UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JULIA JANKOVSKI FORGIARINI
MILENA ANTUNES

DETERMINAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM AMBIENTE INDUSTRIAL POR MEIO DE AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME

PONTA GROSSA
2026

versão 11.0 (jul.26)

JULIA JANKOVSKI FORGIARINI
MILENA ANTUNES

DETERMINAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM AMBIENTE INDUSTRIAL POR MEIO DE AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME

DETERMINATION OF PARTICULATE MATTER IN AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT USING A HIGH-VOLUME AIR SAMPLER

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Profª Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli.

PONTA GROSSA
2026

4.0 Internacional

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JULIA JANKOVSKI FORGIARINI
MILENA ANTUNES

DETERMINAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM AMBIENTE INDUSTRIAL POR MEIO DE AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME

DETERMINATION OF PARTICULATE MATTER IN AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT USING A HIGH-VOLUME AIR SAMPLER

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30 de junho de 2026

_____
Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal Paraná

_____
Yara de Souza Tadano
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal Paraná

_____
Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal Paraná

PONTA GROSSA
2026

Dedicamos este trabalho às nossas famílias, aos nossos gatos e à nossa amiga Rebeca.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à UTFPR pela oportunidade de transformarmos nossas vidas por meio do ensino superior. À Profª Dra. Juliana Pietrobelli, nossa orientadora, pela condução e apoio ao longo de toda a trajetória na Engenharia Química, sendo uma grande inspiração para nós.

Agradecemos também ao Me. Douglas, que participou da banca da primeira etapa do TCC e contribuiu significativamente com os conceitos e com a compreensão do funcionamento do equipamento. À Eloiza Parolin, pelo auxílio no tratamento dos filtros e na análise dos dados.

Ao Matheus Yudi, pela ajuda em diversas etapas da pesquisa, e à Rebeca Cortelete, que esteve presente na primeira fase do trabalho, colaborando em várias atividades importantes.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, nosso sincero agradecimento.

"Mãe, pai, Bru e Isa, isso tudo não é só por vocês, mas em função de vocês. Obrigada por me fazer sonhar, por me fazer acreditar, e por me ajudar a conquistar. Meu porto seguro, meu lar, meu refúgio, meu mundo inteiro.

Ju, minha duplinha, te encontrar foi incrível, e partilhar a universidade com você foi um presente, obrigada por me segurar nos piores momentos e obrigada por viver os melhores ao meu lado.

Rebeca, você ressignificou o sentido de amizade pra mim, a universidade seria mil vezes mais difícil sem a tua parceria, sinto sua falta todos os dias minha amiga francesa.

Cachu, sem vocês eu teria enlouquecido, obrigada pra sempre.

Pietrobelli, suas aulas foram essenciais para minha formação como Engenheira Química, e encerrar o ciclo da graduação com a tua orientação foi incrível, muito obrigada.

E por fim, te dedico Daniel Silvestre. Vô, o sonho que você sonhou por mim é quase realidade!"

Milena Antunes

“Em 2007, minha mãe, Claudia, dedicou seu TCC a “Linda Julia”. Isso é só um pequeno exemplo de tudo que ela dedicou por mim nestes 24 anos juntas. Cada pequena vitória minha vem de uma enorme abdicação dela, e não existem palavras para expressar minha gratidão.

Gostaria também de agradecer, de coração, à Profª Dra. Juliana Pietrobelli, que, em 2022, fui procurar por ajuda, preocupada com o curso, e me acolheu e acompanhou por toda a minha trajetória, até chegar aqui. Espero que possamos continuar juntas pelo mestrado.

Aos meus amigos que fui fazendo ao longo dos anos, todo o meu carinho por fazerem parte da minha vida. Alguns, porém, merecem uma citação especial: Mari, minha mais longa e especial amizade; Bu e Gabriel, que estiveram ao meu lado durante os anos do ensino médio; Ju e Rebeca, que dividiram não só um apartamento, mas também muitos momentos divertidos; a Mi, que não só dividiu as dificuldades do TCC, mas também muitos momentos incríveis do curso; e, por último, mas não menos importante, o Leo e o Rafa, os melhores pais de gatos.

Um te amo especial à minha amiga Dani, nunca vou te esquecer.

Queria deixar um espaço também ao melhor que a UTFPR me deu: Matheus Yudi. O quanto você me ajudou e deu suporte nesse período me deixa, a cada dia, mais apaixonada. Espero um futuro com mais coisas ótimas para nós dois. Para finalizar meus agradecimentos, eu queria poder deixar uma dedicatória, assim como a da minha mãe, para uma criança maravilhosa, que me faz querer ser sempre uma irmã melhor: o incrível Joaquim.”

Julia Jankovski

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da qualidade do ar em um ambiente agroindustrial, com ênfase na determinação das concentrações de material particulado (MP) e na avaliação de sua conformidade frente aos parâmetros regulatórios vigentes. Em ambientes industriais, a concentração desse poluente tende a ser elevada, tornando necessário o monitoramento. O estudo realizou a amostragem de Partículas Totais em Suspensão (PTS), em uma indústria de processamento de soja. O objetivo foi avaliar se as concentrações medidas atendem aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 506/2024. A metodologia adotada envolveu o uso de um Amostrador de Grande Volume (AGV), equipado com controlador de vazão volumétrica, que foi utilizado para coletar 12 amostras de PTS em diferentes dias no decorrer de um mês. Os resultados demonstraram concentrações de PTS variando entre 13,43 e 170,68 µg/m³, com média de 79,98 µg/m³, sem ultrapassagem do limite diário de 240 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 506/2024. Os resultados obtidos corroboram os dados de uma campanha anterior realizada por uma empresa especializada, apresentando comportamento e ordens de grandeza semelhantes entre as campanhas. Conclui-se que as emissões de material particulado durante o período avaliado, estavam dentro da legislação reforçando a importância do monitoramento regular da qualidade do ar como ferramenta estratégica de gestão ambiental.

Palavras-chave: qualidade do ar; poluição atmosférica; partículas totais em suspensão; amostrador de grande volume.

ABSTRACT

This study presents an air quality analysis in an agro-industrial environment, with an emphasis on determining particulate matter (PM) concentrations and assessing their compliance with current regulatory parameters. In industrial environments, the concentration of this pollutant tends to be high, making monitoring necessary. The study sampled Total Suspended Particles (TSP) in a soybean processing industry. The objective was to evaluate whether the measured concentrations met the standards established by CONAMA Resolution No. 506/2024. The methodology adopted involved the use of a High-Volume Air Sampler (Hi-Vol), equipped with a volumetric flow controller, which was used to collect 12 TSP samples on different days over the course of a month. The results demonstrated TSP concentrations ranging from 13.43 to 170.68 µg/m³, with an average of 79.98 µg/m³, with no exceedance of the 240 µg/m³ daily limit established by CONAMA Resolution No. 506/2024. The results obtained corroborate data from a previous campaign conducted by a specialized company, showing similar behavior and orders of magnitude between the campaigns. It is concluded that the particulate matter emissions during the evaluated period were within the legislation, reinforcing the importance of regular air quality monitoring as a strategic environmental management tool.

Keywords: air quality; air pollution; total suspended particles; high-volume sampler.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CVV	Controle de Vazão Volumétrica
AGV	Amostrador de Grande Volume
PTS	Partículas Totais em Suspensão
MP	Material Particulado
MPS	Material Particulado em Suspensão
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PCEAPAR	Plano de Controle de Emissões Atmosféricas do Paraná
DEA	Declaração de Emissões Atmosféricas

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fontes naturais e antropogênicas de poluentes atmosféricos.....14
Figura 2 - Fluxograma Simples do Processamento da Soja.....19
Figura 3 - Escoamento em um ciclone 21
Figura 4 - Amostrador de Grande Volume controlador de vazão volumétrica cabeçote para amostragem de PTS.....23
Figura 5 - Planta esquematizada.....24
Figura 6 - Rosa dos ventos do mês de abril, estação meteorológica de Ivaí.....25
Figura 7 - Tabela de calibração SOMAR.....26
Figura 8 - Valores de calibração SOMAR 27
Figura 9 - Dessecador SOMAR.....28
Figura 10 - Filtro de fibra de vidro após coleta.....29
Figura 11 - Tabela de amostragem SOMAR 30
Figura 12 - Resultados de concentração obtidos nas campanhas 32
Figura 13 - Gráfico comparativo entre concentração e peso líquido.....33
Figura 14 - Gráfico comparativo entre umidade relativa do ar e concentração
Figura 15 - Comparativo das concentrações encontradas com o limite CONAMA 36
Figura 16 - Comparação com campanha realizada por empresa especializada 37

Quadro 1 - Equipamentos de controle de emissões 22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões intermediários e finais dos poluentes.....17
Tabela 2 - Data e horário de coleta de cada filtro 31
Tabela 3 - Resultados das pesagens dos filtros.....31
Tabela 4 - Dados relativos a cada coleta.....33
Tabela 5 - Dados meteorológicos de Ivaí, 12/02 a 13/03/26 34
Tabela 6 - Dados campanha realizada por empresa especializada.....37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 9
2. OBJETIVOS 11
2.1 Objetivo Geral 11
2.2 Objetivos específicos 11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 11
3.1 Poluentes atmosféricos 12
3.1.1 Material Particulado 13
3.2 Mecanismos de Geração e Dispersão de MP em Ambientes Industriais 14
3.3 Legislação de Qualidade do Ar 16
3.4 Métodos de Amostragem de MP no Ar 18
3.5 A indústria da soja 19
3.6 Métodos de controle de emissão de MP 20
4. MATERIAIS E MÉTODOS 22
4.1 Materiais 23
4.2 Métodos 24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
5.1. Influência Meteorológica 34
5.2. Avaliação da Conformidade com a Resolução CONAMA nº 506/2024 36
5.3. Comparação com Dados Externos 36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 38
DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL 39
REFERÊNCIAS 40

1. INTRODUÇÃO

A preservação da qualidade do ar tornou-se um dos temas mais relevantes no âmbito da sustentabilidade urbana e industrial, visto que a poluição atmosférica afeta de forma direta a saúde da população e o equilíbrio dos ecossistemas. Dentre os diversos, destaca-se o Material Particulado (MP), considerado como um dos principais responsáveis pela degradação da qualidade do ar (Molina, 2004).

O MP representa uma ampla diversidade de substâncias em suspensão, sendo reconhecido como um dos principais indicadores utilizados no monitoramento da qualidade atmosférica, devido à sua frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que pode provocar na saúde humana. Isso ocorre devido à sua capacidade de penetrar no sistema respiratório, de acordo com seu diâmetro, podendo causar doenças respiratórias e cardiovasculares graves (WHO, 2021). Dessa forma, a elevada ocorrência desse poluente e seus efeitos adversos à saúde configuram um panorama de alerta global que exige monitoramento contínuo por parte das autoridades ambientais e dos setores produtivos (IEMA, 2024).

Dentro das classificações do material particulado, as Partículas Totais em Suspensão (PTS) constituem um importante indicador da qualidade do ar, sendo formadas por material sólido ou líquido em suspensão na atmosfera, na forma de poeira, neblina, aerossóis, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico de até 50 µm (BRASIL, 2018). De acordo com Gioda et al. (2022), o material particulado constitui um dos principais poluentes atmosféricos monitorados na avaliação da qualidade do ar, especialmente em ambientes sob influência de emissões antrópicas. A mensuração e o controle das concentrações de PTS são estratégicos para o controle ambiental, uma vez que essa fração está diretamente associada às emissões fugitivas e aos processos mecânicos industriais geradores de poeiras. Dessa forma, a quantificação das PTS permite avaliar tanto o impacto da deposição de partículas no entorno das fontes emissoras quanto a eficiência dos sistemas de controle de poluentes implementados pelas indústrias.

No cenário nacional, a regulação das emissões atmosféricas avançou significativamente, especialmente no controle de poluentes como as PTS, com a promulgação da Lei Federal nº 14.850/2024, que instituiu a Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQA) e estabeleceu as diretrizes estruturais para o controle da poluição atmosférica. Em consonância com esse marco, a Resolução CONAMA nº

506/2024 definiu novos padrões nacionais de qualidade do ar, estabelecendo metas progressivas para alinhar os limites de concentração de poluentes às diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS). No âmbito estadual, o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas do Paraná (PCEAPAR) atua de forma complementar, orientando as ações de monitoramento, inventário e mitigação local (Paraná, 2024). Diante desse panorama jurídico atualizado, as indústrias paranaenses enfrentam a necessidade de adequar seus processos produtivos e sistemas de controle de emissões às exigências vigentes, assegurando a conformidade legal e a redução dos impactos socioambientais associados às suas atividades.

Desta forma, tem-se um cenário imperativo para que a engenharia cumpra com o desafio de mitigar as fontes de poluição industrial. Nesse contexto, a Engenharia Química desempenha papel fundamental no desenvolvimento e aplicação de metodologias voltadas ao monitoramento e controle das emissões atmosféricas. Na região de Ponta Grossa – PR, caracterizada por um forte perfil logístico e industrial, as operações associadas ao recebimento, movimentação e processamento de grãos representam potenciais fontes de emissão de PTS, decorrentes principalmente do manuseio mecânico e beneficiamento da matéria-prima vegetal. De forma mais centrada na planta agroindustrial do ramo alimentício, onde ocorrem processos intrinsecamente complexos com geração de diferentes poluentes, a adoção de sistemas de controle eficazes é fundamental. Assim, a verificação quantitativa das emissões atmosféricas torna-se uma ferramenta essencial para avaliar a eficácia das medidas de controle implementadas, garantir a conformidade ambiental e assegurar a sustentabilidade das atividades industriais e a segurança ocupacional.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar campanhas de monitoramento da atmosfera de uma planta agroindustrial de processamento de soja localizada no município de Ponta Grossa, Paraná, por meio e coletas de PTS. Para isso, foram realizadas amostragens utilizando um Amostrador de Grande Volume (AGV), sendo os resultados obtidos comparados aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente, bem como a dados anteriores provenientes de uma campanha de monitoramento realizada por uma empresa especializada em monitoramento , realizadas no primeiro trimestre de 2026. Adicionalmente, as concentrações observadas foram relacionadas às oscilações da umidade relativa do ar durante o período de monitoramento. Com base nessas análises, buscou-se avaliar a conformidade ambiental da planta agroindustrial em relação à legislação vigente. Os

resultados obtidos constituem um diagnóstico inicial das concentrações de PTS, podendo subsidiar futuras avaliações da eficiência das medidas de controle ambiental adotadas pela unidade e contribuir para o monitoramento da qualidade do ar na região.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a concentração de material particulado, especificamente de Partículas Totais em Suspensão (PTS), por meio da coleta de 12 amostras, realizadas entre o período de 12/02 a 13/03/2026, em um ambiente industrial de processamento de soja, por meio de amostragem técnica, verificando sua conformidade frente aos padrões regulatórios vigentes.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a amostragem de PTS em uma indústria de soja em Ponta Grossa-PR, utilizando um AGV;
- Analisar os resultados obtidos para verificar a conformidade das concentrações de PTS com o padrão diário da Resolução CONAMA nº 506/2024;
- Analisar, de forma exploratória, a relação entre umidade relativa do ar e concentração no comportamento do MP atmosférico local;
- Comparar as concentrações de MP obtidas com dados históricos de monitoramentos coletados trimestralmente por uma empresa especializada em monitoramento ambiental.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O avanço da alta industrialização, muitas vezes associado a práticas de gestão ambiental inadequadas, têm contribuído para o aumento significativo da poluição atmosférica de acordo com a Agência Europeia do Ambiente (2022). Junto a isso, os efeitos na saúde humana associados à poluição atmosférica também têm crescido, especialmente em populações com maior exposição aos poluentes (Vieira, 2020). Dentre os diversos poluentes atmosféricos emitidos pelas atividades antrópicas, destaca-se o MP.

3.1 Poluentes atmosféricos

A classificação dos poluentes atmosféricos, de acordo com CONAMA 506/2024, são qualquer forma de matéria, que possa tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, danoso à fauna e flora ou prejudicial à segurança, através de sua quantidade, concentração ou tempo.

A OMS (2021) classifica 6 materiais como principais poluentes atmosféricos, com base no impacto que causam a saúde humana, possuindo limites de concentração e metas intermediárias, sendo eles: Monóxido de Carbono (CO) gás tóxico gerado da combustão incompleta; Dióxido de enxofre (SO_2) gerado na queima de combustíveis que contém enxofre, como óleo diesel e carvão; Dióxido de Nitrogênio (NO_2) associado a queima de combustíveis fósseis; Ozônio Troposférico (O_3), poluente secundário formado no solo por reações químicas na atmosfera e os materiais particulados MP_{10} e MP2,5, sendo quanto menor o diâmetro da partícula maior sua capacidade de penetrar no sistema respiratório.

Há também os poluentes, os quais a OMS (2021) não possui limites numéricos, mas recomendações de boas práticas, para monitoramento e redução continua, o Carbono negro/Carbono elementar (BC/EC), partículas ultras finas (UFP), com menos de 0,1 µm e as partículas de tempestade de areia e poeira, causadas por fontes naturais com picos de poluição.

Os poluentes atmosféricos, são segmentados em dois grupos principais de fontes. As fontes fixas são aquelas estacionárias, com destaque para as indústrias que utilizam processos de combustão, como caldeiras, fornos e secadores. Outro exemplo significativo são as usinas termelétricas, essas usinas possuem alto potencial poluidor quando operam com carvão, óleo combustível ou gás. Já as fontes móveis abrangem veículos em geral, como automóveis, aviões, trens e embarcações. Nas áreas urbanas, os veículos automotores se destacam como a principal fonte de poluição, podendo ser categorizados da seguinte forma, os veículos leves de passageiros utilizam gasolina ou álcool, os veículos comerciais leves utilizam gás natural ou óleo diesel, e os veículos pesados utilizam exclusivamente óleo diesel (BRASIL, 2018).

Segundo o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas do Paraná 2024-2026 (Paraná, 2024), as principais fontes fixas de combustão são em mais da metade as caldeiras, seguidas pelos fornos, representando um terço das emissões. Além disso, mais de 50% dos pontos utilizam madeira e biomassa como combustível e menos de

30% utilizam o gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP) e biogás, mas estas fontes demonstram um crescimento gradativo todos os anos, dados coletados no DEA anualmente pelos empreendedores.

3.1.1 Material Particulado

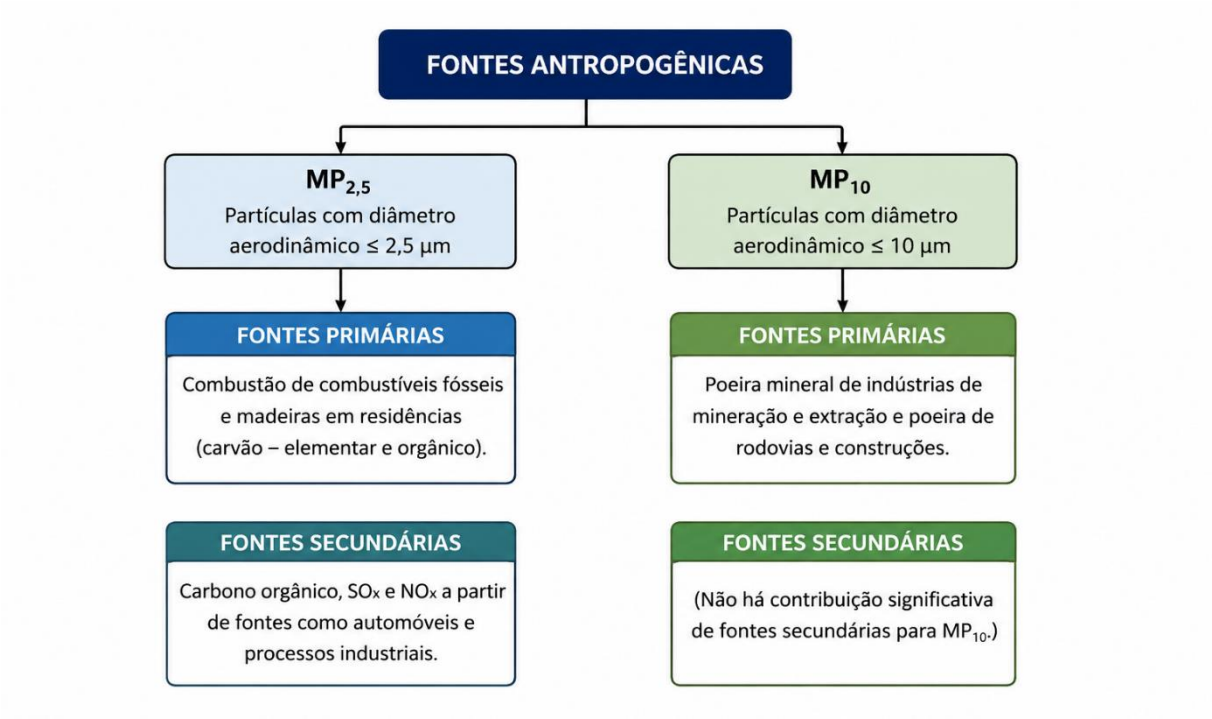
Também conhecido como aerossol atmosférico, o MP pode ser definido como uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas que se encontram suspensas na atmosfera (Belo e Tofoli, 2011). Essas partículas apresentam grande diversidade em tamanho, forma e composição química, variando de acordo com as suas fontes de emissão e com os processos de transformação aos quais são submetidas. Para facilitar o estudo e o controle da poluição, o MP é classificado principalmente pelo seu diâmetro aerodinâmico.

No que diz respeito à classificação das partículas, destaca-se o conceito de partículas sólidas em suspensão (PTS), que abrange partículas com diâmetro de até 50 µm. Dentro desse grupo, estão as PTS, subdivididas em frações conforme a capacidade de penetração no sistema respiratório humano. A fração inalável corresponde às partículas que podem ser aspiradas pela boca e pelo nariz. Já a fração torácica inclui aquelas que conseguem ultrapassar a laringe, sendo convencionalmente representada pelo MP_{10}.

A fração respirável corresponde às partículas capazes de penetrar profundamente no sistema respiratório, atingindo os alvéolos pulmonares. Nesse contexto, o MP fino ($MP_{2,5}$), com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 2,5 µm, destaca-se por seus efeitos adversos à saúde, estando associado ao aumento do risco de doenças respiratórias e ao desenvolvimento de câncer de pulmão, especialmente em exposições prolongadas. Esses impactos são mais pronunciados em grupos vulneráveis, como crianças, idosos e indivíduos com doenças respiratórias preexistentes (OMS, 2021).

Na Figura 1, é apresentada a formação de MP, tanto primário quanto secundário, em processos naturais e antropogênicos.

Figura 1 - Fontes naturais e antropogênicas de poluentes atmosféricos



Fonte: Adaptado Belo e Tofoli, 2011

Agência Europeia do Ambiente (2022), reforça que as partículas menores apresentam um impacto mais significativo na saúde humana, uma vez que, enquanto as maiores tendem a ficar retidas nas vias respiratórias superiores, as menores têm maior capacidade de penetrar nas regiões mais profundas dos pulmões. Nessa mesma linha, Vieira (2020) destaca que o MP é formado por pequenas partículas que se alojam no sistema respiratório, sendo que as de menor diâmetro são as mais nocivas, pois conseguem atingir os alvéolos pulmonares e provocar diversos problemas de saúde, como distúrbios respiratórios, cardiovasculares e neurológicos.

3.2 Mecanismos de Geração e Dispersão de MP em Ambientes Industriais

A produção industrial é uma importante fonte de emissão de MP, com notável relevância para o segmento agroindustrial e de processamento de grãos. Durante etapas como a queima de combustíveis em caldeiras, reatores e fornos, ou no manuseio e transporte de matérias-primas sólidas, ocorrem liberações significativas de partículas em suspensão. Equipamentos comuns nesse setor, como secadores de solventes, sistemas de filtração de pós, centrífugas industriais e unidades de reação de alta temperatura, contribuem diretamente para a geração de MP. Essas partículas podem conter resíduos químicos, metais pesados e compostos orgânicos, o que amplia os riscos à saúde e ao meio ambiente (Monteiro, 2023).

No PCEAPAR 2024-2026 (Paraná, 2024), é possível observar que as maiores fontes de emissão de MP, dentro dos processos industriais, são: caldeiras, filtro manga, secadores, moinhos, ciclones e outros equipamentos, com uma emissão menos significativa. Mas é necessário observar que filtro manga e ciclones não são geradores do material, mas emitem, pois são uma forma de controle industrial, para diminuir o MP liberado na atmosfera.

O conceito de manufatura limpa tem se intensificado nos últimos anos, impulsionado por iniciativas que buscam aliar produtividade à sustentabilidade ambiental. Essa abordagem, baseada na manufatura verde, indica o grau de sustentabilidade ao longo de toda a produção, considerando todas as etapas do processo até às emissões atmosféricas geradas (Silva; Silva; Ometto, 2016). Segundo os autores, a indústria de manufatura envolve setores como produção de alimentos, de máquinas e equipamentos, de produtos químicos, de produtos metálicos entre outros, sendo necessária a integração nos processos produtivos de práticas ambientalmente responsáveis, especialmente devido aos impactos significativos relacionados a altos níveis de consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, pesquisas indicam que o processo de urbanização também impacta significativamente a qualidade do ar, e que a presença de MP em ambientes internos representa uma das principais ameaças à saúde das pessoas expostas a essas condições (Vieira, 2020).

Sendo assim, o uso de abordagens numéricas para análise da qualidade do ar ao nível regional e a utilização de inventários de emissões são indispensáveis. Esses inventários são ferramentas fundamentais para a simulação das condições atuais e prever cenários futuros de emissão de MP. No Brasil, os inventários de poluição do ar ainda são limitados, concentrando-se principalmente em áreas urbanas específicas, como grandes metrópoles (Kawashima *et. al.*, 2020).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (2022), em alguns países, até 40% das emissões de MP são de origem industrial, o que evidencia a relevância do setor produtivo nas análises de emissões atmosféricas.

Sendo assim, o uso de abordagens numéricas para análise da qualidade do ar ao nível regional e a utilização de inventários de emissões são indispensáveis. Esses inventários são ferramentas fundamentais para a simulação das condições atuais e prever cenários futuros de emissão de MP. No Brasil, os inventários de

poluição do ar ainda são limitados, concentrando-se principalmente em áreas urbanas específicas, como grandes metrópoles (Kawashima *et. al.*, 2020).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (2022), em alguns países, até 40% das emissões de MP são de origem industrial, o que evidencia a relevância do setor produtivo nas análises de emissões atmosféricas

3. 3 Legislação de Qualidade do Ar

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) atua desde 1989 em programas sobre a qualidade do ar por meio da Resolução n° 05/1989, que instituiu o Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar (PRONAR) para limitar emissões na fonte. Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 003/1990 foi a primeira norma brasileira a estabelecer padrões de qualidade do ar a partir da definição dos limites máximos de concentração para os principais poluentes atmosféricos, como PTS, MP_{10}, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e fumaça. Além dos limites, a norma também estabeleceu padrões de referência para controle da poluição e planejamento ambiental, e apresentou critérios técnicos para o monitoramento dos poluentes atmosféricos emitidos.

Atualmente, o controle de emissões atmosféricas e a gestão da qualidade do ar no Brasil são regidos pela Lei Federal nº 14.850/2024, que instituiu a Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQA). Sua aplicação é complementada por instrumentos normativos do CONAMA, incluindo as diretrizes do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) e as normas aplicáveis ao licenciamento ambiental. A consolidação dos critérios de controle e o estabelecimento das metas de transição fundamentam-se nas diretrizes da Resolução CONAMA nº 491/2018. Para a avaliação dos resultados deste estudo, os dados experimentais foram confrontados com os padrões de qualidade do ar fixados pela Resolução CONAMA nº 506/2024. Essa resolução estabelece limites para os principais poluentes atmosféricos, com base nos valores de referência atualizados pela OMS em 2021. Seu objetivo é fornecer diretrizes voltadas à proteção da saúde humana e do meio ambiente, aplicáveis em todo o território brasileiro, os padrões de PTS aparecem como um parâmetro auxiliar, tendo foco principal os limites de MP_{10} e $MP_{2,5}$.

Conforme o Anexo I da resolução, os limites para PTS são estabelecidos por um padrão final (PF), e para MP_{10} e $MP_{2,5}$ por meio de padrões intermediários (PI) e padrão final, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões intermediários e finais dos poluentes

Padrão	MP_{10} – 24h (µg/m³)	MP_{10} – Anual (µg/m³)	$MP_{2,5}$ – 24h (µg/m³)	$MP_{2,5}$ – Anual (µg/m³)	PTS – 24h (µg/m³)	PTS – Anual (µg/m³)
PI – 1	120	40	60	20		
PI – 2	100	35	50	17		
PI – 3	75	30	37	15		
PI – 4	50	20	25	10		
PF (final)	45	15	15	5	240	80

Fonte: Adaptado Brasil (2024).

Então, o limite diário, em µg/m³, para MP_{10} na primeira etapa (PI-1) é de 120, reduzindo progressivamente até atingir o padrão final (PF) de 45 para os valores diários, e anuais de 40 com redução até 15. Para o $MP_{2,5}$, o limite diário inicial é de 60, sendo reduzido até alcançar 15, e anual varia de 20 a 5 µg/m³.

Para PTS, os limites estabelecidos são de 240 µg/m³ para o padrão diário e 80 µg/m³ para o padrão anual, não havendo padrões intermediários.

Para uma maior padronização, as normas técnicas da ABNT definem algumas diretrizes nos métodos de amostragem e análise de MP. A norma ABNT NBR 9547:1997 estabelece como o procedimento para a amostragem de PTS deve ser realizado com os amostradores de grande volume, com detalhamento técnico sobre filtros, vazões e tempo de coleta, por exemplo (ABNT, 1997).

A amostragem segundo a norma da ABNT deve ser com uma vazão (cond. padrão de gás) de 1,1 a 1,7 m³/min, essa vazão deve ser ajustada apenas durante a calibração, sem ser controlada ao longo do processo. O tempo de coleta deve ser de 24 horas com tolerância de ± 1 hora (ABNT, 1997).

O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas do Paraná (PCEAPAR) utiliza o inventário das emissões industriais como ferramenta preditiva e de planejamento estratégico. A partir do mapeamento dessas cargas poluentes lançadas, o plano estabelece metas para a ampliação e modernização da rede estadual de monitoramento da qualidade do ar, garantindo que a fiscalização da concentração de poluentes no ambiente atenda aos novos limites protetivos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 506/2024.

3.4 Métodos de Amostragem de MP no Ar

A obtenção de amostras de MP em suspensão (MPS) representa uma etapa crucial nos estudos de qualidade do ar. Esse processo permite quantificar a concentração das partículas presentes no ambiente, além de possibilitar a análise de suas características físicas e químicas. Para garantir que os dados sejam representativos, é necessário que o planejamento dos procedimentos e a operação dos equipamentos de coleta sejam cuidadosamente executados (Hoinaski, 2010).

Por conta da complexidade na composição e no comportamento do MPS na atmosfera, não é possível medir sua concentração de forma totalmente direta. Por isso, os métodos de coleta são projetados para reduzir possíveis fontes de erro. Dentre as técnicas de coleta empregadas por esses métodos estão: filtração, impactação, precipitação térmica e eletrostática. Destaca-se que a filtração é amplamente utilizada em programas de monitoramento oficiais, sendo adotada por órgãos como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (WHO, 2021).

Os amostradores utilizam essas técnicas e são categorizados conforme o volume de ar processado e o tamanho das partículas que se deseja coletar, o que permite sua aplicação em diferentes tipos de estudos.

Os Amostradores de Grande Volume (AGVs) são os equipamentos mais comuns na coleta de partículas totais em suspensão e de frações inaláveis, como MP_{10}.

O funcionamento dos AGVs baseia-se na sucção ativa do ar por meio de uma bomba, que direciona o fluxo por filtros que retêm partículas até 100 µm, no caso dos PTS (Machado, 2018; Monteiro, 2025). Durante a coleta, o equipamento opera continuamente, normalmente por 24 horas, medindo o volume de ar processado e permitindo, assim, calcular a concentração de partículas (expressa em $\mu g/m^3$) a partir da diferença de peso dos filtros antes e depois da amostragem (Machado, 2018).

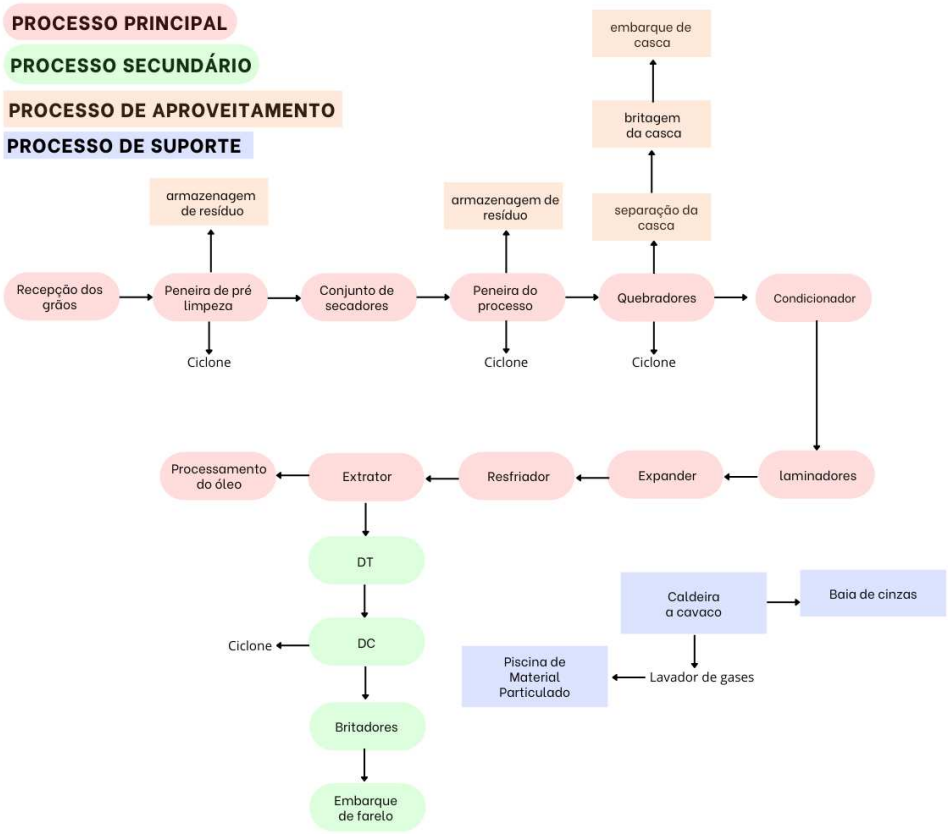
Apesar de sua ampla aplicação, os AGVs possuem limitações, especialmente quando se busca analisar compostos metálicos ou aerossóis secundários. Além disso, variações no fluxo de ar durante a operação podem acarretar erros (Hoinaski, 2010).

3.5 A indústria da soja

O Brasil figura entre os maiores produtores e exportadores mundiais de soja, sendo o complexo soja composto principalmente pelo grão, farelo e óleo. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), a produção brasileira de soja foi estimada em aproximadamente 152,5 milhões de toneladas em 2024, enquanto o processamento industrial do grão atingiu cerca de 54,5 milhões de toneladas. A produção de farelo e óleo de soja foi projetada em 41,7 milhões e 11 milhões de toneladas, respectivamente (ABIOVE, 2024).

Devido ao grande volume de grãos processados anualmente, as indústrias de soja realizam operações de recebimento, transporte, armazenamento, limpeza, secagem e beneficiamento, etapas que podem contribuir para a emissão de material particulado para a atmosfera quando não associadas a sistemas adequados de controle ambiental. A Figura 2 apresenta o fluxograma simplificado da planta de beneficiamento de soja onde o estudo foi realizado, ilustrando as principais etapas do processo produtivo da empresa.

Figura 2 - Fluxograma Simples do Processamento da Soja



Fonte: Autoria própria, 2026.

A geração de material particulado em indústrias de processamento de soja está associada principalmente ao manuseio mecânico dos grãos e às operações de beneficiamento, podendo contribuir para o aumento das concentrações de partículas em suspensão no ambiente atmosférico adjacente às unidades industriais.

Em razão do potencial de emissão de partículas, as unidades de processamento de soja frequentemente utilizam equipamentos de controle, como ciclones e filtros de mangas, para reduzir a dispersão de material particulado para a atmosfera.

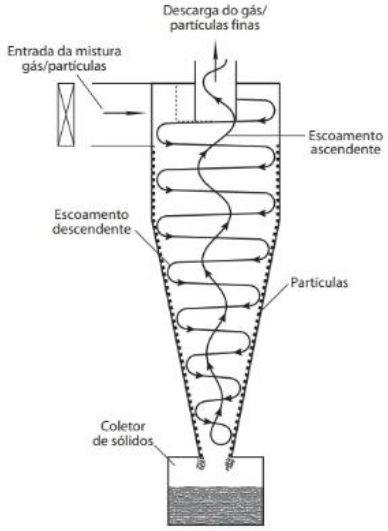
3.6 Métodos de controle de emissão de MP

Para um controle eficaz do MP, é fundamental compreender o estado físico do poluente e, a partir dessa análise, selecionar o equipamento mais adequado. Essa escolha deve levar em conta não apenas a eficiência técnica, mas também o cumprimento das legislações vigentes (Oliveira, 2014).

Um dos equipamentos mais conhecidos é o filtro de mangas, amplamente utilizado para reduzir a dispersão de MP. Esse equipamento apresenta baixo custo de implementação, fácil operação e elevada eficiência. Entretanto, para garantir seu desempenho, é imprescindível que a limpeza dos filtros seja realizada regularmente, mantendo as mangas desobstruídas e assegurando seu pleno funcionamento. Seu princípio de operação baseia-se na passagem do fluido contendo MP por mangas porosas, onde ocorre a deposição das partículas coletadas, formando uma torta de filtração (Tavares, 2013; Oliveira, 2014).

O ciclone é um equipamento usado principalmente para a separação de partículas em uma corrente gasosa. O material é separado por meio de uma forma centrífuga, aplicada ao fluxo, separando em duas seções, o orifício superior e a base do coletor, onde ficará o MP, como demonstrado na Figura 3. A eficiência do equipamento depende de seu dimensionamento, mas funciona melhor com partículas maiores, como 10 µm (Oliveira, 2014).

Figura 3 - Escoamento em um ciclone



Fonte: Cremasco, 2012.

Outro equipamento que pode ser empregado é o precipitador eletrostático, que através das forças eletrostáticas remove partículas sólidas suspensas em fluxos gasosos. Existem dois principais precipitadores, de placas e de tubos, partes que possuem uma polaridade positiva e os eletrodos têm negativas, fazendo com que as partículas passem por uma descarga negativa, atraindo as placas ou tubos (Contato, 2023).

Ainda de acordo com Contato (2023) lavador de gases é um equipamento que remove as impurezas dos gases industriais. Um spray produz gotículas que atuam na remoção do MP, através da colisão por inércia, difusão, interceptação e/ou absorção do material. A captura por difusão acontece principalmente com partículas de diâmetro menor que 0,3 µm.

Quadro 1 - Equipamentos de controle de emissões

Equipamento	Princípio de operação	Vantagens	Limitações
Ciclone	Separação das partículas da corrente gasosa por meio da aplicação de força centrífuga ao fluxo, direcionando o material particulado para a base do coletor	Projeto estrutural compacto e de operação simples, baixo custo de implementação	Alta sensibilidade a gases em temperaturas elevadas
Filtro-Manga	Retenção do material pela passagem do fluido através de mangas porosas, com a consequente formação de uma torta de filtração	Elevada eficiência de coleta, aliada a um baixo custo de implementação e facilidade operacional	Baixa eficiência na remoção de partículas finas
Precipitador Eletrostático	Remoção de partículas por meio de forças eletrostáticas, nas quais as partículas passam por uma descarga negativa e são atraídas até superfícies coletoras de polaridade positiva	Equipamento de alta robustez e elevada eficiência na remoção de partículas sólidas em suspensão presentes em fluxos gasosos	Não pode ser utilizado caso os gases industriais contenham substâncias inflamáveis ou explosivas
Lavador de Gases	emoção de impurezas utilizando um spray de gotículas que atuam na captura do material particulado através de mecanismos como a colisão por inércia	Capacidade de tratamento misto, realizando a remoção simultânea de impurezas gasosas (gases solúveis) e material particulado, capturando inclusive frações finas	A poluição do ar é transferida para a água, exigindo a construção de uma estação de tratamento de água associada

Fonte: adaptado de Oliveira (2014).

A partir do Quadro 1 é possível analisar a relação entre cada equipamento citado, seu princípio de operação e nível de eficiência, permitindo avaliar cada processo individualmente, facilitando a comparação entre eles

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção detalha os procedimentos experimentais e metodológicos empregados para a amostragem e a determinação quantitativa das concentrações de PTS. O estudo foi conduzido nas imediações de uma unidade agroindustrial, voltada para a extração do óleo de soja, localizada no município de Ponta Grossa-Pr. Com o intuito comparar dados físicos e históricos, o AGVPTS/CVV foi instalado no mesmo ponto de controle técnico utilizados em uma campanha de monitoramento atmosférico, realizado por uma empresa especializada, no mês de janeiro de 2026.

4.1 Materiais

Para a realização das amostragens do material particulado (MP), utilizou-se Amostrador de Grande Volume (AGV), Figura 4, equipado com controlador de vazão volumétrica (CVV) e cabeçote para amostragem de PTS da marca Somar, modelo AGVPTS/CVV.

Figura 4 - Amostrador de Grande Volume controlador de vazão volumétrica cabeçote para amostragem de PTS

Fonte: Autoria própria (2025).

Para a operação do equipamento, bem como para os procedimentos de calibração e garantia da precisão das medições, foram utilizados os seguintes materiais e acessórios:

- Kit calibrador padrão de vazão: composto por placas de resistência ao fluxo, placa adaptadora, mangueira e manômetro de coluna d'água em tubo "U", utilizado para a determinação da curva de calibração do equipamento;
- Transdutor de pressão, responsável pela medição da diferença de pressão gerada durante a operação e calibração do amostrador;
- Registrador gráfico com pena e carta gráfica utilizado para o registro contínuo da vazão ao longo do período de amostragem;
- Filtro de fibra de vidro de alta retenção, empregados como meio filtrante para a deposição gravimétrica do material particulado coletado;

- Dessecador com sílica gel, utilizado para a remoção da umidade dos filtros antes e após as amostragens, garantindo maior precisão nas determinações de massa;

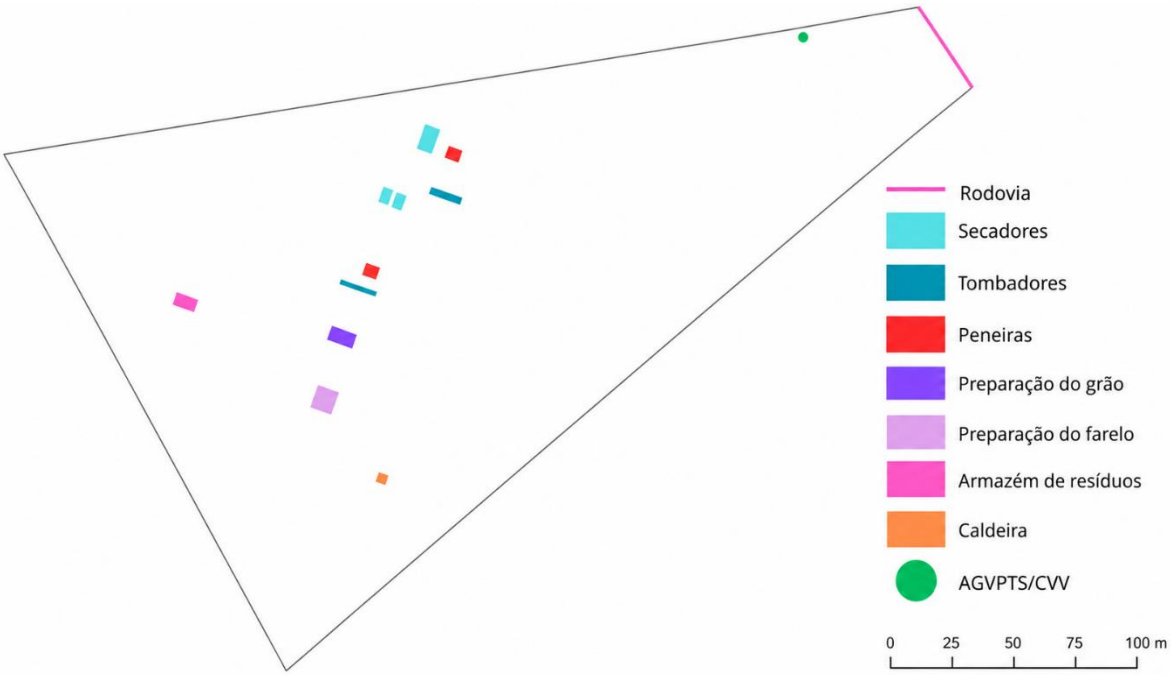
A utilização desses componentes é essencial para garantir a precisão da medição de vazão e a confiabilidade dos dados gravimétricos obtidos.

4.2 Métodos

O ponto amostral se fixou em uma área externa, Figura 5, localizada no quadrante oposto à direção predominante dos ventos locais, Figura 6, posicionado em uma distância de aproximadamente 460 m das principais fontes fixas de emissão, conjunto de secadores, e cerca de 220 m de uma rodovia de tráfego pesado.

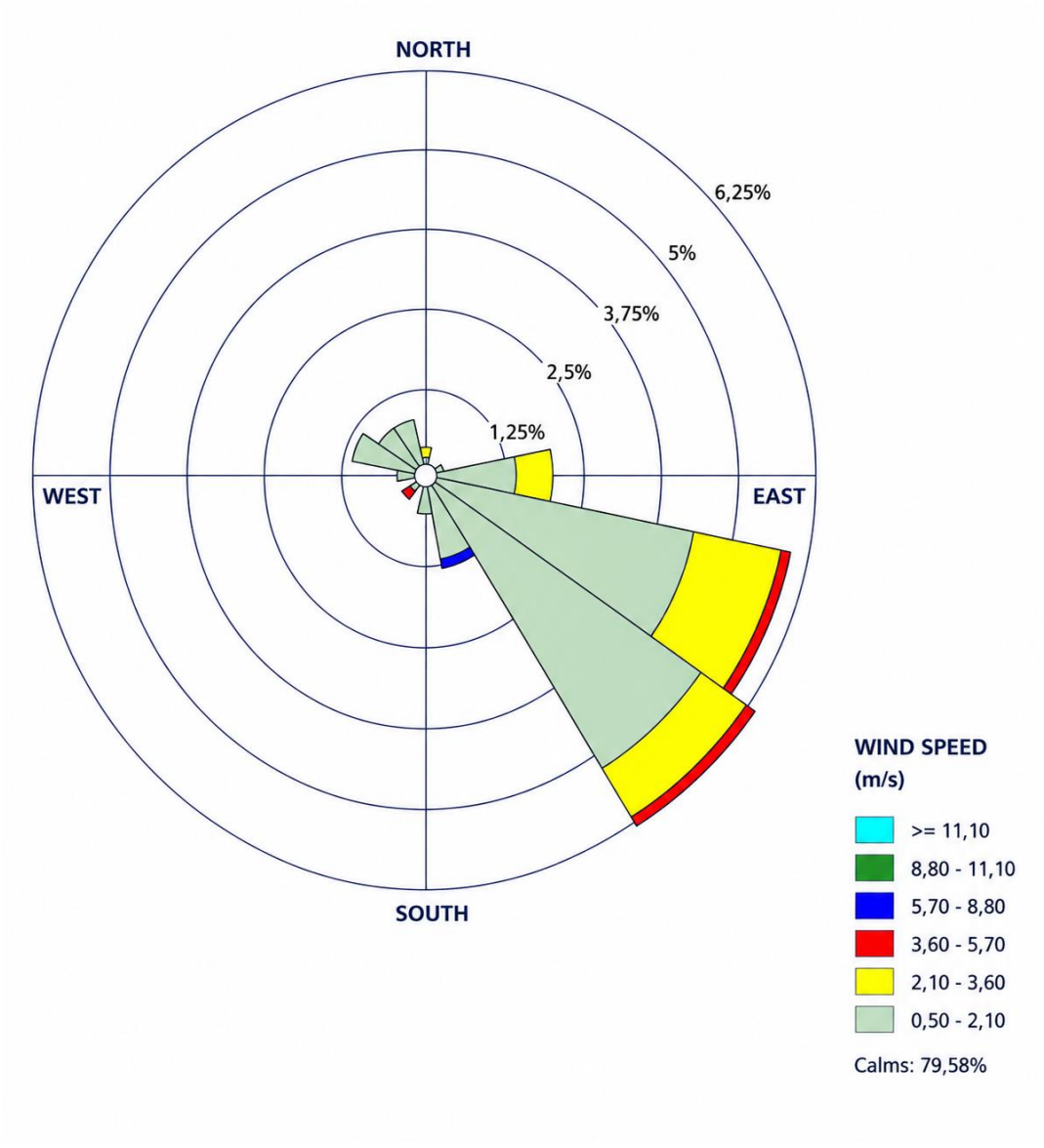
A seleção dessa coordenada atendeu aos critérios da norma ABNT NBR9457/1997, assegurando o fluxo livre de obstruções em um raio superior a 270° e o distanciamento de obstáculos locais.

Figura 5 - Planta esquematizada



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 6 - Rosa dos ventos do mês de abril, estação meteorológica de Ivaí



Fonte: Autoria própria (2026).

A rosa dos ventos da Figura 6 também corresponde à direção dos quadrantes da planta.

Antes do início da coleta de material, foi realizada a calibração do equipamento, a fim de garantir que os padrões de coleta estivessem corretos. Para isso, o equipamento foi alocado no local onde as amostras foram coletadas, assegurando que a calibração refletisse as condições reais.

A calibração foi realizada utilizando o kit padrão da fabricante SOMAR, composto por manômetro de coluna d’água, placas de resistência ao fluxo, placa adaptadora e mangueira. As placas de resistência foram inseridas no porta-filtro

conforme a sequência estabelecida pelo fabricante 8, 9, 10, 13 e 18, onde conforme menor o número de orifícios, maior a resistência do ar para chegar no filtro, fazendo com que a pressão de entrada na placa 8 seja maior em comparação a placa 18, ocorrendo de forma contrária na pressão de saída. Para cada configuração testada, anotou-se a respectiva diferença de pressão acusada no manômetro, cujos valores constam na Figura 7. Esses dados serviram de base para a construção da curva de calibração do equipamento.

Figura 7 - Tabela de calibração SOMAR

DADOS DO PADRÃO DE TRANSFERÊNCIA DA VAZÃO (PTV):

Identificação: **151** Último ensaio: **03/09/09**

Relação de calibração (da regressão linear):

Inclinação a_1: **1,8430** Intercepto b_1: **-0,0240** Correl. r_1: **0,9990**

TABELA DE DADOS E RESULTADOS:

	dH_c (no orifício do CPV)			dHf (no filtro)					(Y)	Q_r(CPV) Vazão (b)	(X) Q_r(CPV)/
	p/cima	p/baixo	total	p/cima	p/baixo	total	total	P_o=P_2-dH_f			
N° Placa	cm H_2O			cm H_2O			mmHg	mmHg	P_o/P_2	m^3/min	T_2^0,5
18	6,20	6,10	12,30	9,60	9,40	19,00	13,96	742,04	0,9815	1,2098	0,0700
13	6,00	5,80	11,80	14,40	14,00	28,40	20,87	735,13	0,9724	1,1852	0,0685
10	5,80	5,70	11,50	20,40	20,00	40,40	29,68	726,32	0,9607	1,1702	0,0677
9	5,60	5,40	11,00	25,30	25,00	50,30	36,96	719,04	0,9511	1,1448	0,0662
8	5,30	5,20	10,50	31,00	30,00	61,00	44,82	711,18	0,9407	1,1187	0,0647
Vazão Operacional:						42,40	31,15	724,85	0,9588		

(a) mmHg = 10 X cmH_2O/13,6

(b) $$Q_r(PTV) = \frac{1}{a_1}\left(\sqrt{dH_c\frac{T_2}{P_2}} - b_1\right)$$

Relação de Ensaio do CVV :

$$Y = a_2X + b_2, \quad onde \quad X = \frac{Q_r(CPV)}{(T_2)^{1/2}} \quad e \quad Y = \frac{P_o}{P_2}$$

Inclinação da reta (a_2): 7,9262

Intercepto da reta (b_2): 0,4269

Fator de correlação (r_2): 0,9939

Para cálculos posteriores da vazão do amostrador:

$$Q_r = \frac{1}{a_2}\left(\frac{P_o}{P_3} - b_2\right)\sqrt{T_3}$$

Vazão operacional com a nova Relação de Ensaio = 1,1603 m^3/min

Fonte: DIAS, 2019.

O ajuste foi considerado satisfatório quando o coeficiente de determinação (R^2) da regressão linear foi superior a 0,9, indicando adequada correlação entre os valores medidos e os previstos.

A Figura 8 apresenta os valores obtidos in loco para a calibração do equipamento, o coeficiente de determinação foi de 0,99, com a vazão operacional do ensaio sendo de 1,168 m^3/min, indicando que as condições de vazão volumétrica estão adequadas para as medições.

Figura 8 - Valores de calibração SOMAR

TABELA DE DADOS E RESULTADOS:

N° Placa	dH_c (no orifício do CPV) p/cima (cm H_2O)	p/baixo (cm H_2O)	total (cm H_2O)	dHf (no filtro) p/cima (cm H_2O)	p/baixo (cm H_2O)	total (cm H_2O)	total (mmHg)	$P_o=P_2-dH_f$ (mmHg)	(Y) P_o/P_2	Q_r(CPV) Vazão (b) m^3/min	(X) Q_r(CPV)/ T_2^0,5
18	5,00	6,00	11,00	8,00	9,30	17,30	12,71	681,09	0,9817	1,1946	0,0691
13	4,90	5,80	10,70	15,10	13,50	28,60	21,01	672,79	0,9697	1,1784	0,0681
10	4,90	5,75	10,65	18,40	17,20	35,60	26,16	667,64	0,9623	1,1756	0,0680
9	4,80	5,70	10,50	21,50	22,60	44,10	32,40	661,40	0,9533	1,1674	0,0675
8	4,70	5,50	10,20	30,00	29,70	59,70	43,86	649,94	0,9368	1,1508	0,0665
Vazão Operacional:						42,40	31,15	662,65	0,9551		

Relação de Ensaio do CVV :

Inclinação da reta (a_2): 18,1876

Intercepto da reta (b_2): -0,2732

Fator de correlação (r_2): 0,9922

Vazão operacional com a nova Relação de Ensaio = 1,1680 m^3/min

Fonte: Adaptado de DIAS, 2026.

Antes da realização das amostragens, foi feita a preparação dos filtros de fibra de vidro, mantendo-os em um dessecador, Figura 9, por no mínimo, 24 h para remoção da umidade. Essa etapa teve como objetivo determinar as massas iniciais dos filtros. Os filtros foram identificados sequencialmente, utilizando-se códigos como D1, D2 e assim sucessivamente, até a identificação dos doze filtros empregados nas amostragens.

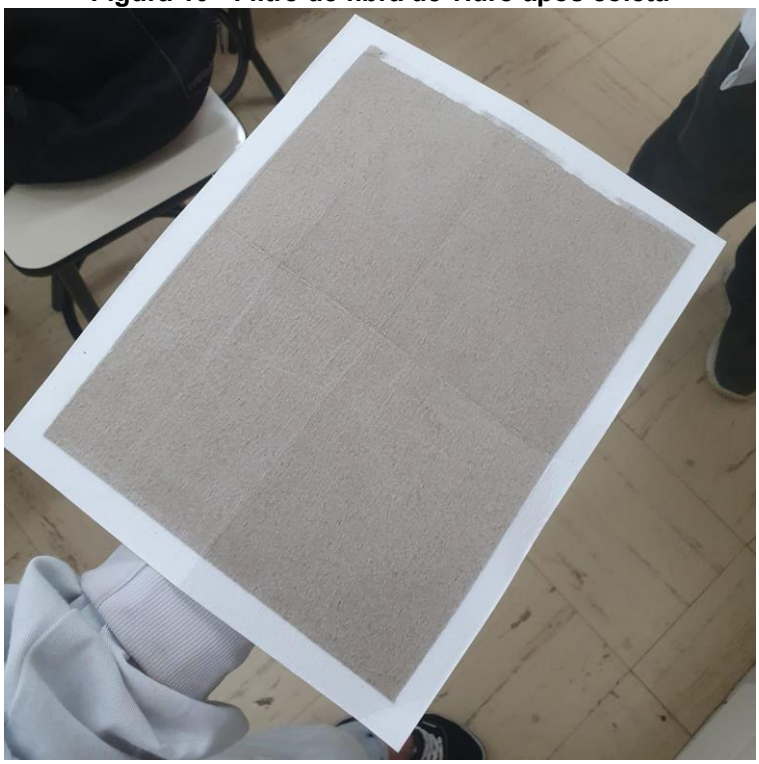
Figura 9 - Dessecador SOMAR

Fonte: Autoria própria (2025).

Após a preparação do sistema, os filtros foram inseridos no cabeçote do amostrador, e uma carta gráfica foi instalada no registrador para monitoramento contínuo da operação. Antes do início da coleta, foi registrado o valor do horímetro, bem como as condições ambientais médias, incluindo temperatura (T) e pressão atmosférica (P), utilizadas posteriormente na correção dos dados de vazão.

Ao final da coleta, o filtro continha o material particulado retido durante as horas de amostragem. A Figura 10 demonstra o aspecto do filtro após a coleta. Também foi verificado se a carta gráfica estava completa e sem interrupções decorrentes de quedas de energia, uma vez que essas ocorrências podem interferir diretamente nos resultados.

Figura 10 - Filtro de fibra de vidro após coleta



Fonte: Autoria própria (2025).

A concentração de partículas totais em suspensão foi determinada por método gravimétrico, com base na diferença entre as massas inicial e final dos filtros e no volume total de ar amostrado.

$$C = (M_f - M_i) / V \quad (1)$$

Em que:

C= Concentração de Material Particulado (µg/m³)

M_f= massa final do filtro (µg);

M_i= massa inicial do filtro (µg);

V= volume total de ar amostrado (m³).

Os valores de massa líquida são obtidos através das pesagens iniciais e finais do filtro, com uma balança analítica e o volume total de ar foi obtido por meio da tabela de amostragem fornecida pelo fabricante através dos dados de pressões iniciais e finais e tempo de coleta, mostrada na Figura 11, a qual aplica automaticamente as correções necessárias com base nos parâmetros operacionais registrados.

Figura 11 - Tabela de amostragem SOMAR

LOCAL E PERÍODO DE AMOSTRAGEM					
Local:	Energética - Rio		N° Estação:	E1	
Período nominal de amostragem:	24	horas			
Período de amostragem	Data-início:	29/10/09	Data-final:	30/10/09	
	Hora-início:	23:59	Hora-final:	23:59	
DADOS AMBIENTAIS					
Pressão barom. Média (P_3 ou P_s):	758	mmHg	Temp.média (T_3 ou T_s)	27	°C
Pressão barom. CONAMA (P_p):	760	mmHg		25	°C
DADOS DO ÚLTIMO ENSAIO DO AMOSTRADOR					
Dados da reta de ensaio:	a_2	7,9262	b_2 =	0,4269	r_2 = 0,9939
Data do último ensaio ou verificação:	20/10/09				
DADOS (LEITURAS) DO CAMPO					
Pressão diferencial no filtro (cm H_2O):	Inicial (dH_{fi}):		Final (dH_{ff}):		
	p/cima	p/baixo	total	p/cima	p/baixo	total
	21,4	21,0	42,4	21,9	21,7	43,6
Leitura do horâmetro:	Inicial:	53,73	Final:	77,73	
Leitura média da carta gráfica (D):	5,5				
DADOS DO FILTRO					
N° do filtro:	09/0002	Peso inicial (g):	2,8231	Peso final (g):	2,8975
CÁLCULOS					
Pressão diferencial média (dH_f), em cm H_2O [$(dH_f) = (dH_{fi} + dH_{ff})/2$]				=	43,0
Pressão direncial média (dH_{fHg}), em mmHg [$(dH_{fHg}) = (dH_f)/1,13$]				=	31,6
Pressão de estagnação ($\overline{P_s}$), em mmHg [$\overline{P_s} = P_3 - dH_{fHg}$]				=	726,4
Taxa de pressão média ($\overline{P_s} / P_3$)				=	0,958
Vazão média nas condições reais (Q_r), em m^3/min - obtida da equação da reta				=	1,161
Vazão média nas condições padrão (Q_p), em m^3/min [$Q_r (P_3/P_p)(T_p/T_3)$]				=	1,150
Período de amostragem (t), em minutos				=	1440
Volume nas condições padrão (V_p), em m^3, [$V_p=(Q_p)(t)$]				=	1.656,61
Peso líquido do material particulado (MP), em g, [$M_l = M_f - M_i$]				=	0,0744
Concentração de material particulado no ar (C_{PTS}), em µg/m^3 [$C_{PTS} = (M_l)(10^6)/V_p$]				=	44,91

Fonte: DIAS (2019).

Os resultados obtidos foram comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 506/2024, referente à qualidade do ar atmosférico, a fim de avaliar a conformidade das concentrações de MP observadas e a eficácia das medidas de controle implementadas pela indústria para a redução das emissões atmosféricas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O equipamento permaneceu dentro da indústria entre os dias 6 de fevereiro e 13 de março, mas o equipamento é 110V com tomada de 20 amperes e o local possuía uma corrente de 220V, necessitando da troca de voltagem e posterior a troca da tomada, pois devido ao tempo contínuo que o equipamento permanecia ligado ocorreu um pequeno curto-circuito, precisando novamente do apoio da equipe

eletricista. Então, diferente do programado, foram realizadas apenas 12 coletas, em dias não sequenciais. Na Tabela 2, também é possível perceber que 7 das coletas foram feitas com intervalos próximos a 24 horas, como 22,04 e 24,09 horas, mas outras 5 campanhas tiveram horários discrepantes, devido a necessidade de apoio da operação para troca dos filtros.

Tabela 2 - Data e horário de coleta de cada filtro

Data inicial	Hora inicial	Data final	Hora final	Filtro	Tempo de coleta (h)
12/02/2026	09:42:00	13/02/2026	09:39:00	D1	16,00
13/02/2026	09:46:00	14/02/2026	13:50:00	D2	24,09
14/02/2026	13:55:00	16/02/2026	09:54:00	D3	23,00
16/02/2026	09:59:00	18/02/2026	09:55:00	D4	70,00
18/02/2026	10:01:00	19/02/2026	08:29:00	D5	22,06
19/02/2026	08:36:00	20/02/2026	08:33:00	D6	28,09
02/03/2026	08:04:00	03/03/2026	08:12:00	D7	23,07
03/03/2026	13:35:00	04/03/2026	12:10:00	D8	22,03
04/03/2026	13:29:00	05/03/2026	13:35:00	D9	47,04
05/03/2026	13:36:00	06/03/2026	12:26:00	D10	23,01
10/03/2026	13:38:00	11/03/2026	12:49:00	D11	23,04
11/03/2026	12:53:00	12/03/2026	13:00:00	D12	22,04

Fonte: Autoria própria (2026).

A partir das etapas de pesagem descritas na metodologia, inicial, a seco, final com o PTS retido nos filtros e final seca, determinaram-se os valores de peso final dos filtros apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das pesagens dos filtros

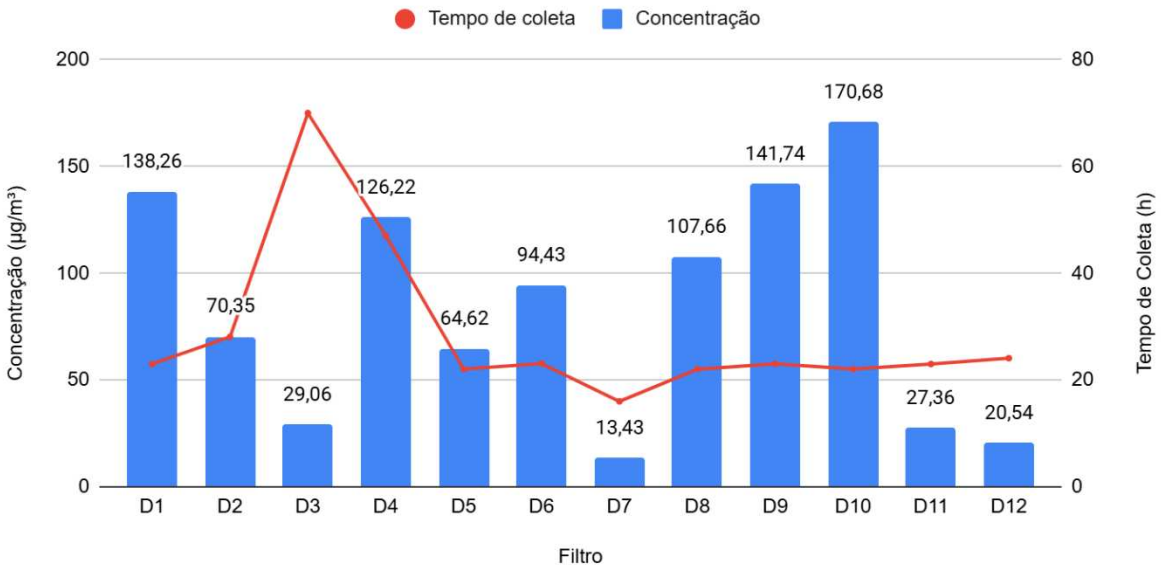
Filtro	pesagem 1	Pesagem 1 seco	Pesagem 2	Pesagem 2 Seco	Peso amostra
D1	2,826	2,825	3,032	3,027	0,2025
D2	2,742	2,742	2,870	2,866	0,1241
D3	2,817	2,816	2,948	2,945	0,1289
D4	2,873	2,872	3,254	3,245	0,3727
D5	2,852	2,851	2,943	2,940	0,0896
D6	2,923	2,921	3,059	3,058	0,1367
D7	2,887	2,883	2,897	2,896	0,0131
D8	2,747	2,746	2,898	2,897	0,1509
D9	2,717	2,717	2,955	2,923	0,2068
D10	2,738	2,737	2,970	2,969	0,2317
D11	2,732	2,731	2,772	2,771	0,0401
D12	2,732	2,725	2,757	2,756	0,0305

Fonte: Autoria própria (2026).

Posteriormente, aplicou-se a Equação 1 para determinar as concentrações de MP coletadas ao longo das doze campanhas diárias de monitoramento de PTS, no ponto de coleta. Os resultados dessa análise e a

respectiva correlação com o respectivo tempo de coleta estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Resultados de concentração obtidos nas campanhas



Fonte: Autoria própria (2026).

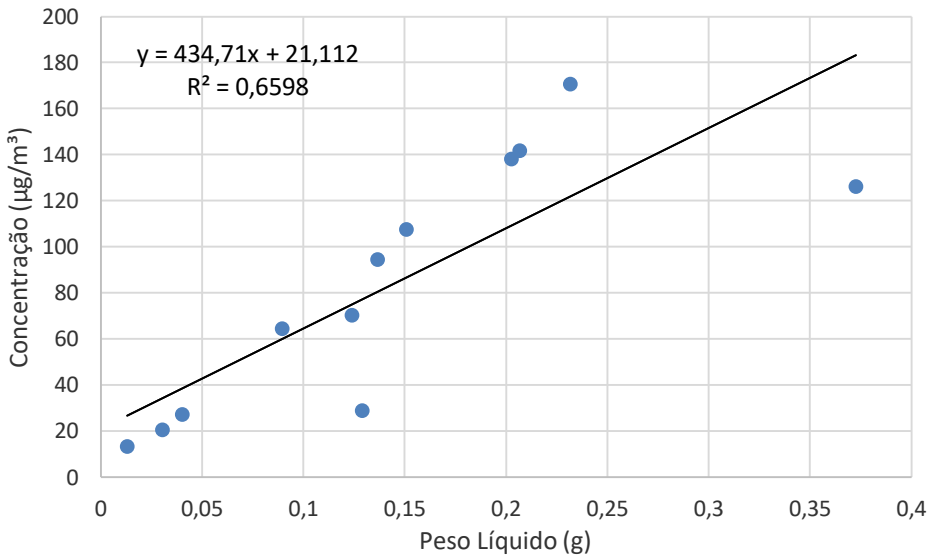
As concentrações obtidas variaram entre 13,43 e 170,68 µg/m³, resultando em média ponderada de 79,98 µg/m³, utilizando o tempo de coleta como fator de ponderação, uma vez que o tempo variou de acordo com o dia de amostragem. O desvio padrão amostral das concentrações observadas foi de 53,97 µg/m³.

A partir dos dados da Figura 12, observa-se que não houve uma tendência clara de aumento ou redução da concentração em função da duração das amostragens. Isso se mantém mesmo nas coletas em que o tempo de amostragem foi superior a 24 horas, conforme recomendado pela metodologia empregada, embora as concentrações tenham apresentado ampla variação. Além disso, as campanhas com tempos de coleta superiores à média não resultaram, necessariamente, nas maiores concentrações de PTS. Portanto, os resultados sugerem que as variações observadas estão mais relacionadas às condições operacionais da fonte emissora e aos fatores meteorológicos do que, propriamente, ao tempo de amostragem.

A Figura 13 apresenta a relação entre a massa de MP coletada no filtro e a concentração de PTS calculada para cada campanha. Observa-se uma tendência crescente entre as variáveis, indicando que maiores massas retidas nos filtros resultaram em concentrações mais elevadas de MP no ar. Esse comportamento é coerente com a metodologia empregada, uma vez que a concentração é diretamente

influenciada pela quantidade de partículas coletadas durante a amostragem. A dispersão relativamente reduzida dos pontos sugere consistência dos resultados obtidos, embora algumas observações apresentem comportamento ligeiramente distinto da tendência geral.

Figura 13 - Gráfico comparativo entre concentração e peso líquido



Fonte: Autoria própria (2026).

Na Tabela 4 é possível observar as correlações entre os dias de coleta e a umidade relativa do ar, durante o período de amostragem.

Tabela 4 - Dados relativos a cada coleta

Filtro	Concentração (µg/m³)	Tempo de coleta (h)	Data inicial	Hora inicial	Data final	Horal final	Umidade relativa do ar (%)
D1	138,26	23,01	12/02	09:42	13/02	09:39	96,50
D2	70,35	28,09	13/02	09:46	14/02	13:50	92,25
D3	29,06	70,00	14/02	13:55	16/02	09:54	81,84
D4	126,22	47,04	16/02	09:59	18/02	09:55	81,40
D5	64,62	22,06	18/06	10:01	19/02	08:29	85,30
D6	94,43	23,07	19/02	08:36	20/02	08:33	77,18
D7	13,43	16,00	02/03	08:04	03/03	08:12	86,84
D8	107,66	22,03	03/03	13:35	04/03	12:10	75,70
D9	141,74	23,04	04/03	13:29	05/03	13:35	73,32
D10	170,68	22,04	05/03	13:36	06/03	12:26	68,27
D11	27,36	23,00	10/03	13:38	11/03	12:49	99,70
D12	20,54	24,09	11/03	12:53	12/03	13:00	97,91

Autoria própria (2026).

Os maiores valores foram observados nas campanhas D10 (170,68 µg/m³), D9 (141,74 µg/m³), D1 (138,26 µg/m³) e D4 (126,22 µg/m³), enquanto as menores concentrações ocorreram em D7 (13,43 µg/m³), D12 (20,54 µg/m³), D11 (27,36 µg/m³)

e D3 (29,06 µg/m³). Essa amplitude evidencia a influência de fatores operacionais e meteorológicos sobre a dispersão do MP.

5.1. Influência Meteorológica

A integração dos dados meteorológicos, obtidos através do INMET, Instituto Nacional Meteorológico, na estação meteorológica automática de Ivai. A estação meteorológica utilizada, a aproximadamente 70 km da área de estudo em Ponta Grossa, o que pode introduzir incertezas na representatividade das condições meteorológicas locais.

A temperatura, umidade e regime de ventos, vistas na Tabela 5, com as concentrações medidas permitiu modelar e discutir a influência das variáveis ambientais na dispersão dos poluentes.

Tabela 5 - Dados meteorológicos de Ivaí, 12/02 a 13/03/26

Filtro	temperatura média do dia	Umidade relativa do ar	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento	Chuva (mm)	Concentração (µg/m³)
D1	23,56	85,08	0,42	Sul-Sudoeste	0,41	138,26
D2	22,29	89,00	0,22	Sul-Sudoeste	0,32	70,35
D3	23,96	76,18	0,14	Sudeste	0,00	29,06
D4	23,77	79,78	0,09	Sul-Sudoeste	0,08	126,22
D5	22,35	86,04	0,31	Sul	0,08	64,62
D6	24,90	74,52	0,14	Sul	0,00	94,43
D7	20,30	79,60	0,08	Sudeste	0,00	13,43
D8	21,98	74,80	0,02	Sul-Sudeste	0,00	107,66
D9	23,84	66,04	0,11	Sul	0,00	141,74
D10	23,81	65,63	0,06	Sudeste	0,00	170,68
D11	20,53	79,92	0,64	Sudeste	0,00	27,36
D12	20,50	83,00	0,67	Sudeste	0,04	20,54

Fonte: Autoria própria (2026).

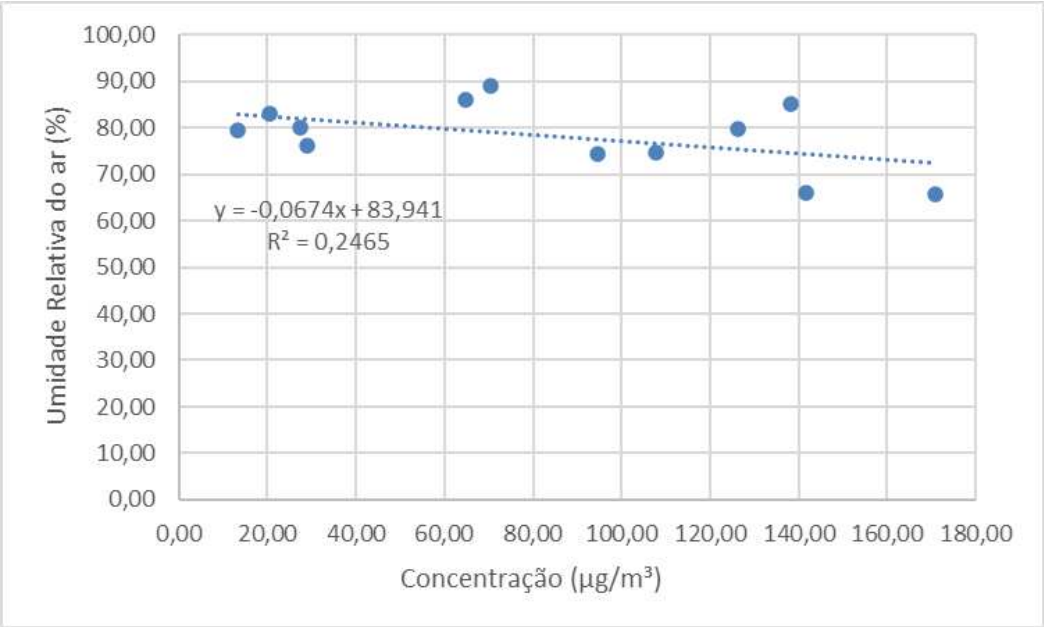
Ao analisar os dados meteorológicos diários, observa-se que a direção do vento influenciou nos picos de dispersão. Durante todo o monitoramento, o vento soprou predominantemente dos quadrantes Sul, Sudeste e Sul-Sudoeste. Como as principais fontes de emissão da planta (secadores, tombadores e peneiras) estão localizadas justamente nessas direções em relação ao ponto de coleta, o vento atuou transportando diretamente a poeira industrial para o sensor.

Além disso, as velocidades do vento registradas foram muito baixas, com 10 dias ficando abaixo de 0,5m/s. Esses ventos fracos diminuem a dispersão física dos poluentes na atmosfera, provocando o acúmulo de material particulado. Isso explica perfeitamente por que os dias com as menores velocidades de vento (como D10 com 0,06m/s e D9 com 0,11m/s registraram as maiores concentrações de PTS do estudo (170,68µg/m³ e 141,74µg/m³ respectivamente). Devido à distância física até a estação meteorológica de Ivaí, os parâmetros climáticos utilizados devem ser interpretados

como uma aproximação regional, admitindo-se margens de incerteza para o específico da planta industrial.

A Figura 14 apresenta a relação entre a umidade relativa do ar e a concentração de PTS durante as campanhas de monitoramento. Observou-se que algumas das menores concentrações coincidiram com períodos de elevada umidade relativa do ar, superior a 95%, sugerindo o favorecimento da deposição úmida das partículas e, consequentemente, a redução de sua permanência em suspensão na atmosfera.

Figura 14 - Gráfico comparativo entre umidade relativa do ar e concentração



Fonte: Autoria própria (2026).

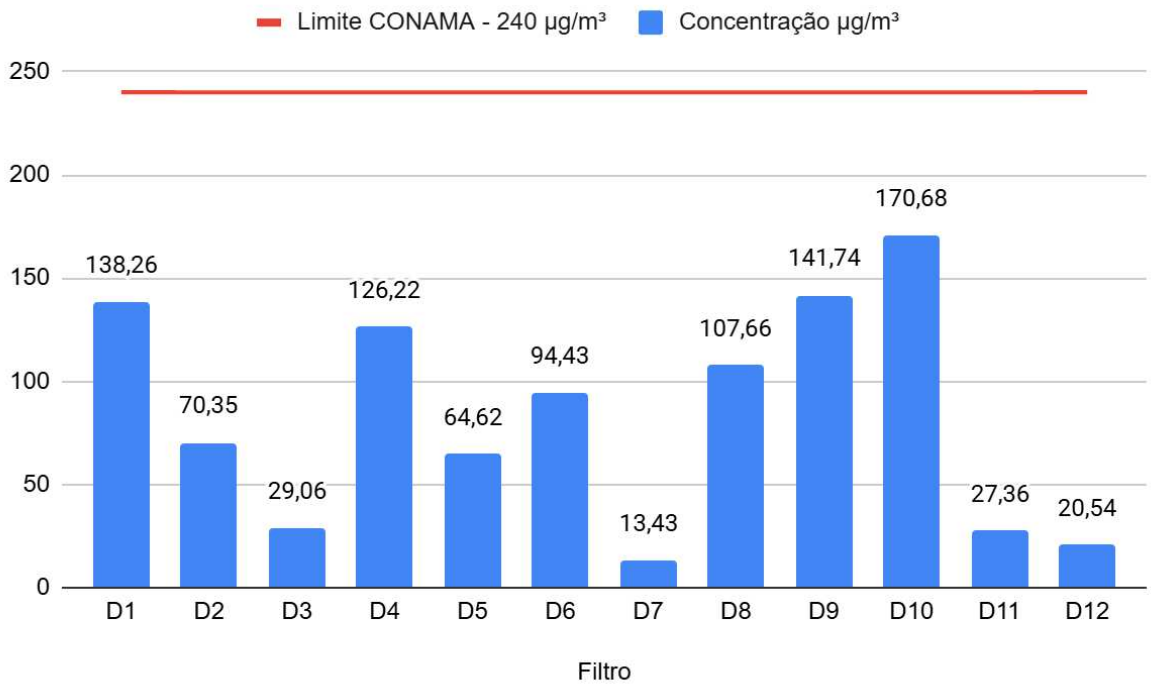
Entretanto, a dispersão dos pontos demonstra que a umidade não foi o único fator responsável pelas variações observadas, indicando também a influência de aspectos meteorológicos adicionais e das condições operacionais da fonte emissora. Dessa forma, os resultados evidenciam que a umidade relativa do ar exerceu influência sobre a concentração de PTS, porém sem estabelecer uma correlação linear forte entre as variáveis.

5.2. Avaliação da Conformidade com a Resolução CONAMA nº 506/2024

De acordo com a Resolução CONAMA nº 506/2024, os limites de concentração para PTS são de 240 µg/m³ em 24 horas e de 80 µg/m³ para a média anual.

Ao avaliar os dados das campanhas, por meio da Figura 15, nota-se que as medições respeitaram o padrão diário em todos os momentos monitorados. O pico de concentração registrado no período atingiu 170,68 µg/m³, o que representa cerca de 71% da tolerância máxima da norma, confirmando que a área estudada opera em total conformidade com as exigências ambientais vigentes.

Figura 15 - Comparativo das concentrações encontradas com o limite CONAMA



Fonte: Autoria própria (2026).

5.3. Comparação com Dados Externos

Para avaliar a evolução temporal da qualidade do ar na área monitorada, os resultados obtidos foram comparados com dados históricos da mesma empresa. No monitoramento anterior, entre os dias 20/01 a 26/01.

Tabela 6 - Dados campanha realizada por empresa especializada

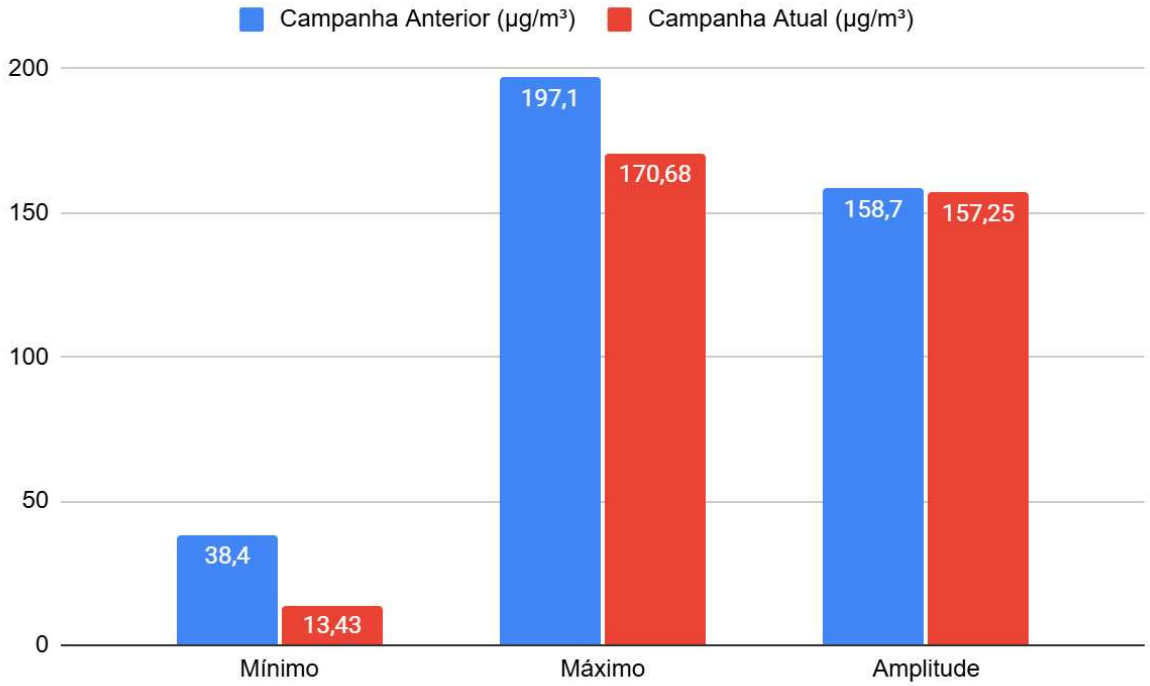
Monitoramento	Data de ínicio	Concentração (µg/m³)	Chuva (mm)
1	20/01/2026	74,4	0
2	21/01/2026	197,1	0
3	22/01/2026	51,2	0
4	23/01/2026	38,4	0
5	24/01/2026	44,4	0
6	25/01/2026	46,6	0
7	26/01/2026	125,6	0

Fonte: Adaptado relatório de monitoramento (2026).

Na Tabela 6, é possível observar os dados coletados na campanha, ao contrário dos dados coletados para este estudo, com dados de umidade relativa do ar (%), esta coleta apresenta dados de chuva (mm) ocorrido no dia da pesquisa.

As concentrações de PTS variaram entre 38,4 e 197,1 µg/m³. Já na campanha para este estudo, os valores oscilaram entre 13,43 e 170,68 µg/m³.

Figura 16 - Comparação com campanha realizada por empresa especializada



Fonte: autoria própria (2026).

Observa-se, com a Figura 16, que a concentração máxima registrada no presente estudo foi inferior à observada anteriormente, enquanto o valor mínimo apresentou redução mais significativa. A amplitude das concentrações manteve-se

praticamente constante entre os dois períodos, indicando comportamento semelhante da dispersão atmosférica e das emissões associadas ao processo produtivo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos durante a campanha de monitoramento permitiram determinar as concentrações de PTS nas imediações de uma indústria de processamento de soja, com emissão contínua de MP, localizada em Ponta Grossa - PR.

Os valores aferidos durante as amostragens apresentaram variação entre aproximadamente 13,43 µg/m³ e 170,68 µg/m³, evidenciando variabilidade significativa nas condições de dispersão e concentração do MP ao longo do período monitorado. Apesar das oscilações observadas, nenhuma das amostras ultrapassou o limite diário de 240 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 506/2024 para PTS no período analisado.

A oscilação observada entre os resultados sugere que o comportamento das emissões atmosféricas não ocorre de maneira constante, podendo sofrer influência das condições operacionais do processo industrial, movimentação de materiais, eficiência momentânea dos sistemas de controle e condições atmosféricas durante as coletas.

Os dados meteorológicos sugerem que as chuvas e a maior dispersão ajudaram a reduzir levemente as concentrações de PTS por deposição úmida. Em contrapartida, os maiores registros coincidiram com cenários de ventos fracos vindos do quadrante Sul/Sudeste, onde ficam as principais estruturas da planta, o que pode ter dificultado a diluição das partículas. Contudo, como as informações climáticas vieram da estação regional de Ivaí, esses fatores indicam apenas uma tendência, admitindo-se variações para a localização da unidade.

A comparação com o histórico terceirizado apresentou concentrações variando entre aproximadamente 38,42 µg/m³ e 197,09 µg/m³, valores da mesma ordem de grandeza daqueles encontrados neste trabalho.

De maneira geral, este estudo realizou um levantamento de dados exploratórios da qualidade do ar no entorno industrial monitorado sendo ponte para um trabalho de verificação da eficácia das estratégias ambientais adotadas pela empresa no controle das emissões atmosféricas de MP.

Diante do exposto, sugerem-se os seguintes tópicos para aprofundamento do tema:

- Campanha de coleta de MP_{10} e $MP_{2,5}$;

Uma vez que o assunto de emissão de material particulado na atmosfera está afunilando cada vez mais, e esses tamanhos de partículas apresentam maior risco à saúde, além de possibilitar a comparação com agências regulatórias internacionais.

- Caracterização química do material coletado nos filtros;

Dessa forma, seria possível entender melhor as emissões naquele ponto, como sua fonte e origem.

- Campanhas mais longas de 30, 60, 120 dias.

O estudo com maiores números de campanhas possibilitaria comparações mais robustas com fatores meteorológicos, estações do ano, e até mesmo comparação entre a alta e a baixa da safra soja, avaliando impactos operacionais da fábrica.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Declaramos que a ferramenta, Gemini versão 3.5 Flash, de inteligência artificial foi utilizada exclusivamente como recurso de apoio à revisão textual deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Sua utilização restringiu-se à correção ortográfica, revisão gramatical e aprimoramento da coerência, coesão, clareza e fluidez do texto, não sendo empregada para a elaboração do conteúdo científico, desenvolvimento da metodologia, análise dos resultados, interpretação dos dados ou formulação das conclusões.

Declaramos, ainda, que todo o conteúdo técnico, científico e metodológico apresentado neste Trabalho de Conclusão de Curso é de nossa autoria, assumindo integral responsabilidade pela originalidade, veracidade e integridade das informações nele contidas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). Projeções para a safra de soja 2024 foram atualizadas. Disponível em: https://abiove.org.br/abiove-projecoes-para-a-safra-de-soja-2024-foram-atualizadas/ Acesso em: 25 jun. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Material Particulado em Suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. 10p. (ABNT NBR 9547). 1997.

AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE. **Air pollution and health impacts**. Copenhague: EEA, 2022. Disponível em: https://www.eea.europa.eu/themes/air/airpollution-sources. Acesso em: 14 mar. 2026.

BELO, P. I. D.; TOFOLI, R. Quantificação dos níveis de partículas finas MP2,5 no município de Vitória. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2011. Disponível em: https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/quantificacao_dos_niveis_de_particulas_finas_mp25_no_municipio_de_vitoria.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 003, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 22 ago. 1990.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 20 nov. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar e estabelece diretrizes para sua aplicação. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 jul. 2024.

CREMASCO, Marco Aurélio. *Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos.* São Paulo: Blucher, 2012.

CONSELHO REGIONAL DOS REPRESENTANTES COMERCIAIS NO ESTADO DO PARANÁ. Com maior polo industrial do interior do Paraná, Ponta Grossa traz diversas oportunidades a representantes comerciais. 2023. Disponível em: https://www.corepr.org.br/com-maior-polo-industrial-do-interior-do-parana-ponta-grossa-traz-diversas-oportunidades-a-representantes-comerciais/. Acesso em: 15 fev. 2025.

CONTATO, W. E. Análise teórica de equipamentos utilizados para tratamento de materiais particulados. 2023. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

DIAS, José Walderley Coêlho. Manual de operação: amostrador de grande volume (AGV) para partículas totais em suspensão (PTS) com controle volumétrico da vazão (CVV). Revisão 05. Rio de Janeiro: SOMAR Indústria, Comércio e Serviços, 2019. 105 p.

GIODA, A. et al. A review on atmospheric analysis focusing on public health, environmental legislation and chemical characterization. Critical Reviews in Analytical Chemistry, v. 52, n. 8, p. 1772–1794, 2022. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34092145/. Acesso em: 11 nov. 2024.

HOINASKI, L. Avaliação de métodos de identificação de fontes emissoras de MP inalável (MP10). 2010. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Relatório de Evolução da Qualidade do Ar da RMGV - 2024. Espírito Santo: IEMA, 2024

KAWASHIMA, A., MARTINS, L., RAFEE, S. et al. Development of a spatialized atmospheric emission inventory for the main industrial sources in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 35941-35951, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-020-08281-7.

MACHADO, G. P. Avaliação espacial e sazonal das concentrações de partículas totais em suspensão e elementos metálicos associados no ar do município de Ribeirão Preto/SP. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-04072018-155542/publico/GABRIELPINHEIROMACHADO.pdf. Acesso em: 20 maio 2025.

MOLINA, M. J.; MOLINA, L. T. Megacities and atmospheric pollution. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 54, n. 6, p. 644-680, 2004. DOI: 10.1080/10473289.2004.10470936.

MONTEIRO, M. D. O. Perfil de metais nas partículas atmosféricas de Manaus/AM. 2025. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/10885/2/DISS_MarcosMonteiro_PPGQ.pdf. Acesso em: 20 maio 2025.

OLIVEIRA, J. G. Controle de emissão de MP em sistemas de britagem. Chapecó: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2014. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1136/1/OLIVEIRA.pdf. Acesso em: 1 jul. 2025.

PARANÁ. Instituto Água e Terra. Plano de Controle de Emissões Atmosféricas do Paraná – PCEAPAR. Curitiba: IAT, 2024. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/. Acesso em: 20 jun. 2025.

SILVA, D.; SILVA, E.; OMETTO, A. Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. Production, v. 26, n. 3, p. 642-655, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.032513.

TAVARES, A. S. Avaliação de meios filtrantes porosos para a remoção de material particulado em efluentes gasosos industriais. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

VIEIRA, L. O custo das mortes prematuras associadas à exposição ao MP: o caso de São José dos Campos, SP. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air pollution**. Genebra: WHO, 2021. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health. Acesso em: 11 nov. 2024.