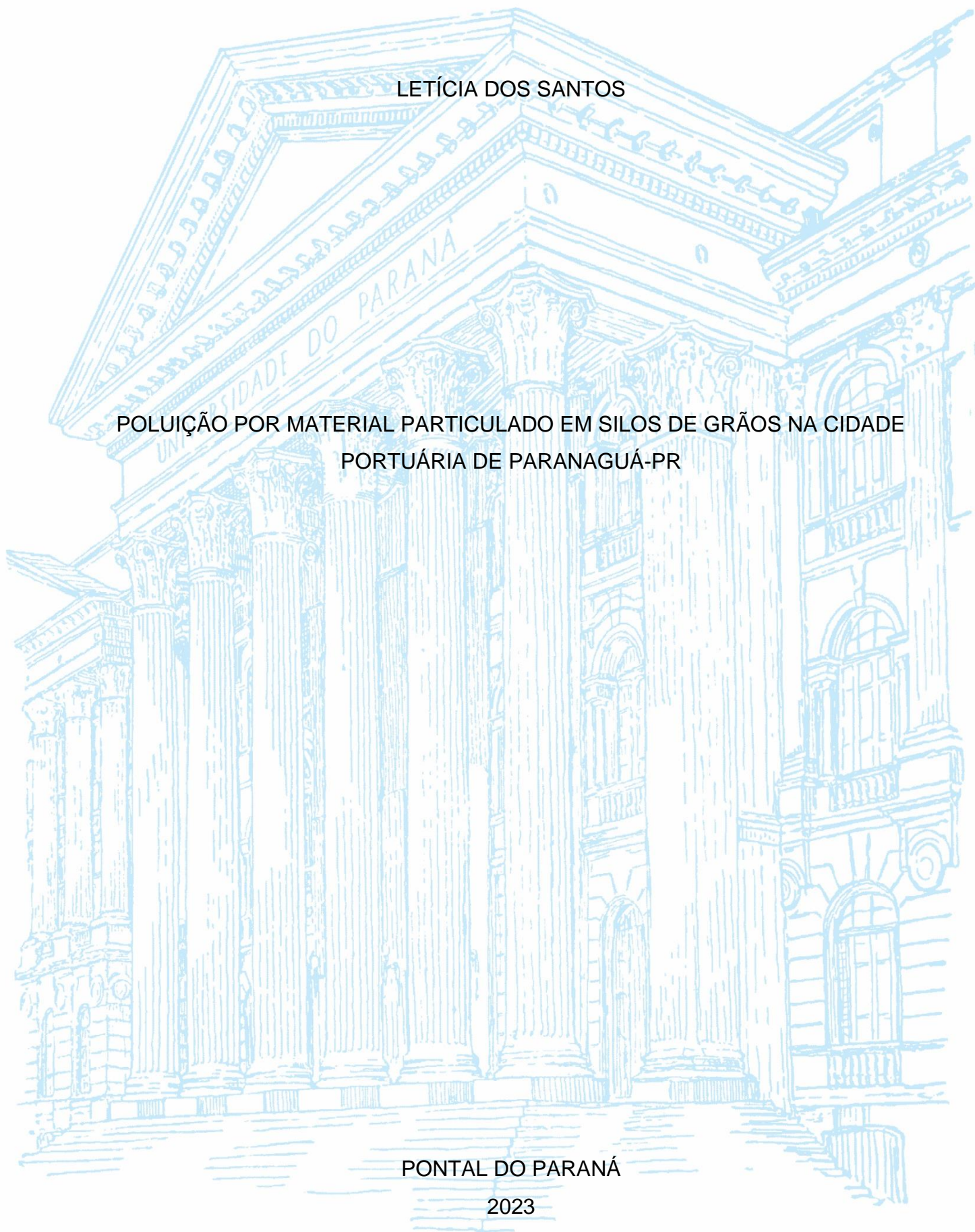
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LETÍCIA DOS SANTOS

POLUIÇÃO POR MATERIAL PARTICULADO EM SILOS DE GRÃOS NA CIDADE
PORTUÁRIA DE PARANAGUÁ-PR

PONTAL DO PARANÁ

2023



LETÍCIA DOS SANTOS

POLUIÇÃO POR MATERIAL PARTICULADO EM SILOS DE GRÃOS NA CIDADE
PORTUÁRIA DE PARANAGUÁ-PR

Trabalho apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centros de Estudos do Mar, Campus Pontal do Paraná, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Virnei Silva Moreira

PONTAL DO PARANÁ

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

Santos, Letícia dos
S237p Poluição por material particulado em silos de grãos na cidade portuária de Paranaguá -
PR. / Letícia dos Santos. – Pontal do Paraná, 2023.
1 arquivo [45 f.] : PDF.

Orientador: Prof. Dr. Virnei Silva Moreira.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do
Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

1. Ar – Poluição – Aspectos ambientais. 2. Silos. 3. Grãos – Armazenamento.
I. Moreira, Virnei Silva. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD – 363.73



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Avenida Deputado Aníbal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do Paraná/PR, CEP 83255-976
Telefone: 4135118600 - <http://www.ufpr.br/>

TERMO
TERMO DE APROVAÇÃO

Letícia dos Santos

**“POLUIÇÃO POR MATERIAL PARTICULADO EM SILOS DE GRÃOS NA CIDADE
PORTUÁRIA DE PARANAGUÁ - PR.”**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal do Paraná, pela Banca formada pelos membros:

Prof^a. Dra. Juliana Almansa Malagoli - CPP-CEM/UFPR

Prof^o Dr. Fernando Augusto Silveira Armani - CPP-CEM/UFPR

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira - CPP-CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 15 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **VIRNEI SILVA MOREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2023, às 15:21, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA ALMANSA MALAGOLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2023, às 15:26, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDO AUGUSTO SILVEIRA ARMANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2023, às 15:26, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5291378** e o código CRC **E8D998FC**.

Dedico este trabalho à minha mãe e minha irmã, as quais não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida, e à minha família, amigos, colegas e professores pelo incentivo e apoio constantes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde e força para superar todas as dificuldades encontradas no caminho.

A minha mãe Vera Lucia dos Santos, heroína que não mediu esforços para me apoiar e incentivar nas horas mais difíceis, de desânimo e cansaço.

A minha irmã Tatiane Aparecida Santos da Conceição, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu orientador, pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho e acima de tudo, por confiar no meu potencial.

Aos meus amigos e colegas de faculdade que me ajudaram a chegar até aqui, em especial às minhas companheiras durante todo o curso: Eduarda Miranda, Gabriele Dias, Giovana Caetano e Lizandra Thaís. A amizade de vocês foi incrível durante todos esses anos.

A Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina pela disponibilização dos dados, que foram imprescindíveis para o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos demais familiares e professores que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, gratidão!

*"A poluição, a ganância e a estupidez são as maiores ameaças ao planeta."
(Stephen Hawking, 1942-2018).*

RESUMO

Atualmente, uma das grandes ameaças à saúde humana é a poluição atmosférica, sendo que, o material particulado é considerado o poluente atmosférico que mais impacta negativamente a saúde da população. Os portos são responsáveis pelo aumento dos níveis de poluição do ar, especialmente em áreas costeiras, há muitos estudos sobre a poluição atmosférica proveniente de navios, mas poucas que tratam sobre as emissões de material particulado em locais de carga, descarga, transporte e armazenamento de cargas a granel. A cidade de Paranaguá abriga o maior porto graneleiro da América Latina, diante disso, há um aumento das emissões atmosféricas no município, que podem afetar direta ou indiretamente a população local e o meio ambiente da região. O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo sobre a poluição por material particulado (Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis e Partículas Inaláveis Finas) na região que estão localizados os silos de grãos e a área de exportação do Porto de Paranaguá, que ocorre as maiores movimentações de cargas a granel, e na zona residencial do município. Os dados de concentrações dos poluentes estudados foram disponibilizados pela Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina para o período entre março de 2016 e dezembro de 2021, esses dados foram analisados por estatística descritiva e por elaboração de gráficos a fim de comparar com os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005 e estão dispostos na Resolução CONAMA nº 491/2018. Os resultados demonstram que, na região portuária há maior emissão de material particulado, os quais excedem os valores definidos pela OMS, se comparado com a zona residencial.

Palavras-chave: Partículas Totais em Suspensão. Partículas Inaláveis. Partículas Inaláveis Finas. Silos de grãos. Área de exportação.

ABSTRACT

Currently, one of the greatest threats to human health is air pollution, and particulate matter is considered the air pollutant that most negatively impacts the health of the population. Ports are responsible for increasing the levels of air pollution, especially in coastal areas. There are many studies on air pollution from ships, but few that deal with emissions of particulate matter in places of loading, unloading, transport and storage of bulk cargo. The city of Paranaguá is home to the largest bulk port in Latin America, thus, there is an increase in atmospheric emissions in the municipality, which can directly or indirectly affect the local population and the environment of the region. The present work aims to study the pollution by particulate matter (Total Suspended Particles, Inhalable Particles and Fine Inhalable Particles) in the region where are located the grain silos and the exportation area of the Port of Paranaguá, which occurs the largest movements of bulk cargo, and in the residential area of the city. The data on concentrations of the pollutants studied were made available by the Administration of the Ports of Paranaguá and Antonina for the period between March 2016 and December 2021, these data were analyzed by descriptive statistics and the preparation of graphs in order to compare with the National Air Quality Standards established by the World Health Organization (WHO) in 2005 and are set out in CONAMA Resolution No. 491/2018. The results show that in the port region there is a higher emission of particulate matter, which exceed the values set by WHO, if compared to the residential area.

Keywords: Total Suspended Particles. Inhalable Particles. Fine Inhalable Particles. Grain silos. Exportation area.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DOS BERÇOS DO CORREDOR DE EXPORTAÇÃO.	24
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE PARANAGUÁ-PR.....	27
FIGURA 3 - PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DE PARANAGUÁ.....	29
FIGURA 4 - PONTOS ESCOLHIDOS PARA COMPARAÇÃO.....	30
FIGURA 5 - CONCENTRAÇÕES DE PTS NA ZONA PORTUÁRIA E NA ZONA RESIDENCIAL	34
FIGURA 6 - CONCENTRAÇÕES DE MP ₁₀ NA ZONA PORTUÁRIA E NA ZONA RESIDENCIAL	36
FIGURA 7 - CONCENTRAÇÕES DE MP _{2,5} NA ZONA PORTUÁRIA E ZONA RESIDENCIAL	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR	21
TABELA 2 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	31

LISTA DE SIGLAS

APPA	– Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina
CO	– Monóxido de carbono
CO ₂	– Dióxido de carbono
COREX	– Corredor de exportação
DDT	– Diclorodifeniltricloroetano
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MP	– Material Particulado
MP ₁	– Partículas Inaláveis Ultrafinas
MP ₁₀	– Partículas Inaláveis
MP _{2,5}	– Partículas Inaláveis Finas
NO	– Monóxido de nitrogênio
NO ₂	– Dióxido de nitrogênio
O ₂	– Gás oxigênio
O ₃	– Ozônio
PF	– Padrão de qualidade do ar final
PTS	– Partículas Totais em Suspensão
SO ₂	– Dióxido de enxofre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	HISTÓRICO AMBIENTAL	17
2.2	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	19
2.2.1	Fontes de poluição do ar	19
2.2.2	Poluentes atmosféricos	20
2.2.4	Padrões Nacionais de Qualidade do Ar	21
2.3	ATIVIDADE PORTUÁRIA	22
2.4	SILOS DE GRÃOS	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	ÁREA DE ESTUDO	27
3.2	DADOS	28
3.3	PONTOS DE MONITORAMENTO	28
3.4	FERRAMENTA ESTATÍSTICA	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A mudança climática e a poluição atmosférica são os dois maiores desafios do século XXI, pois afetam a saúde pública e causam preocupações aos países em desenvolvimento (MA *et al.*, 2023; XIAO; GAO, 2021). A poluição atmosférica proveniente da emissão de gases tóxicos e de materiais particulados (MP), seja de fontes naturais ou antrópicas, pode afetar tanto o equilíbrio climático, quanto a qualidade do ar (ARAUJO; ROSÁRIO, 2020; PINHEIRO; VENTURI; GALVANI, 2020).

Quando se fala sobre poluição atmosférica, os portos emitem tanto poluentes gasosos quanto particulados, sendo que, as principais fontes de MP são o transporte marítimo, a movimentação de cargas a granel e a ressuspensão de materiais soltos por meio do vento e/ou tráfego de veículos (ALASTUEY *et al.*, 2007; CLEMENTE *et al.*, 2021; PÉREZ *et al.*, 2016). Um estudo feito por Silva (2017) em Setubal, Portugal, constatou que houve um aumento significativo nas concentrações de MP durante as operações portuárias que envolvem a movimentação de cargas a granel.

Na cidade de Barcelona, na Espanha, um surto de asma acometeu a população local no período de 1981 a 1987. Diante disso, um trabalho desenvolvido por Antó *et al.* (1989) teve como objetivo associar o desembarque de 26 produtos de navios no porto e os surtos de asma entre 1985 e 1986. Sendo possível concluir que os surtos de asma em Barcelona foram causados pela inalação do pó de soja liberado durante o desembarque da mesma no porto da cidade, a liberação desse pó na atmosfera deu-se ao fato de que em um dos silos do porto havia a falta de filtros de manga. Após a identificação da relação entre o desembarque de soja no porto e os casos de asma, foram instalados filtros de manga nos silos, reduzindo expressivamente a emissão de poeira durante a atividade de descarga de soja no porto. Sendo possível verificar a necessidade de controle nas atividades portuárias que envolvem o manuseio de cargas a granel, a fim de reduzir as emissões de poluentes para a atmosfera, os quais trazem malefícios para a saúde dos trabalhadores do porto e para a saúde da população da região (ACEVES *et al.*, 1991).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as emissões de MP no porto de Paranaguá, mais especificamente na região em que ocorre as maiores movimentações de carga a granel da zona portuária, que é a região dos silos de grãos e do corredor de exportação (COREX).

1.1 JUSTIFICATIVA

O sistema de armazenamento de grãos traz inúmeros benefícios à sociedade, tal como na praticidade em estocar produtos para sua posterior comercialização, os silos movimentam grande quantidade de grãos, aumentando a circulação de pó e consequentemente afetando a respiração de trabalhadores que os operam, também levando a poeira do seu interior para o meio ambiente externo (MELLO, 2009). Em virtude disso, faz-se necessário um estudo sobre a emissão de materiais particulados que são emitidos nessas fontes, comparando as emissões nessa região e no entorno, para posteriormente avaliar os impactos negativos e verificar as melhorias que poderiam ser feitas acerca dos resultados obtidos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem o intuito de fazer um estudo sobre a concentração de MP, em que os escolhidos foram: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP_{10}) e Partículas Inaláveis Finas ($MP_{2,5}$). Objetivando-se analisar a poluição por MP na região em que se encontram os silos de grãos e o COREX e na zona residencial, comparando essas duas regiões.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a emissão de MP durante o período de março de 2016 a dezembro de 2021;
- Descrever e resumir as concentrações de poluentes através de estatística descritiva;
- Comparar as concentrações de MP na região em que estão os silos de grãos e o COREX, com a zona residencial do município, e com os padrões nacionais de qualidade do ar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados o histórico ambiental, a fim de demonstrar quando iniciaram as preocupações com o meio ambiente, especialmente com a poluição do ar, sua definição, as fontes de poluição atmosférica, os poluentes e os padrões nacionais da qualidade do ar, utilizados para comparar com as concentrações obtidas no monitoramento da APPA (Administração dos Portos de Paranaguá Antonina). E por fim, para embasar teoricamente a pesquisa sobre o Porto de Paranaguá, apresentam-se informações sobre atividades portuárias e silos de grãos, que são os escopos deste trabalho.

2.1 HISTÓRICO AMBIENTAL

Um dos elementos que mais têm sido atingido por atividades antrópicas é o ar, causando a poluição atmosférica, que foi agravada com a industrialização. A Revolução Industrial marcou profundas mudanças tecnológicas, ambientais e sociais. A saúde humana foi afetada de diversas maneiras em decorrência da mecanização das indústrias e da agricultura, da urbanização, do aumento da poluição e do crescimento populacional (BUCKBERRY; CRANE-KRAMER, 2022). Em virtude de alguns acontecimentos alarmantes que prejudicaram a vida humana e o meio ambiente, a título de exemplo a contaminação de rios, vazamento de produtos nocivos ao ecossistema e a perda de milhares de vidas, os governantes de todo o mundo começaram a trabalhar em medidas para prevenir e/ou remediar problemas posteriores (POTT; ESTRELA, 2017).

O primeiro marco do despertar da consciência ecológica foi em 1962 com a publicação do livro *Primavera Silenciosa*. Há 60 anos atrás Rachel Louise Carson fez uma acusação sobre o uso indiscriminado de pesticidas químicos, especialmente o DDT, juntamente com os riscos que eles apresentavam para as águas subterrâneas, o solo e as plantas (DAVIS, 2012a; DAVIS, 2012b). Com a necessidade de frear os danos ambientais futuros, líderes de diversos países realizaram conferências ambientais que resultaram em protocolos internacionais, aos quais precisam ser seguidos pelas nações que os assinaram.

A primeira conferência de grande porte planejada pela Organização das Nações Unidas foi a Conferência de Estocolmo, enorme marco ambiental

internacional, que aconteceu entre os dias 5 e 16 de junho de 1972. Para Le Preste (2005) foram quatro os motivos para a elaboração dessa conferência, aos quais são: (1) a preocupação com a qualidade e quantidade de águas disponíveis e também as mudanças climáticas; (2) a intensificação da publicidade acerca de problemas ambientais, causando mobilização internacional por conta de rápidas modificações de paisagens naturais e acidentes marítimos; (3) um crescimento econômico exacerbado, ao qual implicou no modo de vida de populações tradicionais, intensificando a urbanização e (4) os problemas ambientais já não eram mais somente de responsabilidade nacional, ultrapassando barreiras e fazendo-se necessário a cooperação internacional em busca da remediação, houveram incidência de chuvas ácidas, poluição dos mares e a aglomeração de metais pesados que eram impregnados em peixes e aves. Assim sendo, a conferência trouxe um reconhecimento das problemáticas ambientais e a necessidade de agir acerca dos fatos.

Após a comunidade científica ter o conhecimento da destruição da camada de ozônio e de seus efeitos ao ecossistema, deu-se início ao enfrentamento global dos problemas futuros, a começar pela Convenção de Viena, visando a proteção da ozonoesfera. Essa convenção ocorreu em 22 de março de 1985, sendo aperfeiçoada com o Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), que foi adotado em 16 de março de 1987 e entrou em vigor no dia primeiro de janeiro de 1989 (REI; FARIAS, 2017). O Protocolo teve como objetivo garantir a progressiva redução da produção e consumo dos SDOs do planeta, até alcançar sua total eliminação, obtendo melhora significativa nas concentrações atmosféricas destas substâncias. Em 1987 quando foi adotado o protocolo, a produção dos SDOs excedia 1,8 milhão de toneladas ao ano, a qual foi reduzida para 83.000 no ano de 2005 (REI; CARVALHO, 2012). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Protocolo de Montreal dividiu os SDOs em sete famílias, que são elas: (1) clorofluorcarbonos (CFCs); (2) hidroclorofluorcarbonos (HCFCs); (3) halons; (4) brometo de metila; (5) tetracloreto de carbono (CTC); (6) metilclorofórmio e (7) hidrobromofluorcarbonos (HBFCs).

As graves consequências da exposição à poluição atmosférica urbana foram deixadas claras em meados do século XX, quando cidades dos EUA e Europa experimentaram alguns eventos, como a névoa de Londres de 1952, resultando em internações hospitalares e 3.500 mortes, tornando-se um marco na epidemiologia,

relacionando poluentes atmosféricos com morbidade e mortalidade da população (OMS, 2002).

2.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Segundo a OMS (2022), a poluição do ar é um dos maiores riscos ambientais para a saúde de toda a população mundial, estima-se que em 2019 a poluição do ar tenha sido responsável por 4,2 milhões de mortes prematuras em todo o mundo, isso está relacionado à exposição ao material particulado fino, que pode causar doenças cardiovasculares, respiratórias e até mesmo cânceres.

A poluição do ar é a presença de um ou mais contaminantes na atmosfera que em grandes quantidades e períodos podem prejudicar a saúde da população, e a principal via de exposição à poluição atmosférica é através do trato respiratório. Segundo a OMS (2023), os poluentes que causam maiores preocupações quanto a saúde pública são: MP, monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂).

2.2.1 Fontes de poluição do ar

A poluição do ar pode resultar de fontes naturais, como as erupções vulcânicas e secas extremas, sendo que, as erupções são conhecidas como as mais antigas fontes de contaminação do ar (SAKTI *et al.*, 2023). A mais genérica fonte natural da poluição do ar é o vento, podendo suspender partículas e as transportar a longas distâncias, como é o caso dos grãos de pólen, bactérias e fungos, pequenas sementes, insetos e ácaros. As erupções vulcânicas possuem grande área de abrangência, emitindo gases altamente tóxicos, compostos de enxofre e partículas em suspensão (cinzas). Esses gases podem provocar a morte de pessoas e animais que estejam próximos à área de atividade do vulcão (BRANCO; MURGEL, 2010).

As atividades antrópicas que influenciam diretamente a poluição atmosférica são: as atividades industriais que emitem partículas e gases poluentes, a queima de combustíveis fósseis que emitem óxidos de carbono e partículas, o desmatamento e a desertificação, a queima de biomassa e vegetação emitindo fuligem e óxidos de carbono e nitrogênio, e por fim, as atividades agrícolas como o cultivo de arroz, que emitem grandes quantidades de metano para a atmosfera. Esses processos podem

ocasionar em altos níveis de acidez e de agentes oxidantes na atmosfera, piorando o aquecimento global e elevando os teores de gases que ameaçam a camada de ozônio, afetando diretamente a qualidade de vida dos seres vivos do planeta (MANAHAN, 2013).

2.2.2 Poluentes atmosféricos

A poluição atmosférica é proveniente da contaminação por gases e partículas suspensas na atmosfera, em que, os efeitos causados podem ser imediatos, a médio ou a longo prazo, pois a poluição depende das condições meteorológicas e topográficas do local para sua dispersão (CEDRAZ, 2017). Esses efeitos podem ser ocasionados a partir das concentrações de poluentes atmosféricos que ultrapassam os padrões de qualidade do ar. Segundo a Resolução CONAMA nº 491/2018, poluentes atmosféricos podem ser definidos como:

qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, fauna e flora, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes podem ser separados pelo seu estado físico, como os materiais particulados e gases, e conforme a sua origem, como os poluentes primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão, como é o caso do monóxido de carbono, do monóxido de nitrogênio (NO) e do dióxido de enxofre, em que, geralmente, as altas concentrações desse tipo de poluente são registradas nas proximidades das fontes de emissão. Os poluentes secundários são aqueles formados através da reação química entre poluentes e/ou constituintes naturais na atmosfera, que é o caso do ozônio, dióxido de nitrogênio e algumas partículas muito finas, em que suas altas concentrações são registradas mais distante das fontes emissoras, em virtude das reações químicas que ocorrem até a sua formação (CETESB, 2019; IAT, 2015). Dentre os principais poluentes na atmosfera, os particulados são: $MP_{2,5}$, MP_{10} e Fumaça, e PTS, já os poluentes gasosos são: SO_2 , NO_2 , CO e O_3 (CETESB, 2014).

Durante as últimas décadas, muitos estudos estão trazendo a relação da poluição atmosférica, o MP, as atividades portuárias e a saúde da população

(ALASTUEY *et al.*, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2012; CLEMENTE *et al.*, 2021; COCHARD *et al.*, 2022; PÉREZ *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2018).

Segundo a Resolução CONAMA 491/2018, o MP consiste em partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros. O MP pode ser classificado em: 1) PTS, com diâmetro até 100 µm; 2) MP₁₀, com diâmetro inferior a 10 µm; 3) MP_{2,5} com diâmetro inferior a 2,5 µm e 4) MP₁, com diâmetro inferior a 1 µm (PÉREZ-VIDAL; LUNAGÓMEZ-ROCHA; ACOSTA-PÉREZ, 2010).

O tamanho das partículas determina o local em que elas irão se depositar no sistema respiratório, as partículas de MP₁₀ depositam-se principalmente no trato respiratório superior, ao qual é formado por órgãos localizados fora da caixa torácica, sendo eles: nariz externo, cavidade nasal, faringe, laringe e parte superior da traqueia. Enquanto as partículas finas e ultrafinas são capazes de atingir os alvéolos pulmonares, por terem essa capacidade, há fortes evidências de que essas partículas são mais perigosas do que as grossas, em termos de mortalidade e efeitos cardiovasculares e respiratórios (GHORANI-AZAM; RIAHI-ZANJANI; BALALI-MOOD, 2016; KAMPA; CASTANAS, 2008).

2.2.4 Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

Conforme a Resolução CONAMA nº 491/2018, o padrão de qualidade do ar é um instrumento de gestão, que visa determinar o valor de concentração de um poluente na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição para que a saúde da população e o meio ambiente não sofram os malefícios que a poluição atmosférica pode trazer. Esses padrões são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1 - PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI 1 (µg/m ³)	PI 2 (µg/m ³)	PI 3 (µg/m ³)	PF	
					µg/m ³	ppm
Material Particulado – MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado – MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-

(continua)

TABELA 1 - PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI 3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(conclusão)	
					PF	
					$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio – O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Monóxido de Carbono – CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Fumaça – FMC	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Partículas Totais em Suspensão – PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo – (Pb) ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

FONTE: Resolução CONAMA n° 491/2018 (nov. 2018).

NOTA: ¹ - Média aritmética anual

² - Média horária

³ - Máxima média móvel obtida no dia

⁴ - Média geométrica anual

⁵ - Medido nas partículas totais em suspensão

2.3 ATIVIDADE PORTUÁRIA

O Brasil contém cinco modalidades de transporte de cargas, os quais são: aquaviário, rodoviário, ferroviário, aéreo e dutoviário, sendo que, o modal mais importante para a economia brasileira é o aquaviário, pois é nele que ocorrem as relações de exportação e importação, podendo ser fluvial, lacustre e marítimo.

O transporte aquaviário é utilizado para movimentar cargas e/ou passageiros em corpos d'água como: oceanos, mares, rios, lagoas, lagos e canais artificiais. Esse modal possui uma grande capacidade de transporte de carga e baixo custo da tonelada transportada por quilômetro, porém apresenta baixa velocidade e flexibilidade, sendo adequada para grandes volumes de carga a serem transportadas por longas distâncias. Diante de suas características, esse transporte tem um importante papel no comércio internacional de mercadorias, no Brasil, o modal respondeu por 98,7% das exportações e 91,3% das importações totais do país (em toneladas) em 2017 (CNT, 2019a).

Desde o princípio do comércio marítimo mundial, os portos são utilizados para a movimentação de mercadoria e pessoas. A maioria das cidades surgiram a partir da instalação de um porto na região, sendo assim, o transporte marítimo é o mais utilizado quando se fala de comercializações internacionais, pois transporta diversos tipos de produtos, como veículos, petróleo, alimentos, minérios, cereais e

combustíveis (ROCHA, 2015). Em relação às exportações, as mercadorias mais embarcadas em portos brasileiros são soja, óleo combustível e minério de ferro. Dentre os principais compradores de mercadorias brasileiras estão a China, Estados Unidos, Malásia, Holanda e Japão (ANTAQ, 2019).

Segundo a CNT (2019b), no ano de 2018 o Brasil possuía 31 portos organizados e 144 terminais de uso privativo (TUP). Nesse mesmo ano, os portos e terminais brasileiros movimentaram mais de um bilhão de toneladas de mercadoria. Os portos não são estruturas autônomas, por trás deles há uma vasta cadeia logística que envolve o transporte rodoviário, ferroviário e aquaviário, estações de transbordo, terminais de armazenagem, exportadores e importadores e agências de navegação. Salienta-se ainda que há a presença de órgãos públicos que atuam na fiscalização e regulação das atividades portuárias, como questões ambientais, alfandegárias, segurança, marítimas, sanitárias, entre outras (CADE, 2017).

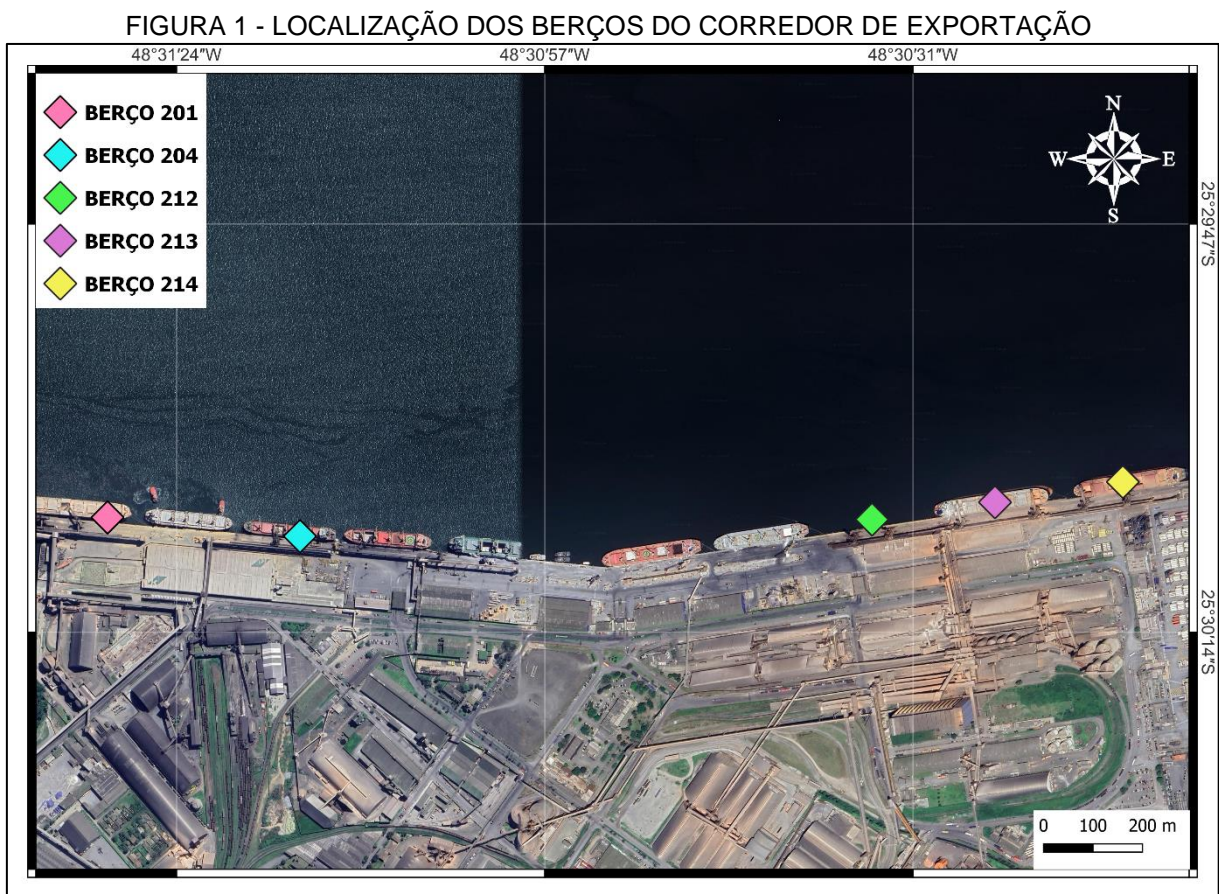
Conforme o Cade (2017), as cargas movimentadas nos portos e terminais são classificadas em quatro tipos: (a) granéis sólidos, que são cargas a granel, transportadas sem nenhum tipo de embalagem, por exemplo o minério de ferro, carvão, bauxita, soja, trigo e fertilizantes; (b) granéis líquidos e gasosos que podem ser o petróleo e seus subprodutos, etanol, óleos vegetais, suco de laranja, entre outros; (c) carga containerizada, que é composta por produtos diversos acondicionados em contêineres que facilitam a armazenagem e movimentação e (d) carga geral que são produtos acondicionados em sacos, fardos, caixa, entre outros, ou, sem embalagens, como veículos e máquinas.

O Brasil conta com dez principais portos públicos em movimentação de carga, que são eles: Porto de Santos, Paranaguá, Itaguaí, Suape, Rio Grande, Itaquí, Vila do Conde, Santarém, São Francisco do Sul e Rio de Janeiro. No primeiro trimestre de 2020, nesses portos houve uma movimentação de 71,9 milhões de toneladas. Em 2019, o porto de Paranaguá movimentou mais de 48 milhões de toneladas de cargas, as principais mercadorias foram sementes e frutos oleaginosos, contêineres e fertilizantes, ocupando o segundo lugar em maior movimentação de carga, seguido do Porto de Santos (ANTAQ, 2020).

O Porto de Paranaguá é administrado pela APPA, sendo o maior porto graneleiro da América Latina. O produto mais carregado é a soja, seguido do farelo de soja e milho, todo grão que chega para a descarga nos terminais passa pelo pátio de triagem, onde ocorre a classificação e o teste de qualidade pela Companhia de

Desenvolvimento Agropecuário do Paraná (CODAPAR). Em média, a movimentação de caminhões que chegam no pátio de triagem para descarregar os granéis, é de dois mil por dia (APPA, 2020).

Ao chegar no porto, os caminhões descarregam os produtos nos terminais públicos e privados, onde cada um tem sua correia transportadora, indo de encontro a outras seis correias comuns, as quais levam os granéis ao painel central que distribui a carga (milho, soja ou farelo) para os berços destinados à movimentação dos granéis de exportação, que são eles: 201, 204, 212, 213 e 214 (FIGURA 1), sendo os três últimos os principais. Cada berço conta com dois *shiploaders*, responsáveis por encher os porões dos navios (APPA, 2020).



FONTE: Adaptado de APPA *et al.* (2018).

A exportação de granéis sólidos é conhecida como "Corredor de Exportação", formado por nove terminais privados, que são eles: Cargill, Coamo, Centro Sul, AGTL, Interalli, Louis Dreyfus, Cimbesul, Cotriguaçu e Rocha, tendo uma capacidade global de 1,025 milhão de toneladas, além dos terminais públicos: um silo vertical, com

capacidade estática de cem mil toneladas e quatro silos horizontais, com capacidade total de 60 mil toneladas (APPA, 2020).

As emissões de navios são preocupações nas áreas costeiras, devido aos potenciais impactos no meio ambiente e na saúde da população, em que, os principais poluentes emitidos por esse transporte são óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e material particulado (MÉRICO *et al.*, 2016). Os impactos de um porto marítimo na qualidade do ar são significativos, um estudo desenvolvido por Pérez *et al.* (2016) com o objetivo de estimar o impacto das atividades portuárias na área urbana de Barcelona para o MP_{10} e $MP_{2,5}$, em que foi possível constatar que as atividades portuárias podem influenciar na quantidade de MP encontrada no entorno do porto, sendo atribuídas principalmente às emissões de poeira pelas obras de extensão do porto, manuseio de cargas a granel e ressuspensão de poeira da estrada pelo tráfego de veículos pesados.

2.4 SILOS DE GRÃOS

Após a colheita, como qualquer outro ser vivo, os grãos continuam a viver, tendo um processo respiratório que tende a sofrer transformações contínuas. Ao serem armazenados, os grãos consomem O_2 e geram CO_2 . Portanto, se não forem bem acondicionados, a intensidade da respiração aeróbia pode apresentar queda, ocasionando na produção de CO_2 , que pode ser consideravelmente alta, acarretando em malefícios ao meio ambiente e a saúde da população.

Os silos são comumente utilizados para armazenar diferentes tipos de materiais que possuem alto valor comercial, sendo capazes de promover uma economia de espaço físico, mão de obra, custo de transporte e retardam a degradação dos materiais armazenados em seu interior (GANDIA *et al.*, 2021; SCHMIDT, 2022; WIACEK *et al.*, 2021). São estruturas com grande importância para países que possuem grande produtividade agrícola, como é o caso do Brasil. Em sua construção geralmente utiliza-se o aço, formado por chapas metálicas corrugadas, porém pode-se utilizar outros tipos de materiais, como o concreto armado, a argamassa armada, madeiras, fibras, plásticos, etc. (COELHO, 2016).

Os silos podem ser classificados como verticais ou horizontais, os silos verticais possuem forma cilíndrica e são construídos com chapas metálicas ou de concreto, já os silos horizontais que também podem ser denominados como armazéns

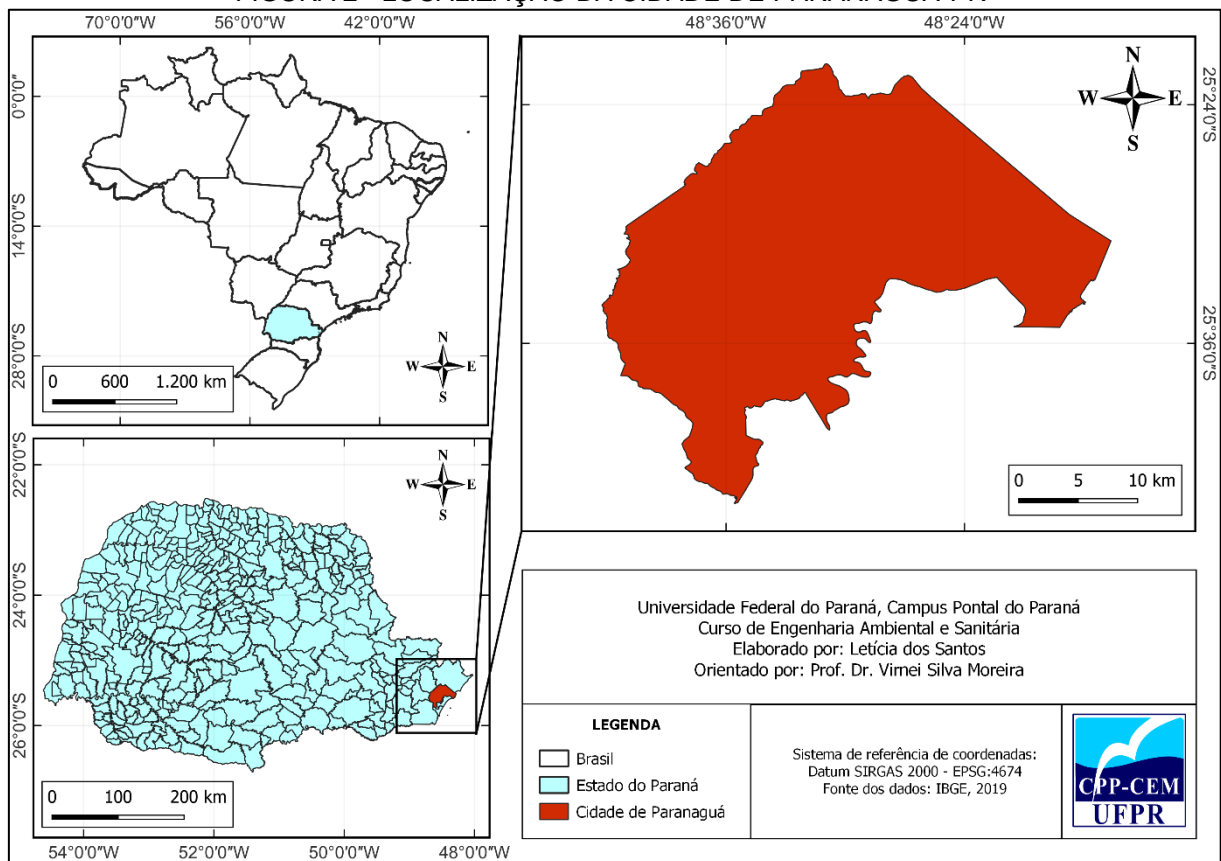
graneleiros, geralmente são construídos em alvenaria e possuem altura menor que a base (ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado no município de Paranaguá, que está localizado no litoral do Paraná, entre as latitudes 25,365° S e 25,735° S, e longitudes 48,706° W e 48,277° W, abrangendo uma área territorial de 826,652 km² (FIGURA 2). Segundo o IBGE, no ano de 2021 estima-se que a população seja de 157.378 habitantes.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE PARANAGUÁ-PR



FONTE: A autora (2023).

O perfil econômico da cidade de Paranaguá modificou-se com a chegada do porto Dom Pedro II em 1935, em que, atualmente, segundo a Prefeitura de Paranaguá, é considerado o segundo maior porto em volume de exportações e o primeiro da América Latina em movimentação de cargas a granel.

3.2 DADOS

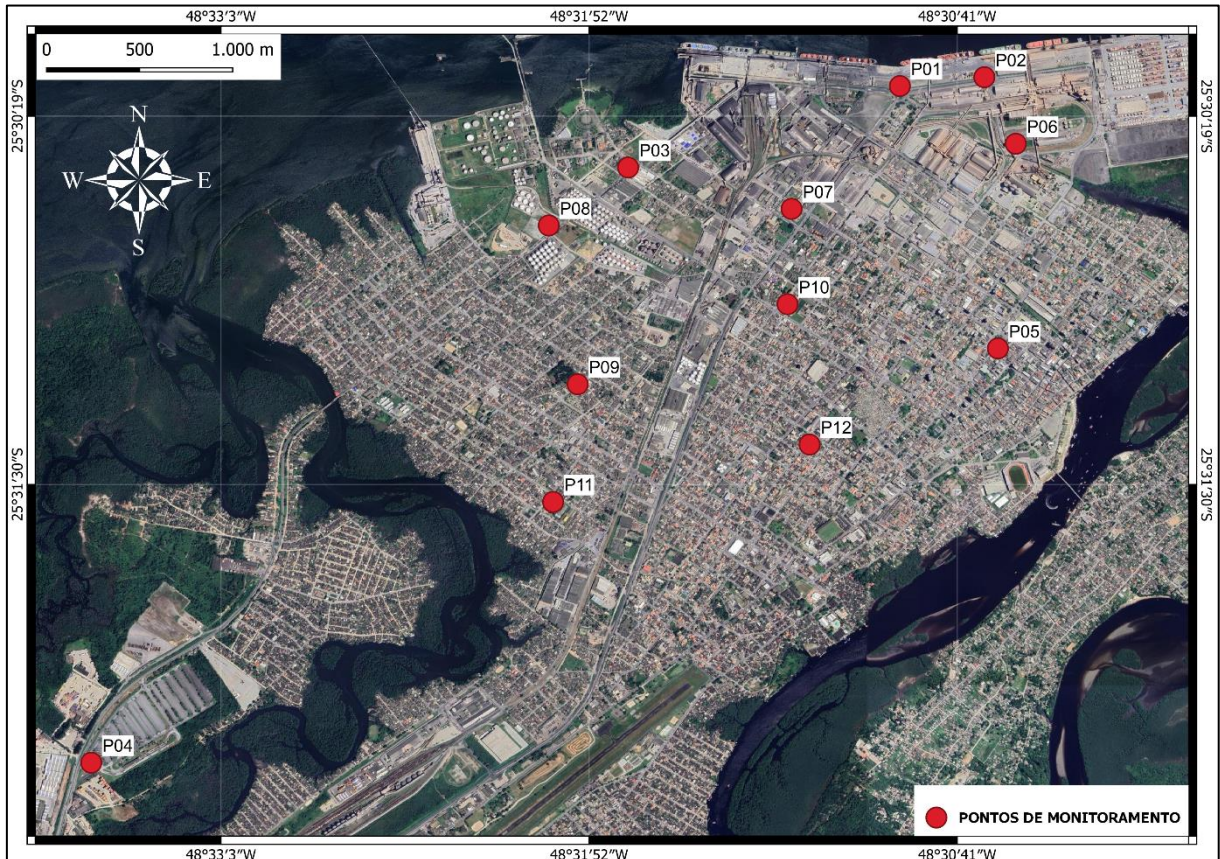
O presente estudo apresenta as concentrações de MP na cidade de Paranaguá, a fim de verificar a emissão de poluentes na região do COREX e silos de grãos, e na zona residencial do município. Todas as informações obtidas para este trabalho ser desenvolvido foram fornecidas pela APPA, os quais disponibilizaram as concentrações dos poluentes, quais são os equipamentos utilizados nas medições, as coordenadas geográficas dos pontos de monitoramento e também, como é a dinâmica para o embarque de granéis, sendo que, o modelo paranaense de exportação é único no Brasil.

As concentrações obtidas para este trabalho compreendem o período entre janeiro de 2016 e dezembro de 2021, porém houveram alguns problemas desconhecidos na medição de janeiro e fevereiro de 2016, que ocasionaram na exclusão desses dois meses para a pesquisa. Também vale ressaltar que as medições do $MP_{2,5}$ iniciaram em 2020, portanto, a análise deste poluente terá o intervalo de janeiro de 2020 a dezembro de 2021. Os dados obtidos foram comparados com os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA nº 491/2018, para verificar se os padrões nacionais estão sendo respeitados.

3.3 PONTOS DE MONITORAMENTO

A qualidade do ar de Paranaguá é realizada em doze campanhas mensais em doze pontos distintos no entorno do Porto de Paranaguá (FIGURA 3), sendo que, esses pontos foram definidos pelo Programa de Gerenciamento das Emissões Atmosféricas, do Programa de Controle Ambiental dos Portos de Paranaguá e Antonina.

FIGURA 3 - PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DE PARANAGUÁ



FONTE: A autora (2023).

Em cada um dos pontos que estão espalhados pela cidade portuária de Paranaguá, são monitoradas as concentrações atmosféricas dos seguintes poluentes: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado com diâmetro inferior a $10\ \mu\text{m}$ (MP_{10}), Material Particulado Inferior a $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$), Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio, Fumaça, Ozônio e Monóxido de Carbono.

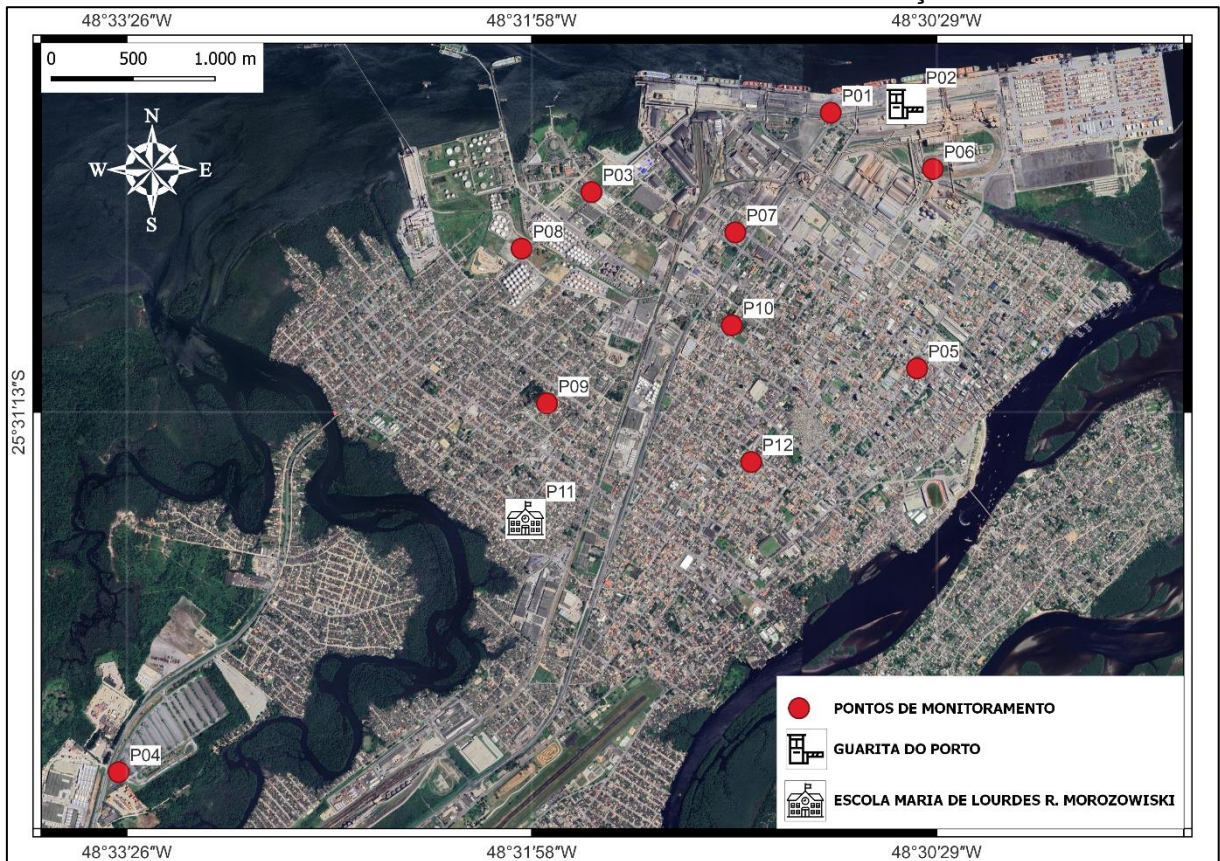
O presente trabalho tem como objetivo avaliar os seguintes materiais particulados: PTS, MP_{10} e o $\text{MP}_{2,5}$, pois esses poluentes podem causar sérios problemas à saúde (ASGHAR *et al.*, 2022), e também, pelo fato de que o Porto de Paranaguá possui uma grande movimentação de cargas à granel.

Para a amostragem dos parâmetros PTS, MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ são utilizados dois modelos de equipamentos: AGV-PTS e AGV-CVV, o segundo modelo é acoplado a um separador inercial de partículas, também se utiliza um dessecador para a secagem de filtros. Os procedimentos de amostragem são determinados pelas normas técnicas 13412:1995 (ABNT, 1995) e 9547:1997 (ABNT, 1997).

Para comparar as concentrações de MP da região do COREX e silos de grãos com a zona residencial, os pontos escolhidos para o estudo foram P02 e P11, Portão

nº 5 - Guarita do Porto e Escola Maria de Lourdes Rodrigues Morozowski, respectivamente (FIGURA 4).

FIGURA 4 - PONTOS ESCOLHIDOS PARA COMPARAÇÃO



FONTE: A Autora (2023).

3.4 FERRAMENTA ESTATÍSTICA

Para analisar estatisticamente os dados obtidos, utilizou-se a estatística descritiva, com os valores de média, desvio-padrão, mínimo e máximo, com o objetivo de demonstrar as características dos dados e justificar a escolha dos pontos analisados neste trabalho. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o software estatístico jamovi *desktop* versão 2.3.21.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS PONTOS

Para realizar a análise descritiva foram adicionadas as concentrações dos três poluentes nos 12 pontos de monitoramento da qualidade do ar, para o período de março de 2016 a dezembro de 2021 (TABELA 2). Os valores da média de cada poluente foram comparados com os padrões de qualidade do ar, em que o escolhido foi o final (PF), que são valores definidos pela OMS, para o período de 24 horas. O padrão para PTS é $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para MP_{10} é $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e para o $\text{MP}_{2,5}$ é $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

TABELA 2 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

(continua)

	PONTOS	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{MP}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Nº DE AMOSTRAS	P01	70	70	23
	P02	70	70	24
	P03	70	70	24
	P04	70	70	23
	P05	70	70	24
	P06	70	70	23
	P07	70	70	23
	P08	70	70	22
	P09	70	70	23
	P10	70	70	24
	P11	70	70	24
	P12	70	70	24
MÉDIA	P01	231,0	74,0	53,5
	P02	483,0	153,0	116,0
	P03	88,6	38,4	25,6
	P04	250,0	68,7	51,3
	P05	67,0	34,2	23,7
	P06	239,0	81,6	49,6
	P07	159,0	57,4	43,4
	P08	132,0	48,4	32,6
	P09	57,4	29,4	20,0
	P10	111,0	46,4	40,3
	P11	57,0	30,3	18,6
	P12	46,5	26,0	19,8
DESVIO-PADRÃO	P01	124,0	30,4	27,5
	P02	212,0	75,2	68,5
	P03	45,3	15,0	11,4
	P04	168,0	37,4	28,7
	P05	38,4	16,2	15,7
	P06	137,0	44,4	30,9
	P07	93,3	30,0	24,0
	P08	76,9	23,1	13,7
	P09	25,2	11,9	12,6
	P10	77,1	26,2	19,0
	P11	31,0	15,2	8,5
	P12	23,2	10,4	10,0

TABELA 2 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

				(conclusão)
	PONTOS	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MÍNIMO	P01	35,2	23,9	21,5
	P02	130,0	62,2	25,5
	P03	25,2	14,9	13,0
	P04	38,9	9,7	8,66
	P05	16,5	9,86	9,75
	P06	69,5	27,7	20,5
	P07	36,5	18,3	8,81
	P08	34,1	14,9	12,1
	P09	15,3	7,16	4,92
	P10	16,0	12,0	13,6
	P11	14,8	11,1	4,57
	P12	13,0	9,31	7,79
MÁXIMO	P01	757,0	174,0	114,0
	P02	1093,0	458,0	285,0
	P03	233,0	79,8	57,2
	P04	760,0	169,0	96,3
	P05	184,0	89,4	85,8
	P06	678,0	267,0	170,0
	P07	462,0	169,0	122,0
	P08	515,0	132,0	64,0
	P09	126,0	67,4	63,7
	P10	352,0	152,0	78,8
	P11	206,0	102,0	36,7
	P12	120,0	58,1	49,4

FONTE: A Autora (2023).

Na TABELA 2, a cor laranja é para destacar o maior valor encontrado para a técnica descritiva utilizada. A cor verde é utilizada para destacar o menor valor encontrado. Ao analisar as PTS é possível perceber que, dentre os pontos de monitoramento, o ponto que obteve maior concentração foi o P02, com média de 483 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, desvio-padrão de 212 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor mínimo e máximo de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 1093 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Já o ponto que obteve menores valores de concentração foi o P12, com média de 46,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, desvio-padrão de 23,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mínimo 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximo 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ao analisar o MP₁₀, nota-se que, novamente, o ponto que obteve maiores concentrações deste poluente foi o P02, com média de 153 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, desvio-padrão de 75,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mínimo e máximo de 62,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 458 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Já o ponto que obteve menores concentrações foi o P12 novamente, com média de 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, desvio-padrão de 10,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mínimo de 9,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximo de 58,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

E por fim, analisando o MP_{2,5}, novamente verifica-se que o ponto com maiores concentrações é o P02, com média de 116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, desvio-padrão de 68,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, máximo e mínimo de 25,5 e 285 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Já o ponto que demonstrou

menores valores de concentração foi o P11, com média de $18,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, desvio-padrão de $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mínimo de $4,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximo de $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

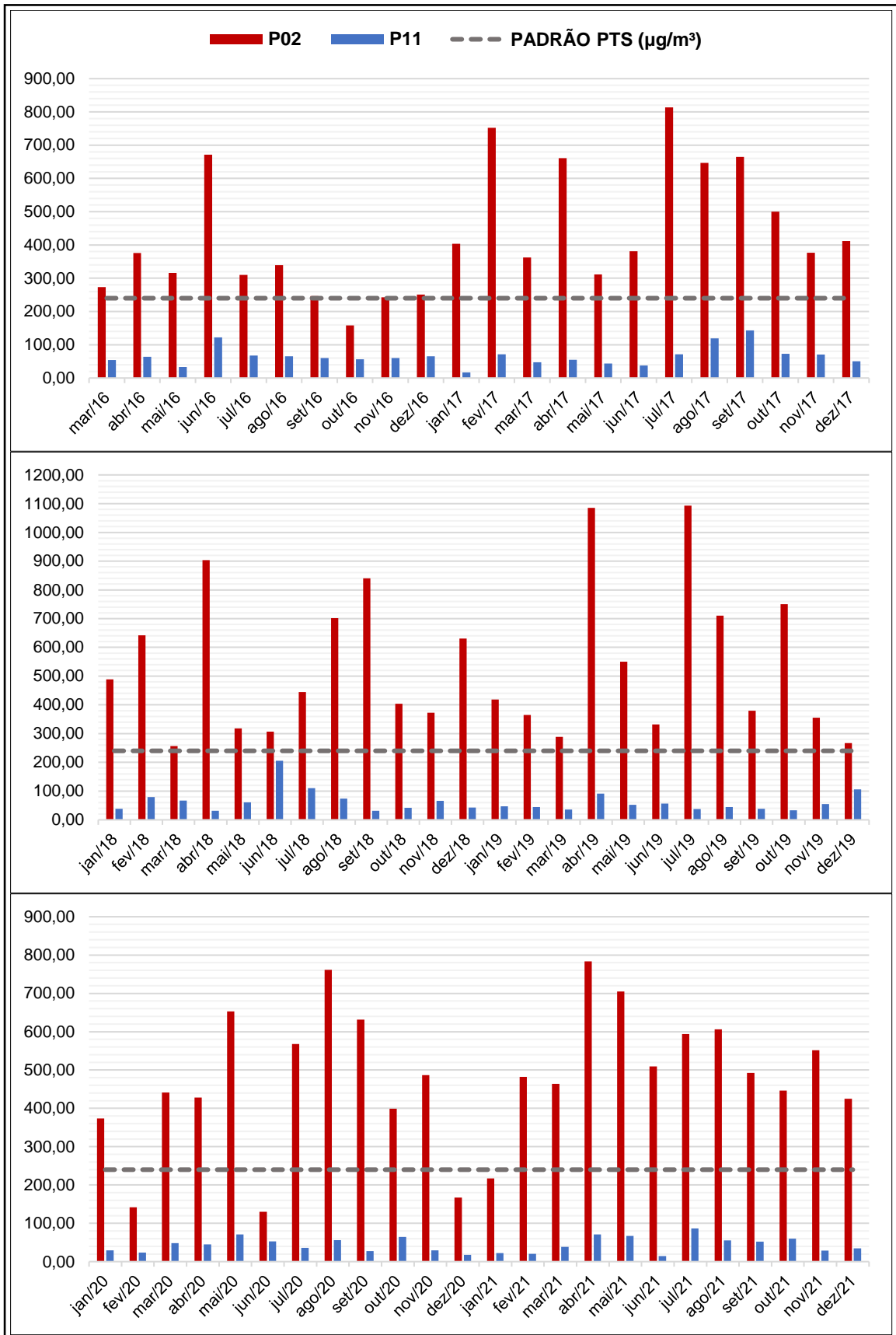
Essa discrepância de valores dá-se ao fato de que, o P02 se encontra na região que estão localizados os silos de grãos, o COREX e os principais berços de movimentação de cargas a granel, já os pontos 11 e 12 estão localizados em uma escola e um asilo, respectivamente. Porém, os pontos escolhidos para comparar a emissão de MP na cidade de Paranaguá foram o P02 e P11, em virtude da distância entre esses dois pontos, que é de aproximadamente 3,5 quilômetros.

Bomfim (2014) desenvolveu um trabalho no Porto de Santos, em que pôde constatar que, o bairro Ponta da Praia, onde ocorre grande movimentação de cargas a granel, apresentou grande dispersão de material particulado na atmosfera, ocasionando em graves ameaças ao meio ambiente, à qualidade de vida dos trabalhadores do porto e da população. Atividades portuárias podem ser importantes fontes de partículas emitidas para a atmosfera, como a carga e descarga, transporte e armazenamento de produtos a granel. A depender do tipo de material, condições operacionais e meteorologia, grandes plumas de partículas suspensas podem ser geradas e transportadas pela atmosfera. Ocasionalmente, essas massas de ar carregadas de poeira podem impactar negativamente a qualidade do ar dos locais próximos às regiões portuárias (ARTÍÑANO *et al.*, 2007).

4.2 PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO

Na FIGURA 5 estão demonstradas as concentrações de PTS no P02 e P11, que compreendem a região dos silos de grãos e do COREX e da zona residencial respectivamente, para o período de março de 2016 a dezembro de 2021, juntamente com o padrão de qualidade do ar final (PF) de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de 24 horas, valor guia definido pela OMS em 2005.

FIGURA 5 - CONCENTRAÇÕES DE PTS NA ZONA PORTUÁRIA E NA ZONA RESIDENCIAL



FONTE: A autora (2023).

Ao analisar a FIGURA 5 é possível observar que, das 70 (setenta) medições feitas no P02, o padrão nacional da qualidade do ar foi ultrapassado 64 (sessenta e quatro) vezes, enquanto que, as concentrações de PTS durante o mesmo período no P11 não excederam esse padrão. As atividades portuárias, como a carga, descarga e o transporte de produtos a granel podem ser uma importante fonte de MP, dependendo do material, do tipo de operação e das condições meteorológicas, essas atividades podem impactar negativamente os níveis de MP do ar na região e no entorno do porto (MORENO *et al.*, 2007).

Um trabalho desenvolvido por Zhang *et al.* (2010) teve como objetivo analisar a concentração de PTS, a intensidade da queda de poeira e a frequência de tempestades de areia e poeira na China durante o período de 1981 a 2007, sendo possível constatar que, as regiões com piores índices de poluição por PTS se encontram em áreas urbanas ao norte da China durante a primavera e o inverno.

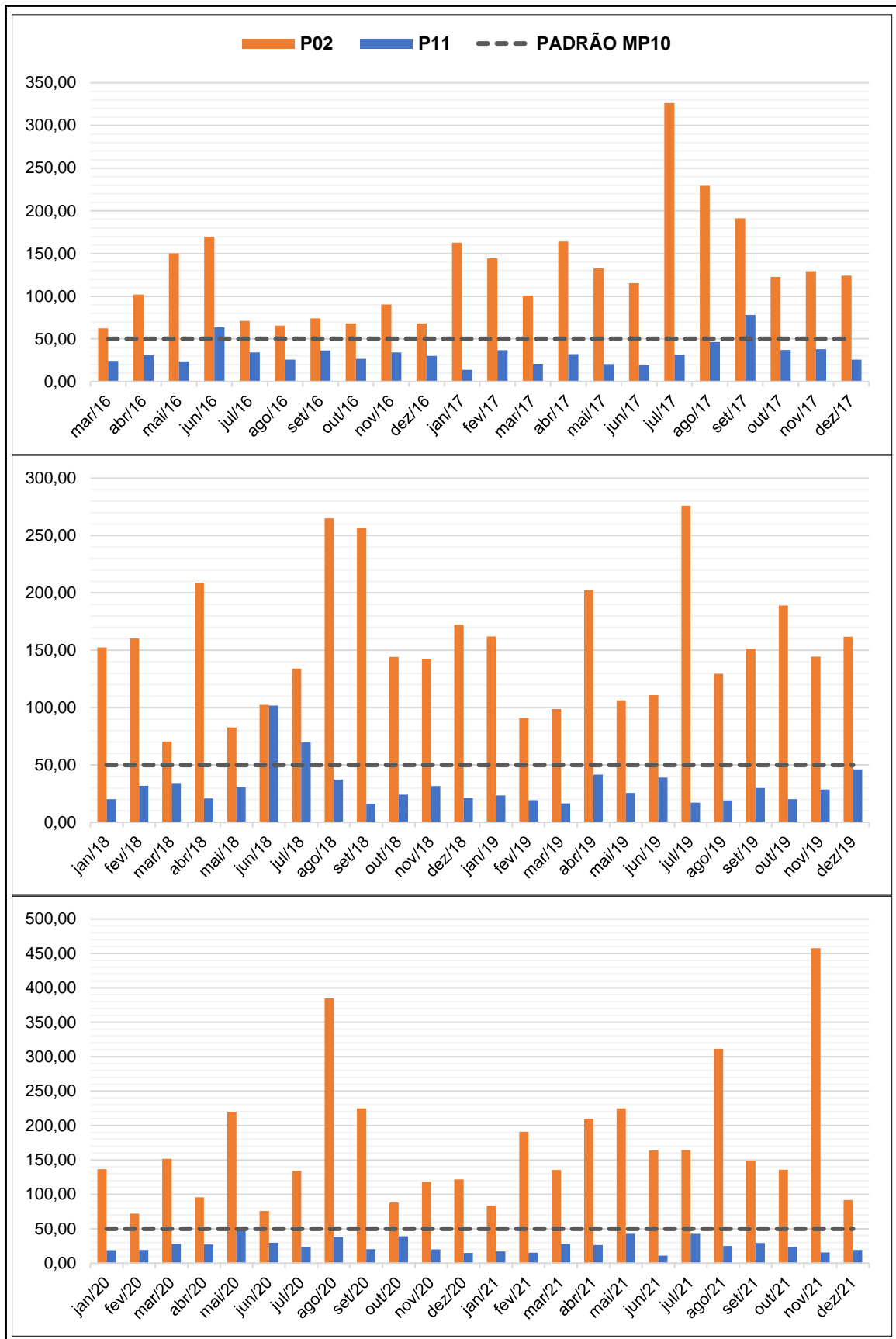
O Porto de Durban é o maior terminal de embarque do continente africano, sendo o principal porto de cargas e contêineres. Se comparado com outras regiões do mundo, são escassas as medições e estudos sobre a poluição do ar em território africano, diante disso, Mahesh *et al.* (2022) desenvolveram um estudo na cidade de Durban, na África do Sul a fim de analisar a emissão de MP em quatro pontos distintos da cidade, sendo possível observar que durante o inverno, o município apresenta maiores índices de poluição, com níveis médios diários excedendo os padrões da qualidade do ar determinados pela OMS.

Uma pesquisa desenvolvida por Pinheiro, Venturi e Galvani (2020) teve como objetivo analisar a poluição atmosférica na cidade de São Luís, no Maranhão, sendo possível identificar que a estação que se encontra na zona portuária do município foi a única a ultrapassar os padrões nacionais da qualidade do ar para PTS. Nessa zona portuária está localizado o Porto de Itaqui, onde há movimentação de minério de ferro, sendo fortemente associado a altos índices de poluição do ar.

4.3 PARTÍCULAS INALÁVEIS

A FIGURA 6 demonstra as concentrações de MP_{10} no P02 e P11 durante o período de março de 2016 a dezembro de 2021, juntamente com o PF de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de 24 horas, valor guia que foi definido pela OMS em 2005.

FIGURA 6 - CONCENTRAÇÕES DE MP₁₀ NA ZONA PORTUÁRIA E NA ZONA RESIDENCIAL



FONTE: A Autora (2023).

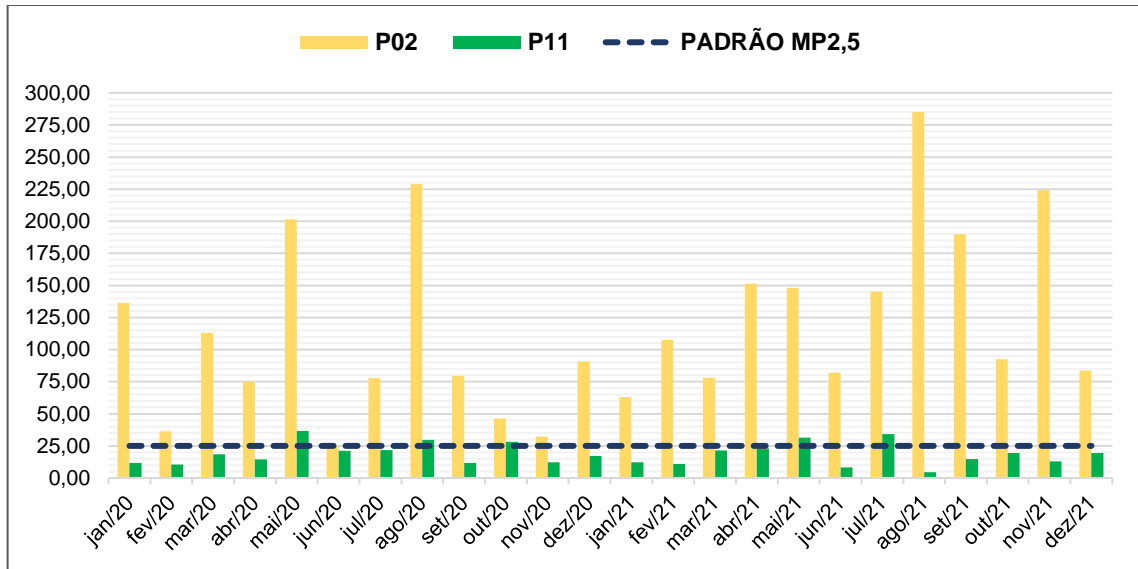
Analisando a FIGURA 6, é possível observar que das 70 medições feitas nos pontos 02 e 11, o padrão nacional da qualidade do ar foi ultrapassado em todos os meses de estudo no P02, enquanto que, no P11 o padrão foi ultrapassado em apenas 5 meses, em junho de 2016, setembro de 2017, junho e julho de 2018 e maio de 2020. Um estudo desenvolvido por Sorte *et al.* (2019) foi motivado pela necessidade de avaliar a contribuição do Porto de Leixões, em Portugal, para a qualidade do ar nas proximidades e entorno do porto. Os autores executaram vários cenários (emissões marítimas, atividades portuárias, tráfego rodoviário e refinaria), em que foi possível constatar que as fontes de emissão terrestre no Porto, como tráfego de caminhões, ferrovias, armazenamento e manuseio de cargas a granel foram os principais contribuintes para as altas concentrações de MP_{10} na área de estudo.

Em um porto localizado em Portugal foram realizadas várias campanhas durante operações de descarga de fertilizantes e fosforite, em que, filtros de policarbonato por amostradores Gent foram utilizados para coletar MP_{10} e $MP_{2,5}$, os resultados mostraram que a descarga desses materiais resultou em emissões elevadas de partículas, principalmente do MP_{10} (ALMEIDA *et al.*, 2012). A fronteira portuária de Alicante (Espanha) foi alvo de um estudo, com o objetivo de quantificar a contribuição do manuseio de cargas a granel e identificar quais as fontes antrópicas com maior impacto nos níveis de partículas inaláveis. Os valores diários máximos de MP_{10} foram excedidos em razão da movimentação de granéis sólidos nas docas (CLEMENTE *et al.*, 2021).

A movimentação de cargas a granel contribui para a emissão de MP_{10} nos terminais instalados na região do bairro da Ponta da Praia, em Santos (SP), no ano de 2020 houve um aumento nas concentrações de MP_{10} , apesar de ser um período pandêmico, e isso está relacionado com o crescimento da exportação de grãos de soja no Porto de Santos (SARRA; MÜLFARTH, 2022).

4.4 PARTÍCULAS INALÁVEIS FINAS

As concentrações de $MP_{2,5}$ no P02 e P11 durante o período de janeiro de 2020 a dezembro de 2021 são demonstradas na FIGURA 7, juntamente com o PF de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de 24 horas.

FIGURA 7 - CONCENTRAÇÕES DE MP_{2,5} NA ZONA PORTUÁRIA E ZONA RESIDENCIAL

FONTE: A Autora (2023).

Ao observar a FIGURA 7, é possível verificar que das 24 medições realizadas no P02 e P11, o PF foi ultrapassado em todos os meses no P02, diferente do que aconteceu no P11, em que o PF foi excedido em apenas 5 meses, em maio, agosto e outubro de 2020, e maio e julho de 2021. A cidade de Xiamen (China) que abriga um dos maiores portos do país, foi alvo de um estudo desenvolvido por Xu *et al.* (2018), que teve como objetivo realizar medições diárias de MP_{2,5} em uma área urbana e portuária com aproximadamente 4 quilômetros de distância uma da outra, a fim de verificar a diferença de uma região para outra, constatando que as concentrações de MP_{2,5} foram significativamente maiores na região portuária, resultados encontrados semelhantes aos que são apresentados no presente estudo.

Amostras diárias de MP_{2,5} foram coletadas em Xangai, que é a maior cidade da China e é responsável por abrigar o maior porto do mundo, durante o período de setembro de 2003 a janeiro de 2005, cerca de 72% das amostras foram superiores aos padrões de qualidade do ar da China, constatando que a poluição por partículas finas era extremamente grave em Xangai (WANG *et al.*, 2006). O primeiro inventário de poluentes atmosféricos da cidade portuária de Paranaguá identificou altos níveis de MP_{2,5} no município, com 34 episódios superiores aos valores impostos pela OMS, em que os terminais portuários apresentaram contribuições significativas para as concentrações de MP_{2,5} (GUGARTZ, 2018).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que as atividades portuárias que envolvem o manuseio de cargas a granel, na região dos silos graneleiros e COREX do Porto de Paranaguá, são responsáveis por altos índices de material particulado na atmosfera. Ao verificar a concentração média das 70 amostras de dados obtidas para esta pesquisa, foi possível encontrar um valor de $483 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS, $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o MP_{10} e $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o $\text{MP}_{2,5}$, os quais estão acima dos padrões nacionais da qualidade do ar, resultados obtidos fazendo o uso da estatística descritiva.

Analisando os gráficos elaborados a fim de comparar a zona portuária com a zona residencial, para as partículas totais em suspensão que conta com setenta amostras de dados, o padrão de qualidade do ar de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi ultrapassado 64 vezes no P02, com diferença expressiva para o P11, que não obteve nenhum valor que excedesse o padrão. Para as partículas inaláveis, que também conta com setenta amostras, o padrão que é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi extrapolado durante todo o período de estudo no P02, já o P11 obteve apenas 5 ultrapassagens deste valor. E por fim, para as partículas inaláveis finas, que diferente das outras, possui apenas 24 amostras de dados, e possui um padrão de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que também foi excedido durante todo o período de estudo no P02, e obteve 5 amostras que ultrapassaram o padrão no P11.

É importante ressaltar a necessidade da realização do monitoramento da qualidade do ar com maiores quantidades de amostragem, como por exemplo medições diárias, colaborando para resultados mais precisos acerca da poluição atmosférica no município de Paranaguá.

REFERÊNCIAS

ACEVES, M. *et al.* Identification of soybean dust as an epidemic asthma agent in urban areas by molecular marker and RAST analysis of aerosols. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 88, issue 1, p. 124-134, jul. 1991. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/009167499190309C>. Acesso em: 20 set. 2022. [https://doi.org/10.1016/0091-6749\(91\)90309-C](https://doi.org/10.1016/0091-6749(91)90309-C)

ADMINISTRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA (APPA), *com. pess.* Documento assinado nos termos do art. 18 do Decreto Estadual 5389/2016. Disponível em: <https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarAssinatura.do?action=iniciarProcesso> , utilizando o código de acesso: **ecac5b1123184a5d82c695bed075c819**, 2020.

ADMINISTRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA (APPA); FUNDAÇÃO DE ENSINO DE ENGENHARIA DE SANTA CATARINA (FEESC); LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA (LabTrans). Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Paranaguá - PDZPO. 2018. Disponível em: <https://www.portosdoparana.pr.gov.br/Pagina/Plano-de-Desenvolvimento-e-Zoneamento>. Acesso em: 22 jan. 2023.

ALASTUEY, A. *et al.* Contribution of harbour activities to levels of particulate matter in a harbour area: Hada Project-Tarragona Spain. **Atmospheric Environment**, v. 41, issue 30, p. 6366-6378, sept. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007002580>. Acesso em: 20 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.03.015>

ALMEIDA, S. M. *et al.* Characterization of dust material emitted during harbour activities by k_0 -INAA and PIXE. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 291, p. 77-82, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10967-011-1279-4>. Acesso em: 07 nov. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1279-4>

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Anuário Estatístico 2019. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/index.php/estatisticas/>. Acesso em: 02 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). BOLETIM AQUAVIÁRIO, Primeiro Trimestre de 2020. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/index.php/boletins/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

ANTÓ, J. M. *et al.* Community Outbreaks of Asthma Associated with Inhalation of Soybean Dust. **The New England Journal of Medicine**, v. 320, p. 1097-1102, apr. 1989. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM198904273201701>. Acesso em: 20 ago. 2022.

ARAUJO, J. M. de; ROSÁRIO, N. M. Évora do. ATMOSPHERIC POLLUTION ASSOCIATED WITH PARTICULATE MATTER IN THE STATE OF SÃO PAULO: AN ANALYSIS FROM SATELLITE DATA. **Brazilian Journal of Environmental**

Sciences (Online), Rio de Janeiro, v. 55, n. 1, p. 32-47, 2020. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/552. Acesso em: 31 jan. 2023. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200552>

ARTÍÑANO, B. *et al.* Measurement of particulate concentrations produced during bulk material handling at the Tarragona harbor. **Atmospheric Environment**, v. 41, issue 30, p. 6344-6355, sept. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006012283#bib14>. Acesso em: 31 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.020>

ASGHAR, K. *et al.* Assessment of particulate matter (PM) in ambient air of different settings and its associated health risk in Haripur city, Pakistan. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, jan. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/tFJQGqyvZrmd6CnnFhQ3YFp/abstract/?lang=en>. Acesso em: 08 ago. 2022. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256190>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13412**: Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9547**: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro: ABNT. 1997

BOMFIM, J. C. **A atividade portuária de transporte e armazenagem de granel no Porto de Santos, a poluição atmosférica por material particularizado e a responsabilização pelo dano**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Católica de Santos, Santos (SP), 2014. Disponível em: <http://biblioteca.unisantos.br:8181/handle/tede/2382>. Acesso em: 05 nov. 2021.

BRANCO, S. M.; MURGEL, E. **Poluição do Ar**. São Paulo: Moderna, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 491, de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões da qualidade do ar. Diário Oficial da União, Brasília, D.F., n. 223, 21 nov. 2018. Seção 1, p. 155-156.

BUCKBERRY, J.; CRANE-KRAMER, G. The dark satanic mills: Evaluating patterns of health in England during the industrial revolution. **International Journal of Paleopathology**, v. 39, p. 93-108, dec. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1879981722000523>. Acesso em: 10 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2022.10.002>

CEDRAZ, M. O. **Análise estatística das concentrações atmosféricas do material particulado PM10 em três regiões distintas do estado do Rio de Janeiro**. 2017. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

COCHARD, M. *et al.* P13-05 Toxicity of airborne particulate matter from port, industrial and urban areas on lung cells. **Toxicology Letters**, v. 368, p. S200, sept. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378427422014886>. Acesso em: 15 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2022.07.544>

COELHO, L. C. **SOFTWARE PARA CÁLCULO DE FLUXO E PRESSÕES EM SILOS CILÍNDRICOS METÁLICOS PARA ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIAIS**. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (SP), 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-11102016-113651/pt-br.php>. Acesso em: 10 dez. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2013. São Paulo, 2014. (Série Relatórios). Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 28 jan. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2018. São Paulo, 2019. (Série Relatórios). Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 28 jan. 2023.

CONFERÊNCIA NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Anuário do Transporte 2019, Estatísticas consolidadas. 2019b. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/Inicial>. Acesso em: 31 out. 2022.

CONFERÊNCIA NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Atlas do Transporte 2019, 2ª edição. 2019a. Disponível em: <https://atlas.cnt.org.br/>. Acesso em: 31 out. 2022.

CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA (CADE). Mercado de serviços portuários – 2017. Disponível em: <http://www.cade.gov.br/aceso-a-informacao/publicacoes-institucionais/publicacoes-dee/Cadernos%20do%20Cade>. Acesso em: 02 nov. 2022.

CLEMENTE, Á. *et al.* Quantification of the impact of port activities on PM10 levels at the port-city boundary of a mediterranean city. **Journal of Environmental Management**, v. 281, mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720317679#bib41>. Acesso em: 15 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111842>

DAVIS, F. R. Silent Spring after 50 years. **Endeavour**, v. 36, issue 4, p. 129-130, dec. 2012a. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160932712000609>. Acesso em: 18 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2012.09.003>

DAVIS, F. R. 'Like a Keen North Wind': how Charles Elton influenced Silent Spring. **Endeavour**, v. 36, issue 4, p. 143-148, dec. 2012b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160932712000610>. Acesso em: 18 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2012.09.004>

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. TECNOLOGIAS DE PRÉ-ARMAZENAMENTO, ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO DE GRÃOS. 2017. Disponível em: <http://labgraos.com.br/manager/uploads/arquivo/material---prova-1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

GANDIA, R. M. *et al.* Static and dynamic pressure measurements of maize grain in silos under different conditions. **Biosystems Engineering**, v. 209, p. 180-199, sept. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511021001562#bib38>. Acesso em: 12 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.07.001>

GHORANI-AZAM, A.; RIAHI-ZANJANI, B.; BALALI-MOOD, M. Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. **J Res Med Sci**, Isfahan, v. 21, p. 1-12, sept. 2016. Disponível em: <https://www.jmsjournal.net/text.asp?2016/21/1/65/189646>. Acesso em: 13 out. 2022.

GUGARTZ, B. M. **Avaliação de material particulado fino, fuligem e poluentes gasosos na região portuária de Paranaguá**. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Territorial Sustentável) - Setor Litoral, Universidade Federal do Paraná, Matinhos (PR), 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/55756>. Acesso em: 01 jan. 2023.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). RELATÓRIO ANUAL DA QUALIDADE DO AR DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA ANO DE 2015. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Monitoramento-da-Qualidade-do-Ar>. Acesso em: 24 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/paranagua.html>. Acesso em: 20 jan. 2023.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, issue 2, p. 362-367, jan. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749107002849>. Acesso em: 13 out. 2022.

LE PRESTE, P. G. **Ecopolítica Internacional**. São Paulo: Senac, 2005.

MA, S. *et al.* Does air pollution induce international migration? New evidence from Chinese residents. **Economic Modelling**, v. 120, mar. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264999322004138>. Acesso em 20 jan. 2023.

MAHESH, B. *et al.* Particulate air pollution in Durban: Characteristics and its relationship with 1 km resolution satellite aerosol optical depth. **Advances in Space Research**, v. 70, issue 2, p. 371-382, jul. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117722003301#b0070>. Acesso em: 01 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.04.053>

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**, 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MELLO, A. C. **Avaliação do material particulado na recirculação de grãos de soja em silos**. 2009. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, área Operações Unitárias) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá (PR), 2009. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3698>. Acesso em: 09 nov. 2022.

MERICO, E. *et al.* Influence of in-port ships emissions to gaseous atmospheric pollutants and to particulate matter of different sizes in a Mediterranean harbour in Italy. **Atmospheric Environment**, v. 139, p. 1-10, aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223101630365X>. Acesso em: 13 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.024>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Substâncias Destruídas da Camada de Ozônio. **Site oficial do Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/climaozoniodesertificacao/camada-de-ozonio/a-camada-de-ozonio>. Acesso em: 03 set. 2021.

MORENO, N. *et al.* Characterisation of dust material emitted during harbour operations (HADA Project). **Atmospheric Environment**, v. 41, issue 30, p. 6331-6343, sept. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007002853?via%3Dihub>. Acesso em: 01 fev. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.03.028>

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Air quality and health. 2023. Disponível em: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts>. Acesso em: 25 jan. 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Ambient (outdoor) air pollution. 19 dec. 2022. Disponível em: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 25 jan. 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). The World Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. Geneva: World Health Organization, 2002.

PÉREZ, N. *et al.* Impact of harbour emissions on ambient PM10 and PM2.5 in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. **Science of The Total Environment**, v. 571, p. 237-250, nov. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971631470X>. Acesso em: 18 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.025>

PÉREZ-VIDAL, H.; LUNAGÓMEZ-ROCHA, M. A.; ACOSTA-PÉREZ, L. I. ANÁLISIS DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) Y PARTICULAS FRACCIÓN RESPIRABLE (PM10), EN CUNDUACÁN, TABASCO. Universidad y Ciencia, Villahermosa, v. 26, n. 2, p. 151-162, ago. 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15416232003>. Acesso em: 10 jan. 2023.

PINHEIRO, J. M.; VENTURI, L. A. B.; GALVANI, E. Atmospheric pollution: a case study of the Municipality of São Luís do Maranhão. **Soc. Nat.**, Uberlândia, v. 32, p. 727-737, 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sn/a/P8MmmkdT6Lb39kZp5TdcW6c/?lang=en>. Acesso em: 10 jan. 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-56162>

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estud. av.**, São Paulo, v. 31, n. 89, p. 271-283, jan./abr. 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000100271&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 31 ago. 2022. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>

REI, F. C. F.; CARVALHO, S. M. 25 anos do protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de Ozônio: a experiência do Brasil. **Revista Juris da Faculdade de Direito, Fundação Armando Alvares Penteado**, São Paulo, v. 8, p. 07-88, jul./dez. 2012.

REI, F.; FARIAS, V. C. 30 anos do Protocolo de Montreal: Uma história de sucesso do Direito Ambiental Internacional. **Revista de Direito Internacional**, Brasília, v. 14, n.3, p. 161-180, dez. 2017.

ROCHA, C. F. O transporte de cargas no Brasil e sua importância para a economia. 71 f. Monografia de graduação (Ciências Econômicas) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

SAKTI, A. D. *et al.* Multi-air pollution risk assessment in Southeast Asia region using integrated remote sensing and socio-economic data products. **Science of The Total Environment**, v. 854, jan. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722059241>. Acesso em: 30 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158825>

SARRA, S. R.; MÜLFARTH, R. C. K. Impactos das atividades portuárias sobre a poluição atmosférica na cidade de Santos (Brasil). **Conjecturas**, v. 22, n. 2, p. 1-14, mar./abr. 2022. Disponível em: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/648>. Acesso em: 01 fev. 2023. <https://doi.org/10.53660/CONJ-648-715>

SCHMIDT, B. B. AVALIAÇÃO DA PRESSÃO INTERNA EM SILOS DE ARMAZENAMENTO A PARTIR DO MÉTODO DE ELEMENTOS DISCRETOS. 28 f. Monografia de graduação (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

SILVA; A. M. E. V. Emissões fugitivas de partículas para atmosfera: caracterização, impactos e mitigação. 2017. 195 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia do Ambiente) - Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10773/22048>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SORTE, S. *et al.* Assessment of source contribution to air quality in an urban area close to a harbor: Case-study in Porto, Portugal. **Science of The Total Environment**, v. 662, p. 347-360, apr. 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719302049?via%3Dihub#bb0030>. Acesso em: 01 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.185>

WANG, Y. *et al.* The ion chemistry, seasonal cycle, and sources of PM_{2.5} and TSP aerosol in Shanghai. **Atmospheric Environment**, v. 40, issue 16, p. 2935-2952, may. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006000574?via%3Dihub>. Acesso em: 01 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.051>

WIACEK, J. *et al.* Experimental analysis of wheat-wall friction and grain flow in a steel silo with corrugated walls. **Biosystems Engineering**, v. 209, p. 216-231, sept. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511021001586>. Acesso em: 16 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.07.003>

XIAO, X.; GAO, M. Chapter 1 - Overview of climate change, air pollution, and human health. In: GAO, M.; WANG, Z.; CARMICHAEL, G. **Air Pollution, Climate, and Health: An Integrated Perspective on Their Interactions**. Elsevier, 2021. p. 3-12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820123-7.00003-6>

XU, L. *et al.* Source identification of PM_{2.5} at a port and an adjacent urban site in a coastal city of China: Impact of ship emissions and port activities. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1205-1213, sept. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718312506>. Acesso em: 16 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.087>

ZHANG, X. X. *et al.* Ambient TSP concentration and dustfall in major cities of China: Spatial distribution and temporal variability. **Atmospheric Environment**, v. 44, issue 13, p. 1641-1648, apr. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231010000841>. Acesso em: 01 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01.035>