

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CRISTINA SOARES DA SILVA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA
CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (PTS E MP10) UTILIZANDO
MONITORAMENTOS DA QUALIDADE DO AR

CURITIBA/PR

2023

CRISTINA SOARES DA SILVA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA
CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (PTS E MP10) UTILIZANDO
MONITORAMENTOS DA QUALIDADE DO AR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Departamento de Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universität Stuttgart, Alemanha, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Cesar Raimundo

Coorientador: Prof. Dr. Andreas Friedrich Grauer

CURITIBA/PR

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Silva, Cristina Soares da

Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado (PTS E MP10) utilizando monitoramentos da qualidade do ar / Cristina Soares da Silva. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Rodrigo Cesar Raimundo

Coorientador: Andreas Friedrich Grauer

1. Meteorologia – Observações. 2. Pesquisa meteorológica. 3. Material particulado. 4. Deposição. 5. Ar - Poluição. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. III. Raimundo, Rodrigo Cesar. IV. Grauer, Andreas Friedrich. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CRISTINA SOARES DA SILVA** intitulada: **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (PTS E MP10) UTILIZANDO MONITORAMENTOS DA QUALIDADE DO AR**, sob orientação do Prof. Dr. RODRIGO CESAR RAIMUNDO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 10 de Abril de 2023.

Assinatura Eletrônica
26/04/2023 21:41:21.0
RODRIGO CESAR RAIMUNDO
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
24/04/2023 15:22:11.0
ANDREAS FRIEDRICH GRAUER
Coorientador(a)

Assinatura Eletrônica
26/04/2023 17:32:28.0
JORGE FERREIRA DE SA JÚNIOR
Avaliador Externo (FACULDADES DA INDÚSTRIA DO SISTEMA FIEP)

Assinatura Eletrônica
25/04/2023 03:48:03.0
EMILIO GRACILIANO FERREIRA MERCURI
Avaliador Externo (55001149)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de chegar até aqui. À minha família, especialmente minha mãe que sempre me apoiou para que eu não desistisse e aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado me incentivando.

AGRADECIMENTOS

Certa feita me deparei com a seguinte frase: “Basta uma pessoa certa para que você chegue onde jamais chegaria sozinho” e, realmente eu não teria conseguido concluir todas as disciplinas obrigatórias, optativas e desenvolver a dissertação se não fosse o apoio de vocês. Por essa e outras razões, deixo registrado os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente a Deus, pois Ele me concedeu o dom da vida e permitiu que mesmo sendo tão pequena e falha, me deu a oportunidade de cursar o mestrado.

À minha família e principalmente à minha amada mãe que, desde sempre deixou suas prioridades para atender as minhas, a qual nunca mediu esforços para que eu alcançasse meus objetivos. Sempre compreendeu os meus momentos reservados para estudos e desejou boa sorte nas avaliações e apresentações. Você é meu exemplo e meu porto seguro.

À minha predileta amiga Sara, que tem sido uma das pessoas mais incríveis que tenho a oportunidade de conviver. É quem renova as minhas forças nos momentos que penso em desistir e mostra o quão grande é o meu potencial. Obrigada por todo suporte, tenho certeza que sem você minha caminhada teria sido ainda mais difícil.

Aos meus chefes Fernando e Rosa que, concordaram com a minha participação no MAUI e acreditaram no meu potencial. Aos meus colegas de trabalho, especialmente ao meu querido amigo Fabricio, a quem devo gratidão por todo ensinamento.

A todos os professores do PPGMAUI que contribuíram no meu aprendizado e na minha evolução pessoal e profissional. Em especial, agradeço aos professores Joubert e Carlos que por um período me orientaram.

Aos meus orientadores Rodrigo e Andreas, sou grata pela confiança, paciência e dedicação empenhada a mim e ao meu trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Emilio e Jorge que, gentilmente aceitaram o convite em participar e colaborar com esta dissertação.

A todos vocês, meus sinceros agradecimentos!

“Sorte é o que acontece quando a preparação encontra a oportunidade”.

Lúcio Aneu Sêneca

RESUMO

O desenvolvimento urbano e industrial têm ocasionado o aumento das emissões de poluentes atmosféricos que são responsáveis por danos à saúde humana, desequilíbrio e degradação dos ecossistemas. Além das emissões veiculares, as industriais respondem pela emissão de grande parte da quantidade de material particulado no ar, um poluente atmosférico, cujo tamanho está intimamente ligado ao seu potencial de toxicidade. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de condições meteorológicas na concentração de material particulado (PTS – Partículas Totais em Suspensão e MP10 – Material Particulado Inalável) utilizando dados de monitoramentos da qualidade do ar industrial realizados em frequência trimestral no período Setembro de 2017 a Dezembro de 2022. Foram realizados testes estatísticos de correlação entre as variáveis climáticas e a concentração de MP10 e PTS, além da construção de rosa dos ventos para avaliação da influência dos ventos na concentração das partículas e identificação de fontes de contribuição. As maiores concentrações de material particulado foram identificadas durante os monitoramentos realizados em Setembro, mês que também apresentou os menores volumes de chuva. Mediante análise de correlação de Spearman, observou-se correlação significativa entre a concentração do PTS - MP10 e o parâmetro meteorológico precipitação, sendo esta uma correlação negativa. Verificou-se também que a predominância dos ventos durante os monitoramentos foi nos setores e sudeste, onde estão localizados campos agrícolas.

Palavras-chave: Parâmetros Meteorológicos. Partículas Inaláveis. Partículas Totais em Suspensão. Deposição Úmida. Monitoramento Atmosférico Industrial.

ABSTRACT

Urban and industrial development have led to an increase in emissions of air pollutants that are responsible for damage to human health, imbalance and degradation of ecosystems. In addition to vehicular emissions, industrial companies account for the emission of a large part of the amount of particulate matter in the air, an air pollutant, whose size is closely linked to its potential toxicity. The objective of this study was to evaluate the influence of meteorological conditions on the concentration of particulate matter (TSP – Total Suspended Particles and PM10 – Inhalable Particulate Matter) using data from industrial air quality monitoring carried out on a quarterly basis from September 2017 to December 2022. Statistical tests of correlation between climatic variables and the concentration of PM10 and PTS were carried out, in addition to the construction of the pollutants' rose to evaluate the influence of the winds on the concentration of the particles and to identify sources of contribution. The highest concentrations of particulate matter were identified during the monitoring carried out in September, the month that also had the lowest volume of rainfall. Spearman's correlation analysis showed a significant correlation between the concentration of PTS - PM10 and the meteorological parameter precipitation, which was a negative correlation. It was also found that the predominance of winds during the monitoring was in the southeast sectors, where agricultural fields are located.

Keywords: Meteorological Parameters. Inhalable Particles. Total Suspended Particles. Wet Deposition. Industrial Atmospheric Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tempo de residência e formas de remoção de partículas na atmosfera. .	25
Figura 2 - Amostrador de grande volume AGV CVV PTS	28
Figura 3 - Amostrador de grande volume AGV CVV MP10	29
Figura 4 - Perímetro da empresa	35
Figura 5 - Localização do ponto de amostragem e das fontes internas no empreendimento	36
Figura 6 - Localização do ponto de amostragem e das fontes externas ao empreendimento	36
Figura 7 - Localização do ponto de amostragem até as residências mais próximas	37
Figura 8 - Estação meteorológica instalada junto aos amostradores de grande volume	38
Figura 9 - Exemplo de rosa dos ventos e rosa referente a pluviosidade	39
Figura 10 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados entre 2017 a 2022.....	47
Figura 11 - Rosa dos ventos exportada para o ponto de amostragem no Google Earth	48
Figura 12 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2017	53
Figura 13 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2018	54
Figura 14 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2019	54
Figura 15 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2020	55
Figura 16 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2021	56
Figura 17 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2022	56
Figura 18 - Rosa dos Ventos.....	71
Figura 19 - Rosa dos Poluentes	74
Figura 20 - Rosa dos poluentes – MP10 exportada para o ponto de amostragem no Google Earth.....	75
Figura 21 - Rosa dos poluentes – PTS exportada para o ponto de amostragem no Google Earth.....	76
Figura 22 - Rosa dos ventos referente ao mês de Março (3), Junho (6), Setembro (9) e Dezembro (12)	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Velocidade média dos ventos agrupados por ano.....	46
Gráfico 2 - Velocidade média dos ventos separados por mês.....	47
Gráfico 3 - Volume pluviométrico médio separado por ano	50
Gráfico 4 - Temperaturas médias agrupadas por ano	52
Gráfico 5 - Temperatura média separada por mês	52
Gráfico 6 - Concentração média de Material Particulado Inalável (MP10) separado por ano.....	58
Gráfico 7 - Concentração média de Material Particulado Inalável (MP10) separado por mês	59
Gráfico 8 - Concentração média de Material Particulado Inalável (MP10).....	59
Gráfico 9 - Concentração média de Partículas Totais em Suspensão (PTS) separados por ano	61
Gráfico 10 - Concentração média de Partículas Totais em Suspensão (PTS) separados por mês	62
Gráfico 11 - Concentração média de Partículas Totais em Suspensão (PTS).....	62
Gráfico 12 - Gráficos dos resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk	64
Gráfico 13 - Influência da chuva na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Dezembro/2017	66
Gráfico 14 - Influência da chuva na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Março/2021	67
Gráfico 15 - Influência da chuva na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Junho/2022	68
Gráfico 16 - Influência da temperatura na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Setembro/2019	69
Gráfico 17 - Influência da temperatura na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Junho/2021	70
Gráfico 18 - Influência da velocidade do vento na concentração de material particulado	72
Gráfico 19 - Influência da direção do vento na concentração de material particulado	74
Gráfico 20 - Resultados da variável pluviosidade agrupados por mês	77

Gráfico 21 - Concentração de material particulado (PTS e MP10) agrupados por mês e direção	80
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrões de Qualidade do Ar estabelecidos na Resolução SEMA 016/2014	22
Quadro 2 - Escala de Beaufort	31
Quadro 3 - Interpretação do coeficiente de correlação	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas em que foram realizados os monitoramentos	43
Tabela 2 - Estatística descritiva da variável Velocidade do Vento	45
Tabela 3 - Estatística descritiva da variável Pluviosidade	49
Tabela 4 - Estatística descritiva da variável Temperatura	51
Tabela 5 - Estatística descritiva da Concentração de MP10.....	57
Tabela 6 - Estatística descritiva da Concentração de PTS	60
Tabela 7 - Resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$) para os dados da concentração de material particulado e os dados meteorológicos avaliados	63
Tabela 8 - Correlação não paramétrica de Spearman entre a concentração de material particulado e as variáveis meteorológicas	65

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

- PTS - Partículas Totais em Suspensão
- AGV - Amostrador de Grande Volume
- MP10 - Material Particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente, igual a 10 (dez) micrômetros ou menor;

LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ - micrograma por metro cúbico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	18
2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DA QUALIDADE DO AR.....	21
2.3 MATERIAL PARTICULADO	24
2.4 MÉTODO DE AMOSTRAGEM.....	26
2.5 FATORES METEOROLÓGICOS QUE INFLUENCIAM NA REMOÇÃO OU DISPERSÃO DO MATERIAL PARTICULADO	30
2.5.1 VENTO.....	30
2.5.2 TEMPERATURA	32
2.5.3 PRECIPITAÇÃO	33
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR...34	34
3.2 DADOS UTILIZADOS NA PESQUISA	34
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA MONITORADA.....	35
3.4 INFORMAÇÕES SOBRE O LOCAL DE MEDIÇÃO	35
3.5 COLETA DOS DADOS METEOROLÓGICOS	37
3.6 CONSTRUÇÃO DA ROSA DOS VENTOS E ROSA DOS POLUENTES	38
3.7 ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	40
3.7.1 TESTES ESTATÍSTICOS	40
3.7.2 CORRELAÇÃO	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 REALIZAÇÃO DOS MONITORAMENTOS.....	43
4.2 DADOS METEOROLÓGICOS	45
4.2.1 VELOCIDADE DO VENTO.....	45
4.2.2 PLUVIOSIDADE.....	48
4.2.3 TEMPERATURA	50
4.2.4 DIREÇÃO DO VENTO	53
4.3 CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES.....	57
4.3.1 MATERIAL PARTICULADO INALAVEL – MP10	57

4.3.2 PARTICULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO - PTS.....	60
4.4 VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS	63
4.5 INFLUÊNCIAS METEOROLÓGICAS SOBRE A CONCENTRAÇÃO DE PTS E MP10	64
4.5.1 INFLUÊNCIA DA PLUVIOSIDADE.....	66
4.5.2 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA	69
4.5.3 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO.....	71
4.5.4 INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO DO VENTO	73
4.6 INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE.....	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	84
6 REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano e o industrial têm ocasionado o aumento nas emissões de poluentes atmosféricos que são responsáveis por danos à saúde humana, desequilíbrio e degradação dos ecossistemas. Dentre os vários tipos de poluentes atmosféricos, o material particulado tem grandes efeitos negativos por ser capaz de permanecer em suspensão na atmosfera por longos períodos (COSTA *et al.*, 2009).

O tempo de residência das partículas na atmosfera é geralmente muito alta, uma vez que elas ficam suspensas e podem ser levadas para longe da sua fonte original. Essa propriedade é muito importante devido à sua rápida propagação e resistência, expondo tanto a população que estiver próxima à fonte como aquela situada distante, na mesma proporção (WILSON *et. al.* 2000).

No estado do Paraná o monitoramento da qualidade do ar é realizado com frequência trimestral, sendo o período monitorado de 7 dias consecutivos. Suas médias diárias devem atender aos padrões primários de qualidade do ar, onde os valores-limites estabelecidos têm como objetivo proteger a saúde humana. O monitoramento deve ser realizado com o amostrador de grande volume (AGV) juntamente com um estação meteorológica, a qual registra de forma simultânea a direção e velocidade do vento (SEMA, 2014).

Sabe-se que as condições meteorológicas influenciam na dispersão e remoção do material particulado em suspensão na atmosfera, dentre elas, as variáveis temperatura, precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento são as que apresentam maior influência sobre as partículas.

Diversas pesquisas foram realizadas com o objetivo de avaliar a influência de variáveis climáticas na concentração de material particulado. Com este mesmo objetivo, o presente trabalho utilizou dados de monitoramentos atmosféricos realizados em um zona industrial para avaliar a influência das condições climáticas na concentração do material particulado (MP10 e PTS).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de condições meteorológicas na concentração de material particulado (PTS – Partículas Totais em Suspensão e MP10 – Material Particulado Inalável) utilizando dados de monitoramentos da qualidade do ar industrial.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se há correlação entre as variáveis climáticas e a concentração do material particulado.
- Identificar a influência da sazonalidade sobre as condições meteorológicas e a concentração do material particulado.
- Verificar possíveis fontes de contribuição de material particulado durante os monitoramentos.
- Identificar possível contribuição da planta industrial na concentração do material particulado, durante o período em que os monitoramentos foram realizados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Entre os séculos XVIII e XIX, a transposição de métodos artesanais de produção para processos manufaturados ficou conhecida como Revolução Industrial. Neste período, os biocombustíveis utilizados nas máquinas, como a madeira, passaram a ser substituídos pelo carvão mineral, fato que culminou em um significativo lançamento de poluentes na atmosfera (MIRANDA e GONZAGA, 2015).

De acordo com Braga *et al.* (2005), houveram muitos casos críticos relacionados à poluição atmosférica, por exemplo, em 1952 na cidade de Londres - Inglaterra. Na ocasião, um nevoeiro ocasionado pela alta concentração de poluentes na atmosfera encobriu a cidade e ocasionou a morte de cerca de 4 mil pessoas, ficando conhecido como Big Smoke. Caso como este acabaram por aumentar o alerta das organizações competentes em relação a este tipo de poluição, concebendo-a certo destaque.

Segundo a Resolução CONAMA Nº 491, de 19 de Novembro de 2018, entende-se como poluente atmosférico:

I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

Não é possível afirmar que um local ou região está contaminado por poluentes atmosféricos, sem antes saber qual a composição natural da atmosfera, sem interferência de poluentes. Esta fina camada que envolve a superfície da Terra, chamada atmosfera é composta por Nitrogênio - N₂; Oxigênio - O₂; Argônio - Ar; Dióxido de Carbono - CO₂; Ozônio - O₃; Neônio - Ne; Hélio - He; Metano – CH₄; Criptônio - Kr; Óxido Nitroso – N₂O; Hidrogênio - H; Xenônio - Xe, Dióxido de Enxofre – SO₂, Dióxido de Nitrogênio – NO₂; Amônia – NH₃; Monóxido de Carbono –

CO; Água: sólido, líquido, vapor e aerossóis: partículas sólidas e líquidas além da água (TEIXEIRA, 2020).

Não contabilizando o vapor da água, o ar atmosférico é formado por 78,1% de Nitrogênio, 21,0% de Oxigênio, 0,9% de Argônio e 0,04% de Dióxido de Carbono. Em condições habituais, o ar possui um grande variedade de gases nível traço, abaixo de 0,002%, além de possuir entre 1% e 3% de vapor de água em volume (MANAHAN, 2013).

Segundo Stern (1968), os poluentes podem ser classificados de duas formas, quanto a sua natureza de formação:

- Primários: são aqueles que se mantêm na atmosfera da mesma forma do qual foi liberado da fonte, por exemplo, Dióxido de Enxofre (SO_2).
- Secundários: são gerados por reações químicas e fotoquímicas que atuam sobre os poluentes primários e até sobre algumas espécies não poluentes da atmosfera. Por exemplo, o SO_3 (formado pelo SO_2 e O_2 no ar) reage com o vapor de água para produzir o ácido sulfúrico (H_2SO_4) que precipita originando a chamada “chuva ácida”.

As fontes geradoras podem ser classificadas em (SEMA, 2014):

- Fonte estacionária ou fixa: qualquer instalação, equipamento ou processo natural ou artificial, em local fixo.
- Fonte móvel: qualquer instalação, equipamento ou processo natural ou artificial em movimento.

Dentre os principais poluentes atmosféricos emitidos diretamente pelas fontes naturais e antrópicas destacam-se: os Óxidos de Nitrogênio (NO_x) que são formados durante o processo de combustão; o Óxido Nitroso (N_2O), resultante do processo de desnitrificação bacteriana do solo; os Óxidos de Enxofre (SO_x), formado principalmente na queima de combustíveis que contêm enxofre, como óleo diesel e gasolina, além de serem emitidos diretamente na atmosfera por atividades vulcânicas; o Monóxido de Carbono (CO), resultado da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica (combustíveis fósseis, biomassa etc.), além de atividade vulcânica, descargas elétricas e emissão de gás natural.

O Material Particulado - Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP10), Partículas Inaláveis Finas (MP2,5) e Fumaça (FMC) - tem suas principais fontes nos veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa e ressuspensão da poeira do solo. Já os gases mais importantes de origem secundária são o Ozônio (O₃) e os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) (ALMEIDA, 1999; CASTANHO, 1999; BRAGA *et al.*, 2003 apud MAGALHÃES, 2005; SEINFELD, 1997).

As atividades antropogênicas provocam a emissão de muitos compostos diferentes na atmosfera em concentrações suficientemente altas para causar impactos adversos na saúde humana, nas colheitas, materiais de construção, clima e, até mesmo em habitats de ecossistemas aquáticos. O movimento do ar ultrapassa barreiras territoriais, chegando a uma magnitude continental. Portanto os problemas de poluição transfronteiriço são comuns e as soluções podem ser bastante complexas (MIHELICIC e ZIMMERMAN, 2017).

Os custos sociais, econômicos e ambientais associados à poluição atmosférica são grandes e podem resultar em mais custos de saúde, redução da expectativa de vida, degradação dos monumentos e prédios históricos, danos à safra, perda de produtividade dos ecossistemas e consequências associadas à mudança climática.

Sabe-se que a atmosfera é um cobertor de proteção que nutre a vida na Terra e infelizmente ela está sendo utilizada como depósito de lixo para diversos materiais poluentes. Essa prática altera e degrada o ar comprometendo os processos fotossintéticos, conseqüentemente afetando a flora terrestre e aquática; os ciclos do nitrogênio, oxigênio e carbono são alterados ocasionando mudanças climáticas e ainda abrevia a vida humana (MANAHAN, 2013; LISBOA e KAWANO, 2007).

2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DA QUALIDADE DO AR

Segundo Lisboa e Kawano (2007) o monitoramento da qualidade do ar possui vários objetivos, entre eles podemos citar:

- Avaliar a qualidade do ar e verificar o atendimento aos padrões estabelecidos por órgãos ambientais federais ou estaduais, visando a proteção da saúde pública e o bem estar das pessoas;
- Verificar possíveis mudanças e tendências na qualidade do ar devido alterações em fontes poluidoras;
- Disponibilizar dados que possibilitem realizar ações preventivas ou de emergência em situações em que os níveis de poluentes atmosféricos possam representar risco à saúde pública.

Para atingir estes objetivos, torna-se necessária a fixação de padrões de qualidade do ar.

II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica (CONAMA, 2018);

Com a publicação da Resolução CONAMA 491/2018, aplica-se os seguintes padrões de qualidade do ar:

Padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

Padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005; (CONAMA, 2018).

A verificação da qualidade do ar é realizada através do monitoramento de alguns poluentes atmosféricos, estabelecidos em razão de sua importância e de recursos disponíveis para realizar seu monitoramento. Os poluentes utilizados como

indicadores da qualidade do ar, são adotados globalmente e eles foram escolhidos em razão de seus efeitos adversos à saúde da população e ao meio ambiente.

Os poluentes atmosféricos são: Material Particulado Inalável (MP10), Material Particulado Fino (MP2,5), Dióxido de Enxofre (SO₂), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Ozônio (O₃), Fumaça (FMC), Monóxido de Carbono (CO), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb) (BRASIL, 2018; LISBOA e KAWANO, 2007).

No estado do Paraná a legislação vigente que estabelece os Padrões de Qualidade do Ar é a Resolução SEMA 016/2014, que tem em seus objetivos a proteção da saúde, bem estar da população, melhoria da qualidade de vida e permitir o desenvolvimento econômico e social de forma ambientalmente segura.

Conforme estabelecido pela Resolução SEMA 016/2014 os padrões de qualidade do ar são:

Padrões Primários de Qualidade do Ar: valores-limites de concentrações de poluentes na atmosfera, estabelecidos com o objetivo de proteger a saúde humana;

Padrões Secundários de Qualidade do Ar: valores-limites de concentração de poluentes na atmosfera, abaixo dos quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à biota, ao patrimônio físico, aos materiais e ao meio ambiente em geral;

No Paraná, o monitoramento da qualidade do ar pode ser exigido pelo órgão ambiental a todas as atividades ou fontes geradoras de emissões fugitivas afim de verificar a eficiência do controle de emissões fugitivas, tais como enclausuramento de instalações, umidificação do solo, armazenamento fechado de material, pavimentação e limpeza de área e vias de transporte.

Quadro 1 - Padrões de Qualidade do Ar estabelecidos na Resolução SEMA 016/2014

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m³	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m³
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas ¹	240	150
	MGA ²	80	60
Partículas Inaláveis (MP)	24 horas ¹	150	150

	MAA ³	50	50
Fumaça (FMC)	24 horas ¹	150	100
	MAA ³	60	40
Dióxido de Enxofre (SO₂)	24 horas ¹	365	100
	MAA ³	60	40
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	1 hora ¹	320	190
	MAA ³	100	100
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora ¹	40000	40000
		35 ppm	35 ppm
	8 horas ¹	10000	10000
		9 ppm	9 ppm
Ozônio (O₃)	1 hora ¹	160	160
(1) Não deve ser excedido mais que uma vez no ano; (2) Média geométrica anual (MGA); (3) Média aritmética anual (MAA);			

Fonte: Adaptado de Resolução SEMA 016/2014

O monitoramento da qualidade do ar no entorno da indústria, é realizado com frequência trimestral, sendo que cada período monitorado tem duração de 7 dias consecutivos. Em casos que o monitoramento for realizado em área residencial, urbana ou outra onde a permanência de pessoas não é de caráter esporádico, as médias anuais não serão consideradas representativas e as médias diárias estão sujeitas a atender os padrões primários de qualidade do ar.

É necessário ressaltar que mesmo que os resultados de monitoramento da qualidade do ar atendam aos padrões estabelecidos, as condições meteorológicas e ações da natureza podem alterar a qualidade do ar. Isso pode ser verificado no meses de inverno, quando as condições meteorológicas são desfavoráveis para a dispersão dos poluentes.

2.3 MATERIAL PARTICULADO

O material particulado no ar representa uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, podendo ser sólidos ou partículas líquidas que estão suspensas no ar e que são geralmente invisíveis individualmente a olho nu. Os materiais particulados que estão suspensos em uma dada massa de ar não são todos do mesmo tamanho, formato e composição química. Existem muitos nomes para as partículas atmosféricas: poeira e fuligem referem-se aos sólidos, enquanto névoas e neblinas referem-se aos líquidos, por apresentarem alta concentração de gotículas de água (BAIRD e CANN, 2011).

Um aerossol é uma coleção de materiais particulados, quer sejam partículas sólidas ou líquidas dispersas no ar. É comum se pensar que todas as partículas se assentam sobre a influência da gravidade e se depositam rapidamente na superfície da Terra, mas isso não é verdade para as de menor tamanho. As partículas pequenas tem sedimentação tão lenta que estão suspensas quase indefinidamente no ar (a não ser que elas se fixem a algum objeto que encontram).

As partículas menores contêm os aerossóis formados secundariamente, partículas de combustão e vapores orgânicos e metálicos recondensados. As partículas maiores geralmente contêm materiais da crosta terrestre e poeira fugitiva de estradas e indústrias.

Embora poucas das partículas suspensas sejam exatamente esféricas em seu formato, é conveniente e convencional se falar de todas as partículas como se assim fossem. De fato, o diâmetro dos materiais particulados é uma das mais importantes propriedades, assim como a sua composição (BAIRD e CANN, 2011).

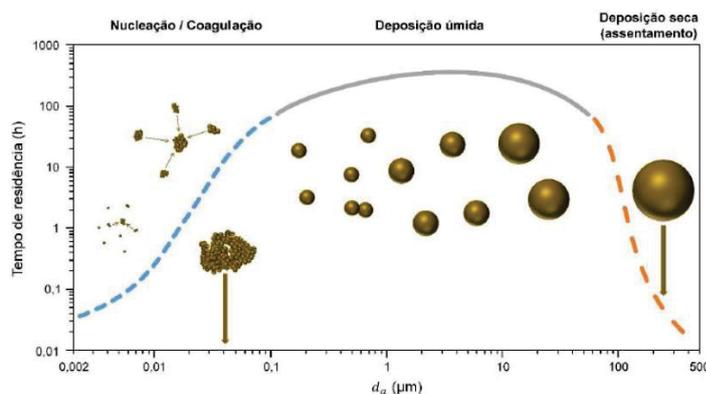
Qualitativamente, materiais particulados individuais são classificados como grosso ou fino dependendo do diâmetro. As partículas inaláveis grossas (MP10) apresentam diâmetro entre 2,5 μm e 10 μm e as partículas inaláveis finas (MP2,5) com diâmetro igual ou inferior a 2,5 μm (MACHADO et. al. 2019).

Pode-se pensar que todas as partículas se assentam sobre a influência da gravidade e se depositam rapidamente na superfície da Terra, mas isso não é verdade para as de menor tamanho. Uma partícula que tem a metade do tamanho de outra, cai quatro vezes mais lentamente.

Partículas finas se assentam tão lentamente que podem permanecer no ar por dias ou semanas, enquanto as partículas grosseiras se assentam rapidamente. As menores se agregam para formar partículas maiores, geralmente ainda na categoria de tamanho fino. Além do processo de sedimentação, as partículas podem também ser removidas do ar pela absorção nas gotas de precipitações meteorológicas (chuva, nevoeiros, garoas etc) (BAIRD e CANN, 2011).

Considerando-se então, os limites de tamanho impostos pelo assentamento por deposição seca e pela coagulação, somente partículas dentro de uma faixa definida de tamanho estarão efetivamente dispersas na atmosfera. A FIGURA 3 mostra a variação do tempo de residência de partículas atmosféricas em função de seus diâmetros aerodinâmicos.

Figura 1 - Tempo de residência e formas de remoção de partículas na atmosfera.



Fonte: Adaptado de VanLoon & Duffy (2018)

A distinção entre poluentes atmosféricos primários e secundários também é aplicada as partículas suspensas. A maioria das partículas grossas são primárias e geralmente iniciam sua existência como materiais ainda mais grosseiros, uma vez que elas se originam principalmente a partir da desintegração de pedaços maiores de matéria.

Enquanto as partículas grossas resultam principalmente da quebra de partículas maiores, as partículas finas são formadas principalmente pelas reações químicas entre os gases e pela coagulação de espécies ainda menores, incluindo moléculas no estado de vapor; elas são portanto, classificadas como partículas secundárias.

A queima acidental de biomassa (plantas ou animais) e erupções vulcânicas podem ser consideradas as mais antigas fontes de contaminação do ar. O vento gera partículas grossas primárias pela desintegração mecânica da folhagem, assim como o pólen liberado das plantas. Incêndios e erupções vulcânicas geram material particulado fino e grosso. Os aerossóis marinhos são a maior massa de particulados primários no ar, seguidos pela poeira e fragmentos de incêndios naturais (CANÇADO, et. al. 2006).

Embora a maior parte do material particulado se origine de fontes naturais, atividades humanas como a moagem de rochas nas pedreiras e o cultivo do solo, resultam em partículas grosseiras de rocha e solo sendo levantadas pela ação do vento. Já as partículas finas de origem antropogênica incluem aquelas do uso de pneus e freios nos veículos, a poeira da fundição de metais e a combustão incompleta de combustíveis fósseis (BAIRD e CANN, 2011).

A Agência de Proteção Ambiental Americana determinou o controle de partículas inaláveis (diâmetro igual ou inferior a 10 μm) no fato que essas partículas são capazes de atingir a árvore traqueobrônquica, alcançar os bronquíolos e os alvéolos pulmonares, e desse modo, apresentam um potencial maior de causar danos ao aparelho respiratório (CANÇADO, et. al. 2006).

Estudos científicos recentes mostram que o material particulado está associado ao surgimento de doenças como a asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, câncer pulmonar, problemas cardiovasculares e causa de morte (e.g., HOINASKI, 2011; QUEIROZ et al, 2007; SILVA et al, 2010; PUETT et al, 2014; TSAI, et al 2013). Além disso, outros problemas de saúde como câncer e danos ao sistema reprodutivo, neurológico e imunológico também são citados (YANAGI, 2010).

2.4 MÉTODO DE AMOSTRAGEM

A determinação da concentração de partículas não é simples, pois existe uma variedade de técnicas de medição e por conta da complexidade da natureza do material particulado, a escolha do método de medição pode influenciar no resultado. Alguns métodos fornecem resultados contínuos, tais como analisadores por beta

atenuação, analisadores óticos, monitores tipo micro balança oscilante/elemento cônico e outros são gravimétricos, dependem da coleta em filtros e de pesagem do material coletado (REINO UNIDO, 2005).

Nos Estados Unidos da América, conforme a Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA, 2011), o método de referência aprovado para determinação de PTS está estabelecido em 40 CFR, Part 50, Appendix B, de 1982, via amostragem de grande volume (AGV) e gravimetria.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997), no Brasil a metodologia de referência aprovada para a determinação de PTS é a ABNT/Norma Brasileira (NBR) n° 9.547/97, via AGV, elaborada com base na norma americana. Outros países da América Latina também tiveram seus métodos de referência para determinação do PTS com base na norma americana, tais como México e Colômbia (MÉXICO, 2005; COLÔMBIA, 1982).

Esta Norma especifica um método de ensaio para a determinação da concentração mássica de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente, em um período de amostragem determinado, utilizando um amostrador de grande volume (AGV). O processo de medição é não destrutivo e o tamanho da amostra coletada é geralmente adequado para posterior análise química (ABNT, 1997).

O amostrador de grande volume AGV-PTS é composto por uma bomba de sucção a vazão constante entre 1,1 m³/min e 1,7 m³/min, a qual é mantida dentro dos limites exigidos pela norma vigente no Brasil. Para o amostrador AGV-MP10, a vazão recomendada pelo fabricante é entre 1,05m³/min e 1,21 m³/min, pois a equipamento utiliza um sistema de coleta com separador inercial conforme orientações da NBR 13412/1995.

Figura 2 - Amostrador de grande volume AGV CVV PTS



Fonte: A Autora, 2022.

Para a amostragem do MP10 a norma de referência vigente no Brasil é a NBR 13412/1995, que utiliza como documento complementar a NBR 9547/1997, incorporando um separador inercial de partículas, sendo o processo de remoção das partículas maiores que $10\mu\text{m}$ através de dutos de aceleração e placa de impacto revestida de adesivo.

Figura 3 - Amostrador de grande volume AGV CVV MP10



Fonte: A autora, 2022.

Os monitoramentos da qualidade do ar são realizados conforme recomendação da Resolução SEMA 016/2014. A amostragem deve contar com período contínuo de 24 horas em 7 dias consecutivos, além de contemplar de forma simultânea a medição da direção e velocidade do vento, temperatura e pluviosidade no local.

Para a coleta das partículas utiliza-se filtros de fibra de vidro da marca Whatman®, com eficiência de coleta de 99% para partículas maiores que $0,3 \mu\text{m}$. Primeiramente os filtros são mantidos em um dessecador com sílica gel por 24 horas para equilíbrio de umidade, após alcançar o equilíbrio cada filtro previamente identificado é pesado em uma balança analítica eletrônica de precisão $0,1 \text{ mg}$. Os filtros são alocados em envelopes plásticos individuais e enviados para o local de amostragem, após a coleta, é repetido o procedimento de desumidificação dos filtros para então serem pesados novamente.

A massa do material particulado retido no filtro, expressa em grama (g), é calculada pela diferença entre as pesagens do filtro limpo e do filtro contendo a amostra. O volume de ar amostrado, expresso em metros cúbicos (m^3), é calculado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem, sendo ainda corrigido para as

condições padrão, ou seja, temperatura de 25°C (297 K) e pressão de 760mmHg (CONAMA, 1990; ABNT, 1997).

2.5 FATORES METEOROLÓGICOS QUE INFLUENCIAM NA REMOÇÃO OU DISPERSÃO DO MATERIAL PARTICULADO

O tempo de residência e a dispersão do material particulado na atmosfera, dependem de vários fatores, dentre eles podemos citar a direção e velocidade do vento, estabilidade da atmosfera, processos de remoção: sedimentação, deposição seca ou úmida, manejo do solo e a topografia (BARROS, 2014; HOINASKI, 2010).

A permanência das partículas na atmosfera é determinada pelo diâmetro aerodinâmico e pelas condições meteorológicas acima citadas. Em relação as partículas grossas inaláveis (com diâmetro menor do que 10 μm), sua velocidade de sedimentação é muito baixa, e por isso tende a permanecer na atmosfera por longos períodos (CERUTTI, 2000).

2.5.1 VENTO

A direção e velocidade do vento está relacionada com a dispersão de poluentes na atmosfera e o estudo baseado nestas variáveis demonstra o impacto da poluição atmosférica em um determinado local ou região. Os meteorologistas definem a direção do vento como aquela da qual o vento sopra, pois é mais importante saber de onde as partículas estão vindos até o ponto de interesse, do que saber para onde essas partículas estão sendo carregadas (BARROS, 2014; STOKER, 1981).

A velocidade do vento é dependente das condições meteorológicas e pode contribuir na homogeneização dos poluentes com o ar limpo, causando assim a sua diluição. Porém este processo ocorre com lentidão, quando o vento está calmo. Além disso, os obstáculos que ele encontra na superfície (topografia, uso e ocupação do solo), podem contribuir com a redução da velocidade do vento. Dessa forma, as áreas urbanas possuem menor diluição dos poluentes por conta dos

impedimentos que o vento encontra (DE MELO LISBOA, 1996; LEINZ e AMARAL, 1989).

Os ventos são resultados da diferença de pressão ocasionado pelo resfriamento ou aquecimento da atmosfera. O vento é uma grandeza vetorial e apresenta três componentes (x, y, z), a componente vertical (z) é responsável pela turbulência e as componentes (x) e (y) determinam o transporte e a diluição do material particulado (TORRES, MARTINS, 2005).

A Escala de Beaufort classifica a intensidade dos ventos, tendo em conta a sua velocidade e os efeitos resultantes das ventanias no mar e em terra. Foi concebida pelo meteorologista anglo-irlandês Francis Beaufort no início do século XIX.

Quadro 2 - Escala de Beaufort

	DESCRIÇÃO	VELOCIDADE DO VENTO 10M ACIMA DO SOLO	CONTINENTE
0	Calmo	< 0.2 m/s < 1 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Calmo • Fumaça sobe na vertical
1	Ar leve	0.3-1.5 m/s 1-5 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Direção do vento mostrado pela fumaça, mas não pelas palhetas da estação
2	Brisa leve	1.6-3.3 m/s 6-11 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Sente o vento no rosto • As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	Brisa fraca	3.4-5.4 m/s 12-19 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	Brisa moderada	5.5-7.9 m/s 20-28 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Poeira e pequenos papéis levantados • Movem-se os galhos das árvores
5	Brisa forte	8.0-10.7 m/s 29-38 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	Vento fresco	10.8-13.8 m/s 39-49 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Movem-se os ramos das árvores • Dificuldade em manter um guarda-chuva aberto • Assobio em fios de postes
7	Vento forte	13.9-17.1 m/s 50-61 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Movem-se as árvores grandes • Dificuldade em andar contra o vento
8	Ventania	17.2-20.7 m/s 62-74 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Quebram-se galhos de árvores

9	Ventania forte	20.8-24.4 m/s 75-88 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Ligeiro dano estrutural • Danos em árvores e pequenas construções • Quase impossível andar contra o vento
10	Tempestade	24.5-28.4 m/s 89-102 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Árvores arrancadas • Danos estruturais consideráveis
11	Tempestade violenta	28.5-32.6 m/s 103-117 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Estragos generalizados em construções
12	Furacão	> 32.7 m/s > 118 km/h	<ul style="list-style-type: none"> • Estragos graves e generalizados em construções

Fonte: Adaptado UNIFEI, 2022.

2.5.2 TEMPERATURA

A temperatura do ar constitui um parâmetro de interesse para o estudo da dispersão de poluentes, pois o aquecimento da superfície provocado pela insolação pode promover o surgimento de movimentos verticais localizados, consequentemente transferindo energia para a atmosfera, podendo criar turbulência e mistura dos poluentes em baixos níveis.

Temperaturas elevadas podem promover a formação de movimentos verticais ascendentes, conhecidos por convecção, gerando com eficácia o arraste dos poluentes localizados em níveis mais baixos para os níveis mais elevados. Por outro lado, sob condições de temperaturas baixas os movimentos verticais não são induzidos, permitindo a manutenção dos poluentes atmosféricos em níveis mais baixos (DAMILANO e JORGE, 2006).

Segundo Lisboa (2007) a variação vertical de temperatura é muito mais intensa que a variação horizontal, estudos relacionados aos gradientes verticais de temperatura são de grande interesse, tendo em vista que eles condicionam a possibilidade de ocorrência e o sentido dos movimentos verticais do ar na atmosfera. Quando o ar vivencia o processo de ascensão ou de descenso, sua temperatura é definida pelo gradiente adiabático.

Define-se como gradiente vertical da adiabática seca como o fenômeno ou compressão do ar seco ou úmido, no caso se um volume de ar seco ou não

saturado for elevado, conseqüentemente sua pressão vai diminuir e a temperatura baixará por conta da expansão.

A estabilidade atmosférica, afeta o movimento vertical do ar, quanto mais estável a atmosfera, menor será a diluição e o transporte dos poluentes. A estabilidade do ar traz influências na taxa com a qual os poluentes são misturados no ar limpo. Uma fração de poluentes atmosféricos é diluído de forma mais eficiente quando há instabilidade atmosférica, do que quando a atmosfera está estável. Dessa forma, a estabilidade atmosférica inibi o transporte dos poluentes no ar (STOKER, 1981; DE MELO LISBOA, 1996).

2.5.3 PRECIPITAÇÃO

Define-se como precipitação toda água proveniente do meio atmosférico e que atinge a superfície terrestre, sendo as chuvas um tipo de precipitação (MIRANDA et al. 2017). Com base no comportamento das chuvas é possível verificar a estabilidade da atmosfera e conseqüentemente o favorecimento ou não na dispersão dos poluentes presentes.

A maioria da remoção natural da poluição atmosférica é realizada pelas chuvas, pois as partículas de tamanho médio são retiradas da atmosfera pelo processo de impactação das gotas de chuva. As partículas pequenas que possuem componentes higroscópicos vão se agrupando em função da umidade e não ficam retida nas nuvens e caem em forma de chuva. Já as partículas ultrafinas, são pequenas o suficiente para esquivar das gotículas de chuva, evitando sua captura e remoção (USEPA, 2004).

Outro mecanismos remoção do material particulado da atmosfera é a deposição seca. Sua taxa de eficiência está relacionada ao tamanho da partícula, sendo mais eficaz para partículas muito pequenas ou muito grandes. Isso se dá em razão das grandes partículas serem facilmente impactadas pelos efeitos do processo de sedimentação e impactação, enquanto as partículas menores estão sujeitas a difusão browniana (USEPA, 2004; SEINFELD e PANDIS, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Os dados utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa são referentes aos monitoramentos da qualidade do ar, realizados nas dependências empresa X (nome fictício), pois não foi autorizado a divulgação do nome verdadeiro.

A ASSEAVI – Assessoria Ambiental Vale do Ivaí foi a empresa responsável por realizar os monitoramentos da qualidade do ar na planta industrial da empresa X. Os monitoramentos tinham como objetivo quantificar as concentrações de partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis $<10\mu\text{m}$ (MP10), monitoradas na área de influência da empresa X, além de analisar e comparar os resultados obtidos com os limites legais estabelecidos pela Resolução SEMA N° 016/2014.

Os monitoramentos foram realizados em frequência trimestral, com amostragem de 24 horas ininterruptas por 7 dias consecutivos e contemplação das condições meteorológicas no local.

3.2 DADOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Os relatórios de monitoramentos foram cedidos pela empresa ASSEAVI com autorização prévia da empresa X. Para esta pesquisa foram selecionados os monitoramentos realizados em Setembro e Dezembro de 2017, Março, Junho, Setembro e Dezembro dos anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022.

Foram extraídos dos relatórios os seguintes dados: Concentração de partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Concentração de material particulado inalável - MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Direção do vento; Velocidade do vento (m/s); Pluviosidade (mm); Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA MONITORADA

A empresa X está localizada no complexo industrial do município de São Carlos do Ivaí, no estado do Paraná. Sua principal atividade econômica é a geração de energia elétrica (Figura 4), sua produção se dá pelo sistema destinado a queima de biocombustíveis (i.e., o bagaço de cana-de-açúcar) para geração de vapor d'água de alta pressão, constituído por 02 turbo-geradores vapor-elétrico, casa de elevação elétrica e estruturas menores destinadas a reutilização de água e processamento de resíduos. A energia elétrica gerada é lançada na rede de alta tensão e a energia térmica excedente (na forma de vapor morto) é vendida para empresas localizadas no entorno.

Figura 4 - Perímetro da empresa

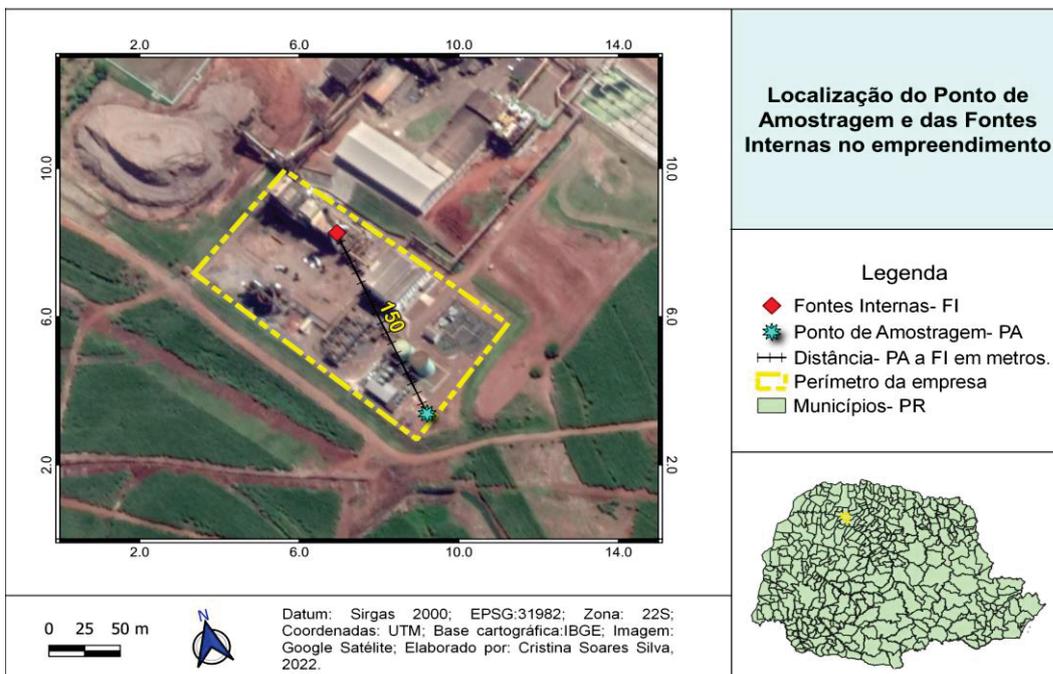


Fonte: Empresa X; A autora (2022).

3.4 INFORMAÇÕES SOBRE O LOCAL DE MEDIÇÃO

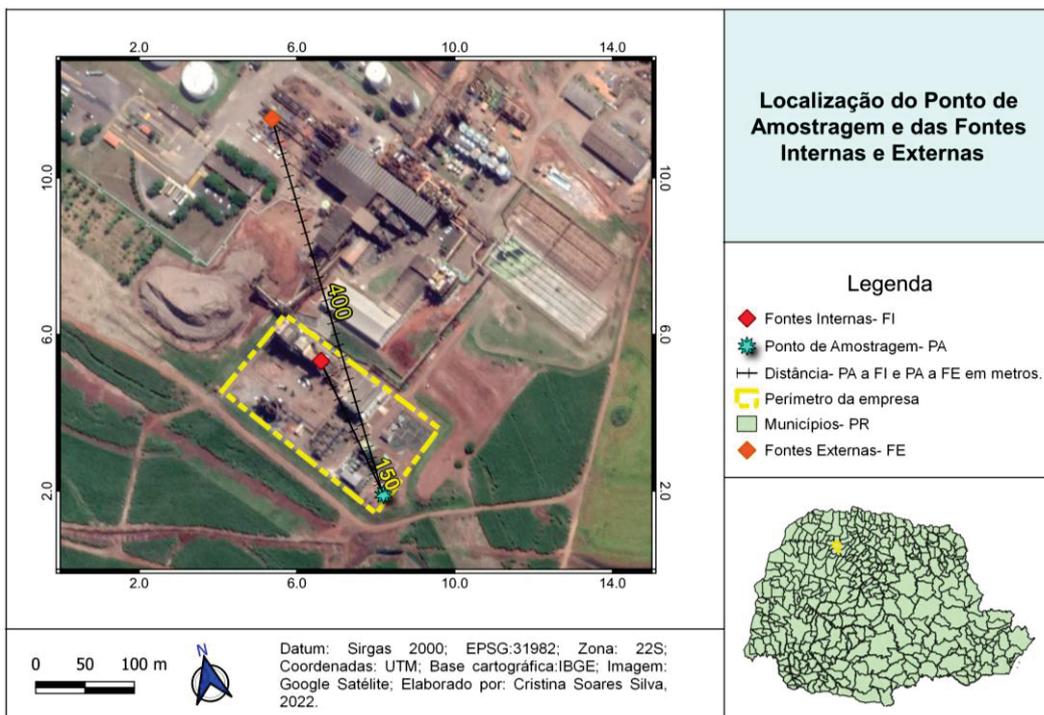
Os equipamentos de monitoramento foram instalados na seguinte localização: 22 K - 347763.00 m E UTM - 7425534.00 m S, conforme informações dos relatórios de monitoramento o ponto de amostragem está localizado a Sul em relação ao empreendimento, com distância de 150 metros para fontes internas - Caldeira (Figura 5), 400 metros de distância para fontes externas - demais empresas (Figura 6) e 6000 metros de distância para as residências (Figura 7).

Figura 5 - Localização do ponto de amostragem e das fontes internas no empreendimento



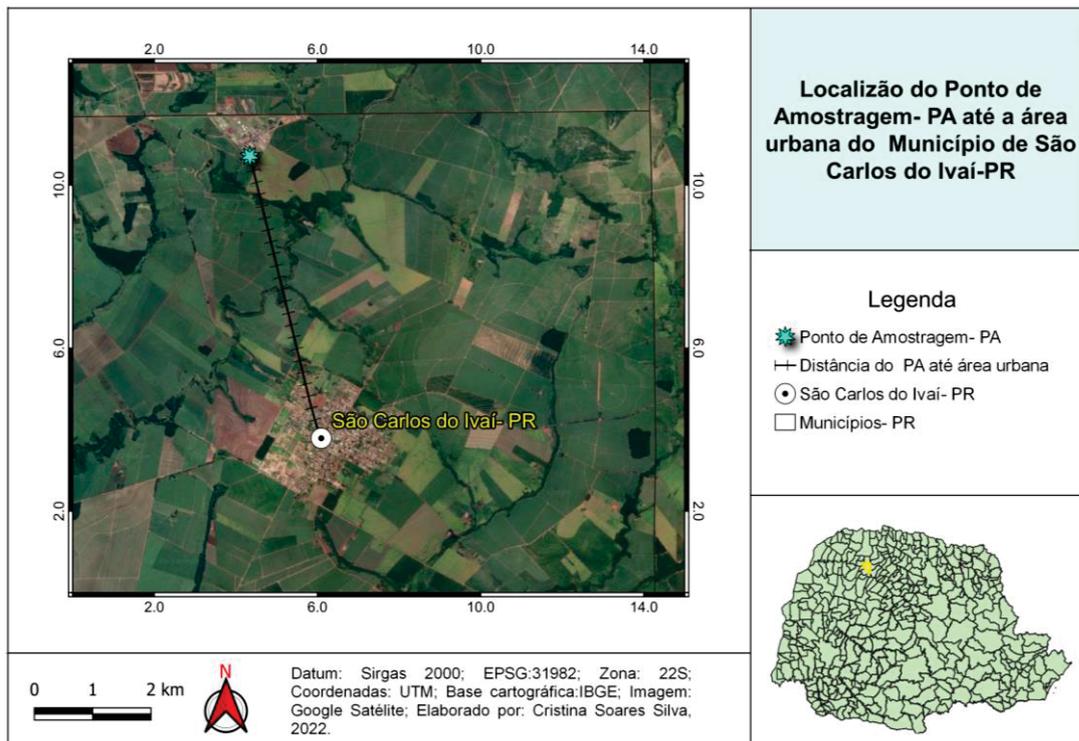
Fonte: Empresa X; A autora (2022).

Figura 6 - Localização do ponto de amostragem e das fontes externas ao empreendimento



Fonte: Empresa X; A autora (2022).

Figura 7 - Localização do ponto de amostragem até as residências mais próximas



Fonte: Empresa X; A autora (2022).

3.5 COLETA DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Conforme a Resolução SEMA 016/2014, o monitoramento da qualidade do ar deve contemplar de forma simultânea a medição da direção e velocidade do vento, temperatura e pluviosidade no local. Por isso foi utilizado um estação meteorológica digital, modelo ITWH-1080 durante os monitoramentos.

Figura 8 - Estação meteorológica instalada junto aos amostradores de grande volume



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A estação meteorológica utilizada durante os monitoramentos conforme apresentado na Figura 8, mede a velocidade e direção do vento, precipitação, temperatura e umidade (interior e exterior), pressão barométrica, ponto de orvalho e sensação térmica.

As informações são transmitidas para o console a cada 60 minutos, onde os dados são gravados e armazenados. O console é capaz de receber os dados transmitidos até 100 metros de distância em uma linha de visada desimpedida e possui memória interna capaz de gravar até 4 mil leituras individuais.

3.6 CONSTRUÇÃO DA ROSA DOS VENTOS E ROSA DOS POLUENTES

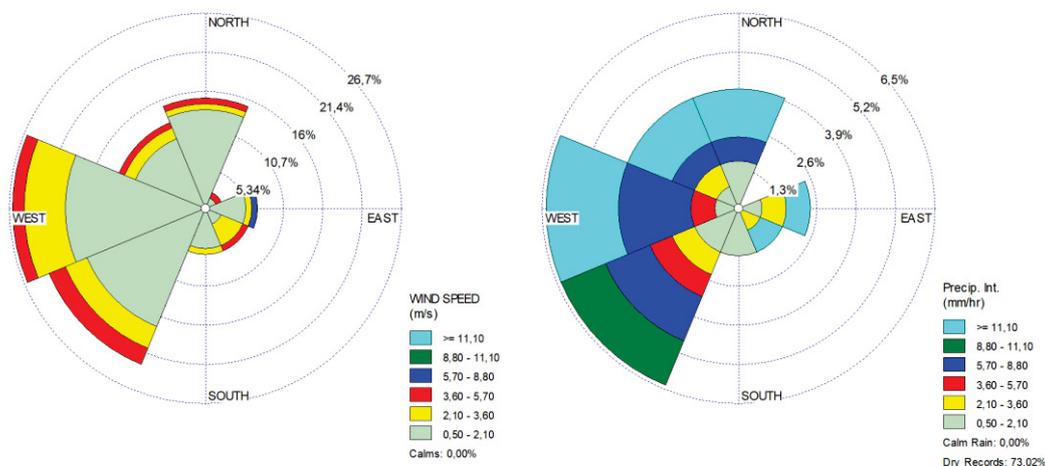
Uma rosa dos ventos representa a frequência de ocorrência de ventos em cada um dos setores de direção do vento especificados e classes de velocidade do vento para um determinado local e período de tempo.

Para a construção das rosas dos ventos foi utilizado o software WRPLOT View (Wind Rose Plots for Meteorological Data), versão 8.0.0, desenvolvido pela Lakes Environmental Software. Sendo um programa totalmente operacional, onde fornece gráficos visuais de rosa dos ventos, análise de frequência e gráficos para vários formatos de dados meteorológicos.

Nessa rosa, quanto mais se afasta do centro no sentido radial, maior é a frequência do vento na direção em questão. A escala de cores representa a velocidade dos ventos em cada direção, sendo que o tamanho de cada faixa de intensidade representa a frequência com que ela é observada.

Na categoria direção e velocidade do vento é possível classificar os ventos em diversas categorias de acordo com a velocidade, também é possível obter gráficos e rosas referente a pluviosidade.

Figura 9 - Exemplo de rosa dos ventos e rosa referente a pluviosidade



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Os valores em porcentagem observados na rosa dos ventos e na rosa referente a pluviosidade apresentam a frequência de distribuição dos dados para cada setor. Na Figura 9 é possível verificar que na rosa dos ventos 15% dos ventos foram provenientes do setor norte e na rosa referente a chuva, 6,5% dos registros de pluviosidade foram dos setores sudoeste e oeste.

Para construção da rosa dos poluentes foi necessário inserir no campo “pluviosidade” os valores referentes a concentração de PTS e MP10. O software WRPLOT View possui limitação no volume de chuva, expressando valores até 100mm. Tendo em vista que as concentrações de material particulado apresentam valores acima de 100, foi necessário dividir todos os valores de concentrações por 10, para que o software pudesse construir a Rosa dos Poluentes.

3.7 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A estatística descritiva é a etapa inicial da análise utilizada para descrever e resumir as informações. Para os dados meteorológicos (precipitação, temperatura média e velocidade do vento) e, dados de concentração de PTS e MP10 foram realizados os seguintes cálculos para a avaliação da estatística descritiva: média, mediana, desvio padrão, amplitude, valores máximos e mínimos.

3.7.1 TESTES ESTATÍSTICOS

A utilização da estatística tem como objetivo estimar o verdadeiro valor desconhecido dos parâmetros de uma população e testar hipóteses com respeito aos parâmetros estimados ou a natureza da distribuição da população.

Existem duas classificações dos testes de hipóteses: os paramétricos - conhece a distribuição dos dados e não paramétricos - não se conhece a distribuição dos dados (CARVALHO, 2007).

Nos estudos em pesquisas quantitativas, são elaboradas hipóteses acerca de uma dada amostra, que serão submetidas a testes específicos. Conforme descreve Devore (2006), uma hipótese estatística é uma afirmação sobre o valor de um único parâmetro, ou sobre os valores de vários parâmetros, ou sobre a forma de uma distribuição de probabilidade inteira. Antes de decidir pelo uso de um teste paramétrico ou não-paramétrico é necessário sempre verificar se os dados da amostra possuem distribuição normal. (SCUDINO, 2008).

Por conta disso, utilizam-se alguns testes de normalidade, dentre eles destacamos o Shapiro-Wilk. Este teste calcula uma variável estatística (W) que investiga se uma amostra aleatória provém de uma distribuição normal.

Desta forma, para avaliar se os dados deste estudo possuíam distribuição normal, foram realizados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk. Considerando-se que na estatística para esse teste, a hipótese nula (H_0) é a de que os dados seguem distribuição normal, a mesma é válida caso o valor p observado seja

superior ao nível de significância do teste ($\alpha=0,05$). Todos esses procedimentos foram realizados no software JAMOV 2.3.16.

3.7.2 CORRELAÇÃO

A correlação é o tipo de medida usada quando se quer saber se duas variáveis possuem algum tipo de relação, de maneira que quando uma varia a outra também varia. Se uma variável tende a aumentar quando a outra aumenta, dizemos que a correlação é positiva. Por outro lado, se uma variável tende a diminuir quando a outra aumenta, dizemos que a correlação é negativa. Já uma correlação nula indica que uma alteração em uma das variáveis (aumento ou diminuição) não influencia a outra.

O coeficiente de correlação de Spearman, denominado pela letra grega ρ (rho), é uma medida de correlação não-paramétrica. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0 que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. Este coeficiente, normalmente representado pela letra "r" assume apenas valores entre -1 e 1.

$r= 1$ Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.

$r= -1$ Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis - Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.

$r= 0$ Significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma outra dependência que seja "não linear". Assim, o resultado $r=0$ deve ser investigado por outros meios.

O Quadro 3 fornece um guia de como podemos descrever uma correlação em palavras dado o valor numérico.

Quadro 3 - Interpretação do coeficiente de correlação

Valor de ρ (+ ou -)	Interpretação
0.00 a 0.19	Uma correlação bem fraca
0.20 a 0.39	Uma correlação fraca
0.40 a 0.69	Uma correlação moderada
0.70 a 0.89	Uma correlação forte
0.90 a 1.00	Uma correlação muito forte

Fonte: Adaptado de Shimakura (2005)

Levando-se em consideração que os parâmetros meteorológicos interferem na concentração e distribuição do material particulado, buscou avaliar se existem correlações significativas entre a concentração de PTS e MP10 na atmosfera e os parâmetros meteorológicos: precipitação, temperatura e velocidade do vento. Esses parâmetros são descritos por Katsoulis (1996) como aqueles que mais interferem na distribuição dos poluentes, considerando uma área local.

De acordo com os resultados da verificação de normalidade dos dados, foi utilizado a avaliação pelo coeficiente de correlação de Spearman, o procedimento foi realizado com auxílio do software JAMOV 2.3.16.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 REALIZAÇÃO DOS MONITORAMENTOS

A amostragem do material particulado foi realizado em frequência trimestral, durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro, as datas em que foram realizados os monitoramentos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Datas em que foram realizados os monitoramentos

Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
				14/09/2017	15/09/2017	16/09/2017
17/09/2017	18/09/2017	19/09/2017	20/09/2017			
		05/12/2017	06/12/2017	07/12/2017	08/12/2017	09/12/2017
10/12/2017	11/12/2017					
	12/03/2018	13/03/2018	14/03/2018	15/03/2018	16/03/2018	17/03/2018
18/03/2018						
			06/06/2018	07/06/2018	08/06/2018	09/06/2018
10/06/2018	11/06/2018	12/06/2018				
	03/09/2018	04/09/2018	05/09/2018	06/09/2018	07/09/2018	08/09/2018
09/09/2018						
	10/12/2018	11/12/2018	12/12/2018	13/12/2018	14/12/2018	15/12/2018
16/12/2018						
				14/03/2019	15/03/2019	16/03/2019
17/03/2019	18/03/2019	19/03/2019	20/03/2019			
					14/06/2019	15/06/2019
16/06/2019	17/06/2019	18/06/2019	19/06/2019	20/06/2019		
					06/09/2019	07/09/2019
08/09/2019	09/09/2019	10/09/2019	11/09/2019	12/09/2019		
	02/12/2019	03/12/2019	04/12/2019	05/12/2019	06/12/2019	07/12/2019
08/12/2019						
		17/03/2020	18/03/2020	19/03/2020	20/03/2020	21/03/2020
22/03/2020	23/03/2020					

Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
					05/06/2020	06/06/2020
07/06/2020	08/06/2020	09/06/2020	10/06/2020	11/06/2020		
						12/09/2020
13/09/2020	14/09/2020	15/09/2020	16/09/2020	17/09/2020	18/09/2020	
		01/12/2020	02/12/2020	03/12/2020	04/12/2020	05/12/2020
06/12/2020	07/12/2020					
					05/03/2021	06/03/2021
07/03/2021	08/03/2021	09/03/2021	10/03/2021	11/03/2021		
		22/06/2021	23/06/2021	24/06/2021	25/06/2021	26/06/2021
27/06/2021	28/06/2021					
		21/09/2021	22/09/2021	23/09/2021	24/09/2021	25/09/2021
26/09/2021	27/09/2021					
				09/12/2021	10/12/2021	11/12/2021
12/12/2021	13/12/2021	14/12/2021	15/12/2021			
					11/03/2022	12/03/2022
13/03/2022	14/03/2022	15/03/2022	16/03/2022	17/03/2022		
			01/06/2022	02/06/2022	03/06/2022	04/06/2022
05/06/2022	06/06/2022	07/06/2022				
						03/09/2022
04/09/2022	05/09/2022	06/09/2022	07/09/2022	08/09/2022	09/09/2022	
					02/12/2022	03/12/2022
04/12/2022	05/12/2022	06/12/2022	07/12/2022	08/12/2022		

Fonte: Empresa X; A autora, 2022

4.2 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram registrados e gravados com intervalo de 60 minutos, desta forma para cada dia monitorado obteve-se 24 registros para as variáveis temperatura, direção e velocidade do vento. É importante ressaltar que esses valores correspondem aos 7 dias de amostragem, não sendo possível extrapolar os dados para os demais dias do mês monitorado.

4.2.1 VELOCIDADE DO VENTO

Dentre as variáveis meteorológicas analisadas, o vento desempenha o papel de dispersar os poluentes na atmosfera, a velocidade pode trazer poluentes para o local de amostragem ou carrear os poluentes para longe da fonte de origem.

Tabela 2 - Estatística descritiva da velocidade do vento

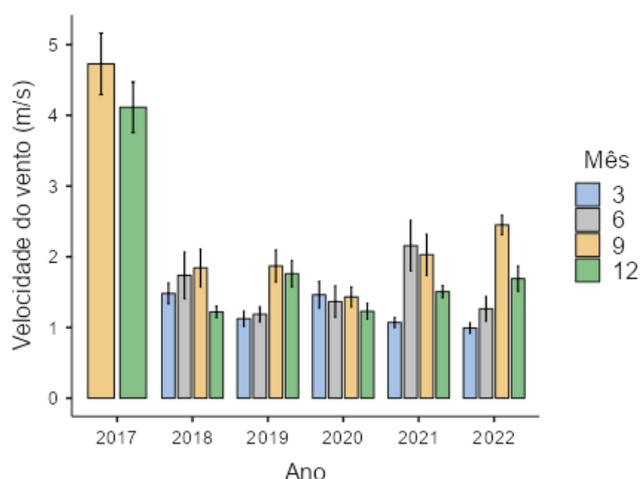
Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
2017	9	4.729	4.800	1.150	2.700	6.50
	12	4.114	4.100	0.948	2.700	5.40
2018	3	1.482	1.694	0.389	0.983	1.93
	6	1.737	1.608	0.879	0.613	3.12
	9	1.843	1.608	0.702	1.037	3.07
	12	1.220	1.162	0.217	0.917	1.51
2019	3	1.124	1.208	0.283	0.650	1.49
	6	1.188	1.188	0.277	0.821	1.58
	9	1.870	1.850	0.602	1.087	2.80
	12	1.761	1.900	0.495	0.938	2.36
2020	3	1.462	1.313	0.496	0.754	2.10
	6	1.366	1.492	0.585	0.604	2.26
	9	1.432	1.346	0.374	1.054	2.02
	12	1.229	1.296	0.291	0.700	1.48
2021	3	1.071	1.087	0.187	0.796	1.28
	6	2.157	1.658	0.947	1.025	3.33
	9	2.029	1.646	0.768	1.204	3.36
	12	1.507	1.463	0.227	1.283	1.95
2022	3	0.992	0.962	0.193	0.792	1.30
	6	1.264	1.517	0.463	0.721	1.70

Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
	9	2.451	2.300	0.364	2.108	3.05
	12	1.691	1.779	0.472	0.833	2.35

Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Com base na Tabela 2, é possível observar que os monitoramentos realizados em Setembro e Dezembro/2017, registraram as maiores velocidades médias de vento durante os monitoramentos. Os ventos foram classificados como brisa fraca e brisa moderada, podendo os galhos das árvores serem movidos pela ação do vento e resultar na ressuspensão da poeira.

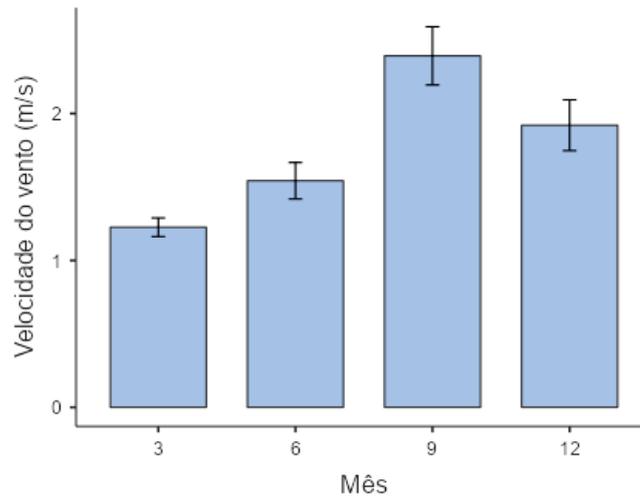
Gráfico 1 – Velocidade média dos ventos agrupados por ano



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A média dos ventos dos monitoramentos realizados foi de 1,81m/s, classificado como brisa leve segundo a Escala de Beaufort, onde é possível sentir o vento no rosto. O Gráfico 1 apresenta a velocidade média dos ventos obtida através dos monitoramentos realizados. Nota-se que os resultados estão próximos a média geral exceto os monitoramentos realizados em 2017.

Gráfico 2 - Velocidade média dos ventos separados por mês

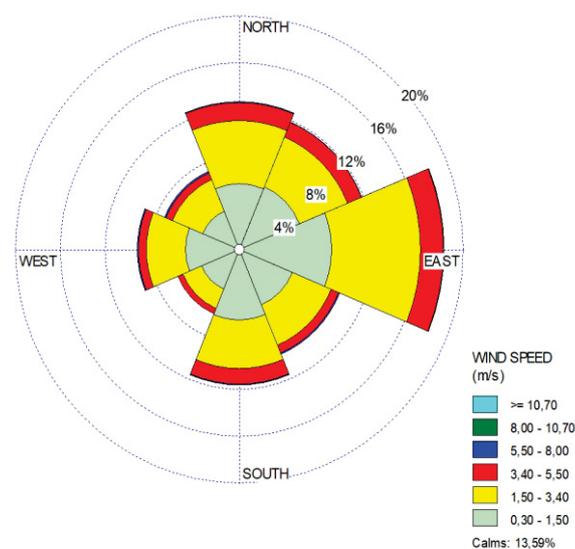


Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Conforme observado no Gráfico 2, o mês de Setembro registrou a maior média de velocidade com valor de 2,39m/s. Por mais que esse valor seja relativamente baixo, quando agrupado com a direção do vento ele pode promover a dispersão de partículas na atmosfera e conseqüentemente o aumento da concentração de material particulado amostrado.

Na Figura 10 é possível observar a predominância dos ventos durante os monitoramentos realizados, nota-se que o setor leste corresponde cerca de 20% dos registros, seguido do setor norte com 12,6% e setor nordeste com 11,8%.

Figura 10 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados entre 2017 a 2022



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Observa-se também o registro de brisa moderada nos setores sudeste, sul, oeste e noroeste, com ventos entre 5,50m/s a 8,00m/s, esses ventos são responsáveis por moverem galhos de árvores, poeira e pequenos papéis.

A Figura 11 apresenta a rosa dos ventos plotada com auxílio do Google Earth no local da amostragem, dessa forma é possível observar que a predominância dos ventos no setor leste é originado de campos agrícolas.

Figura 11 - Rosa dos ventos exportada para o ponto de amostragem no Google Earth



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Os ventos classificados com brisa moderada foram registros principalmente nos setores sul e oeste, conforme mostrado no mapa. É possível observar que esses setores não possuem interferência de edificações, o que pode ter proporcionado os registros de ventos mais fortes.

4.2.2 PLUVIOSIDADE

De acordo com o SIMEPAR (Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná) as estações no estado do Paraná tem início nas seguintes datas: outono (20/03 a 21/06), inverno (21/06 a 22/09), primavera (22/09 a 21/12) e o verão (21/12 a 20/03).

Sabe-se também que a predominância de períodos secos ocorre no outono e no inverno e a maior concentração de chuvas ocorre na primavera e no verão. As regiões do estado do Paraná com menor índice pluviométrico são o Norte e

Noroeste, onde o clima é mais seco e ocorrem estiagens em pelo menos um mês durante o inverno e as chuvas ocorrem com maior frequência durante o verão (CARAMORI et al., 2006; FERREIRA, 2007; FRITZSONS et al., 2011; SALTON et al., 2021).

Tabela 3 - Estatística descritiva da variável Pluviosidade

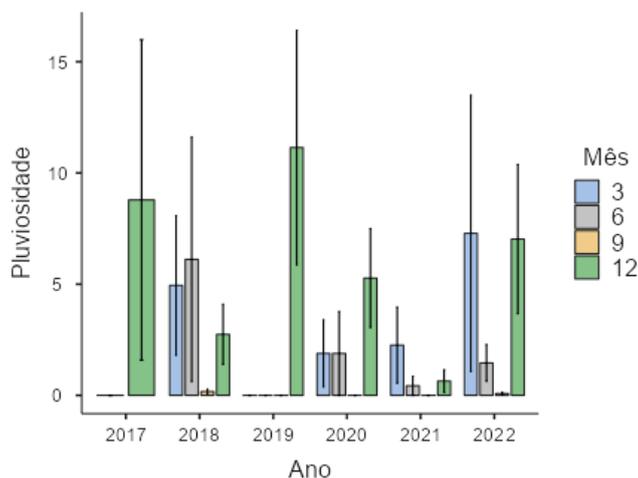
Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
2017	9	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.000
	12	8.7857	0.000	19.055	0.00	51.300
2018	3	4.9429	1.800	8.301	0.00	22.900
	6	6.1143	0.400	14.535	0.00	39.000
	9	0.1714	0.000	0.293	0.00	0.600
	12	2.7429	0.000	3.577	0.00	8.100
2019	3	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.000
	6	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.000
	9	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.000
	12	11.1429	7.200	13.948	0.00	37.500
2020	3	1.8857	0.000	3.986	0.00	10.800
	6	1.8857	0.000	4.989	0.00	13.200
	9	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.000
	12	5.2714	6.000	5.881	0.00	15.900
2021	3	2.2571	0.000	4.524	0.00	12.000
	6	0.4286	0.000	1.134	0.00	3.000
	9	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.000
	12	0.6429	0.000	1.346	0.00	3.600
2022	3	7.2857	0.000	16.436	0.00	44.100
	6	1.4571	0.000	2.187	0.00	5.400
	9	0.0857	0.000	0.146	0.00	0.300
	12	7.0286	5.100	8.870	0.00	25.500

Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Com base na Tabela 3 é possível verificar que nos meses de Março, Junho e Setembro do ano 2019 não houve registro de chuva durante o período monitorado, o mesmo evento ocorreu durante os monitoramentos realizados em Setembro/2017 e Setembro/2020. A frequente ausência de chuvas durante o mês de Setembro pode ter sido provocado por conta do inverno, tendo em vista que nesta estação é característico o baixo volume de chuvas.

Os maiores volumes de chuva (acumulado em 24 horas) ocorreu durante os monitoramentos realizados em Dezembro/2017 (51,3mm), Junho/2018 (39mm), Dezembro/2019 (37,5mm) e Março/2022 (44,1mm).

Gráfico 3 - Volume pluviométrico médio separado por ano



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O Gráfico 3 apresenta os volumes médios acumulados durante as campanhas, sendo possível identificar que os monitoramentos realizados em Março e Dezembro que corresponde a estação verão apresentou os maiores volumes de chuva.

4.2.3 TEMPERATURA

A temperatura do ar é um dos efeitos mais importantes da radiação solar. O aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares.

De acordo com a Tabela 4, nota-se que as maiores amplitudes térmicas ocorreram no mês de Junho, registrando média de 7°C a 24°C conforme observado no monitoramento de Junho/2021.

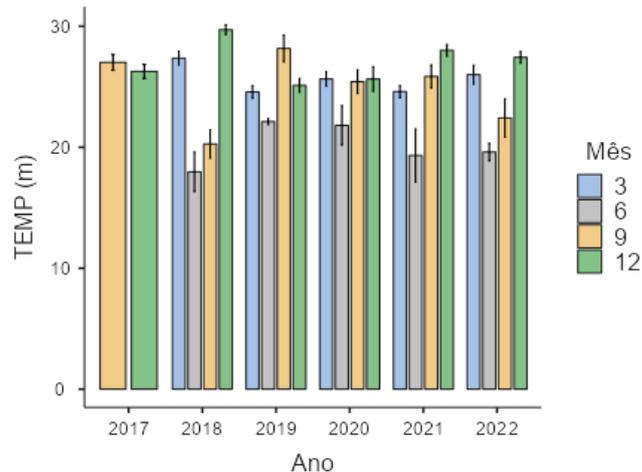
Tabela 4 - Estatística descritiva da variável Temperatura

Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	Mínimo	Máximo
2017	9	27.0	27.4	1.714	4.87	24.09	29.0
	12	26.3	26.4	1.525	4.33	23.51	27.8
2018	3	27.4	27.5	1.480	4.20	24.58	28.8
	6	18.0	18.2	4.334	11.43	12.78	24.2
	9	20.3	20.5	3.106	7.92	15.53	23.4
	12	29.7	30.2	1.065	3.09	27.53	30.6
2019	3	24.6	24.8	1.373	3.35	22.92	26.3
	6	22.1	22.1	0.648	2.07	21.08	23.2
	9	28.2	29.6	2.940	7.40	23.00	30.4
	12	25.1	24.7	1.518	4.48	23.15	27.6
2020	3	25.6	25.5	1.583	4.85	23.35	28.2
	6	21.8	23.4	4.331	11.54	14.85	26.4
	9	25.4	24.6	2.592	5.58	22.54	28.1
	12	25.6	24.4	2.688	7.48	22.08	29.6
2021	3	24.6	25.2	1.337	3.72	22.00	25.7
	6	19.3	20.6	5.793	16.99	7.21	24.2
	9	25.9	26.4	2.530	6.49	21.95	28.4
	12	28.0	28.3	1.273	4.18	25.56	29.7
2022	3	26.0	25.9	2.068	6.23	23.00	29.2
	6	19.6	19.6	1.930	5.71	17.43	23.1
	9	22.4	19.7	4.205	9.66	18.75	28.4
	12	27.4	27.5	1.270	3.70	25.75	29.5

Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A maior temperatura registrada foi na campanha de Dezembro/2018, com temperatura máxima de 30°C, valores próximos a estes também foram registrados nos demais monitoramentos realizados no mês de Dezembro.

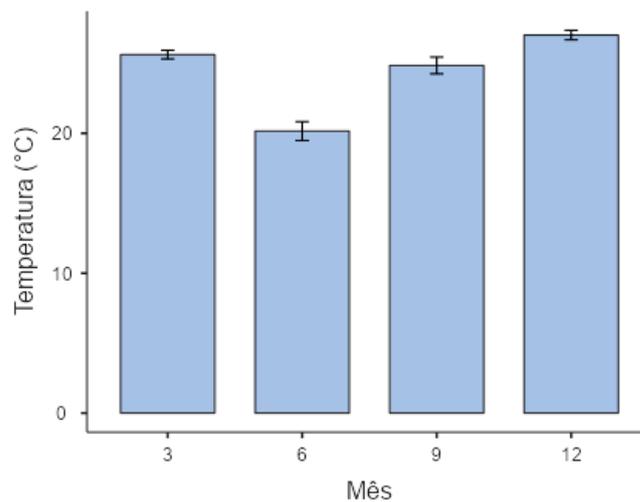
Gráfico 4 - Temperaturas médias agrupadas por ano



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Conforme apresentado no Gráfico 4, observa-se que a média da temperatura durante as campanhas (7 dias) exibiu resultados similares, apresentando média geral de 24,4°C. Os anos de 2017 e 2020 apresentaram médias mais próximas, acima de 25°C, exceto o mês de Junho que teve média da campanha de 21°C.

Gráfico 5 - Temperatura média separada por mês



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Conforme observado no Gráfico 5, o mês de Dezembro apresentou a maior a temperatura média de 27°C, durante os meses monitorados. Em contrapartida, o

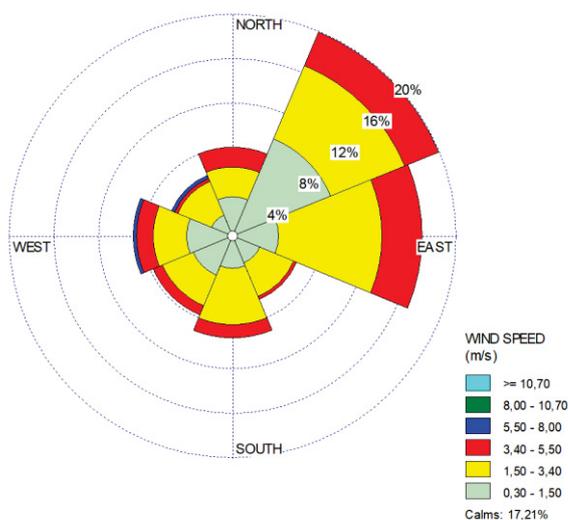
mês de Junho apresentou a menor temperatura média, como já era esperado por ser um mês onde a estação do ano é o inverno.

4.2.4 DIREÇÃO DO VENTO

A rosa dos ventos foi plotada com os dados anuais e os gráficos a seguir correspondem aos dados meteorológicos coletados juntamente com os monitoramentos de material particulado.

A Figura 12 apresenta a rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em Setembro e Dezembro de 2017. Nota-se que a predominância dos ventos é nos setores nordeste (20% da frequência), seguido da direção leste (16% da frequência), com velocidade abaixo de 5,50m/s, classificado como brisa fraca.

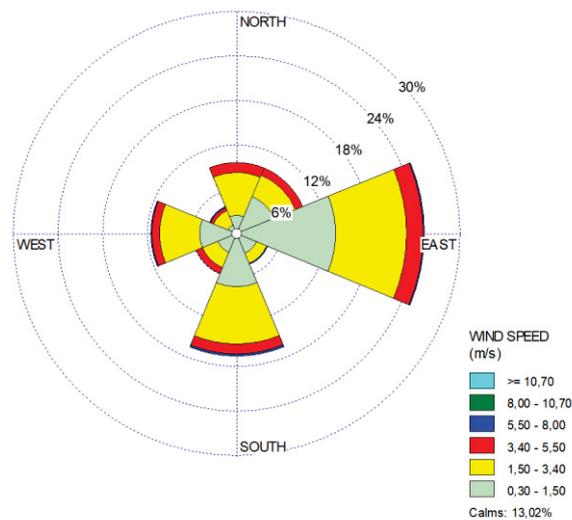
Figura 12 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2017



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

É possível observar o registro de Brisa Moderada responsável pela ressuspensão da poeira e movimentação dos galhos das árvores nos setores oeste e noroeste. Além disso, 17% dos ventos registrados durante os monitoramentos realizados em 2017 foram calmos, não atingindo velocidades de 0,3m/s.

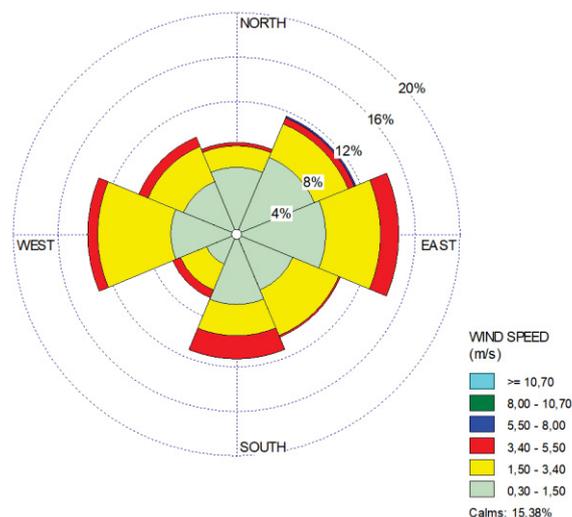
Figura 13 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2018



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2018 apresentou ventos predominantemente no setor Leste (25%), conforme apresentado na Figura 13. É possível verificar também que alguns setores registraram brisas moderadas, porém a predominância dos ventos foi de Brisa leve, alcançando a velocidade de 3,4m/s. Além disso, 13% dos registros foram de ventos calmos.

Figura 14 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2019



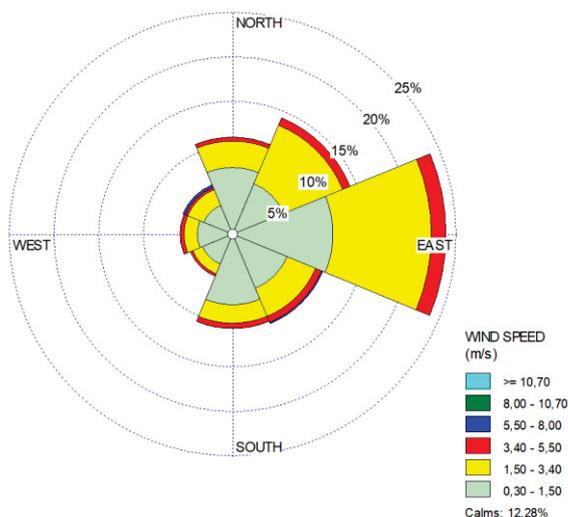
Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A Figura 14, referente aos monitoramentos realizados em 2019 apresentou rosa dos ventos com fraca dominância, as direções que teve maior frequência foram leste (14,5%), seguindo pelo setor oeste (13,3%), setor nordeste (11,5%) e setor sul

(11,2%). Nota-se que apenas o setor nordeste apresentou ventos com velocidades entre 5,50 e 8,00m/s, classificada como brisa moderada.

Outro ponto relevante observado nesta rosa do ventos é que os ventos calmos apresentaram o maior percentual de frequência durante os monitoramentos realizados em 2019.

Figura 15 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2020

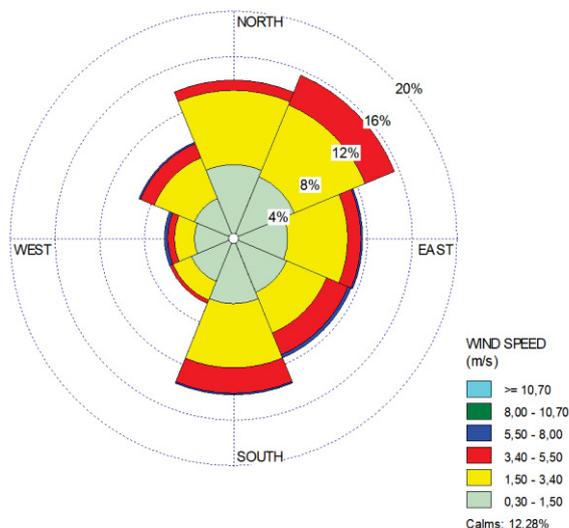


Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A Figura 15 apresenta a rosa dos ventos referente ao ano de 2020, nota-se a predominância dos ventos no setor leste, possuindo 23% da frequência dos ventos. A predominância de ventos neste setor também foi observado na rosa dos ventos do ano de 2018.

Brisas moderadas foram registradas nos setores sudeste e noroeste, os demais setores registraram ventos até 5,50m/s. Ventos calmos representaram 12% da frequência dos ventos registrados durante os monitoramentos realizados em 2020.

Figura 16 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2021

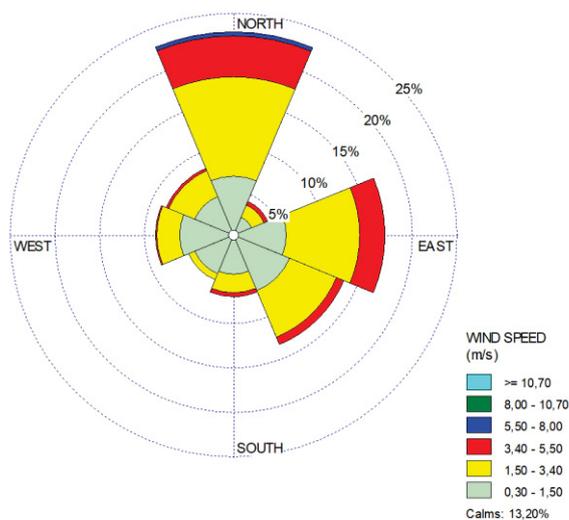


Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A rosa dos ventos referente ao ano de 2021 é apresentada através da Figura 16, nota-se ausência de dominância de setores, assim como o observado no ano de 2019. Os setores que apresentaram as maiores frequências foram nordeste (15,5%), norte e sul (13%) e leste e sudeste (11%).

Foi verificado também que alguns setores como leste, sudeste, sul, oeste e noroeste registram brisas moderadas, sendo que os ventos podem atingir velocidade de até 8,0m/s, podendo ser responsáveis pela ressuspensão de poeira.

Figura 17 - Rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2022



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A Figura 17 apresenta a rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em 2022, nota-se a predominância no setor norte com 22,8% de frequência e ventos atingindo velocidades de até 8,00m/s. O setor sudoeste foi o único setor que registrou ventos até 3,4m/s classificados com brisa leve.

4.3 CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES

Além da apresentação dos dados através das tabelas, foi utilizado também gráficos para visualização das concentrações. O modelo escolhido foi o gráfico de barras, que utiliza a média para expressar os resultados, sendo que eles foram separados mensalmente e anualmente.

4.3.1 MATERIAL PARTICULADO INALAVEL – MP10

As concentrações médias (24 horas) de MP10 da empresa X, assim como as estatísticas básicas inferidas (média, mediana, desvio padrão, amplitude, valores mínimos e máximos) podem ser verificadas na Tabela 5. Os valores estatísticos consideraram sete dias de amostragem para cada período monitorado, os valores da concentração são expressos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Na Tabela 5 na coluna dos valores máximos, o mês de Setembro apresentou durante todo o período amostrado os maiores valores, alcançando valor máximo diário de 178,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entre os valores médios de campanha (7 dias), o mês de Setembro/2020 apresentou a maior concentração média (123,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), assim como a segunda maior concentração diária (175,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Em 2019, no mês de Dezembro, obteve-se a menor concentração média (18,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) das campanhas e a menor concentração diária ocorreu no mês de Março/2020.

Tabela 5 - Estatística descritiva da Concentração de MP10

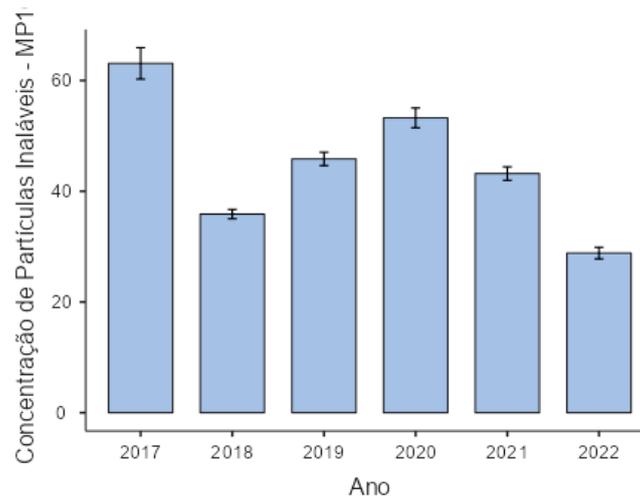
Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	Mínimo	Máximo
2017	9	105.6	88.0	42.36	128.01	50.59	178.6
	12	20.6	20.4	6.03	20.34	11.23	31.6
2018	3	40.9	30.6	18.58	51.06	23.30	74.4

Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	Mínimo	Máximo
2019	6	33.1	18.4	24.74	65.99	11.99	78.0
	9	42.6	50.3	25.95	78.05	4.43	82.5
	12	26.8	25.7	12.96	41.17	10.89	52.1
	3	19.3	19.3	10.08	36.57	3.20	39.8
	6	72.1	79.9	13.99	38.80	45.32	84.1
	9	73.0	85.8	26.91	78.41	27.20	105.6
2020	12	18.9	19.9	2.06	5.68	15.26	20.9
	3	24.5	22.8	6.94	19.36	17.48	36.8
	6	45.1	45.9	21.77	58.03	17.50	75.5
	9	123.4	107.4	30.73	91.70	84.00	175.7
	12	19.9	12.9	12.68	32.23	7.34	39.6
	3	28.5	23.1	12.58	33.30	16.91	50.2
2021	6	38.9	18.8	33.63	95.88	6.95	102.8
	9	83.5	89.3	18.17	54.61	48.08	102.7
	12	21.9	23.7	8.17	21.19	9.67	30.9
	3	23.0	23.2	4.98	15.46	13.56	29.0
	6	25.3	16.7	20.34	60.98	13.09	74.1
	9	50.4	20.8	42.81	107.21	15.85	123.1
2022	12	16.5	14.2	4.43	12.40	11.20	23.6

Fonte: Empresa X; A autora, 2022

Com o intuito de facilitar a interpretação dos dados foi montado dois gráficos que apresenta as concentrações de Material Particulado Inalável - MP10 agrupados por mês e por ano.

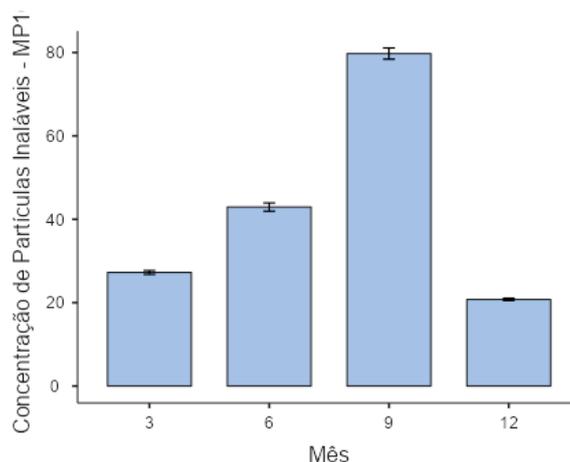
Gráfico 6 - Concentração média de Material Particulado Inalável (MP10) separado por ano



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O Gráfico 6 mostrou que a maior média de $63,1\mu\text{g}/\text{m}^3$, foi observada no ano de 2017 e, conforme descrito anteriormente, o monitoramento realizado em Setembro deste ano, apresentou a maior concentração diária de MP10, promovendo desta forma que este ano mostrasse a maior média entre os monitoramentos. Outro fato que pode ter provocado esse evento, é que o ano de 2017 contou apenas com dois monitoramentos, reduzindo o número de amostragem.

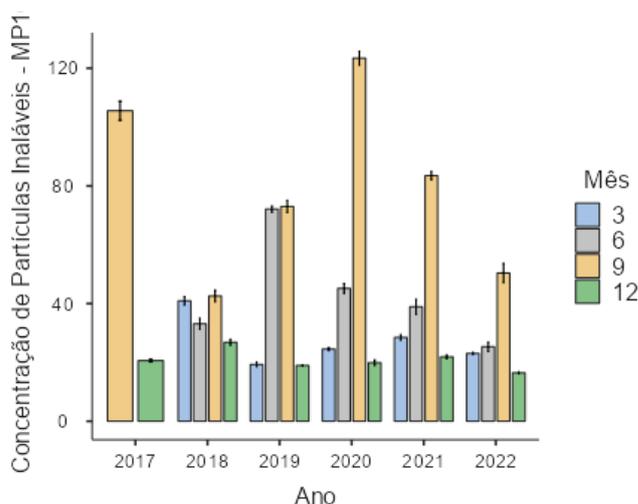
Gráfico 7 - Concentração média de Material Particulado Inalável (MP10) separado por mês



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Com base no Gráfico 7, nota-se que o mês de Setembro apresentou a maior concentração média de $79,7\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este gráfico corrobora com o que está apresentado na Tabela 5, onde os monitoramentos realizados em Setembro sempre apresentaram valores elevados em comparação com os demais meses monitorados.

Gráfico 8 - Concentração média de Material Particulado Inalável (MP10)



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

No Gráfico 8 também está presente a distribuição dos dados de concentração de MP10, em forma de média dos sete dias de amostragem. Nota-se que o mês de Dezembro apresentou as menores médias de campanha (7 dias) em todos os anos monitorados e em contrapartida o mês de Setembro, foi o mês que apresentou as maiores médias de campanha.

4.3.2 PARTICULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO - PTS

A Tabela 6 apresenta os valores referente ao monitoramento de Partículas Totais em Suspensão, diferentemente das concentrações de MP10 os valores de PTS são elevados, atingindo concentração média diária de 376,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na campanha de Setembro/2017. Esse evento pode ser observado também na campanha de Setembro/2020, onde a concentração média diária foi de 325,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, as maiores médias de campanha (7 dias) também foram obtidas neste mês.

Tabela 6 - Estatística descritiva da Concentração de PTS

Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	Mínimo	Máximo
2017	9	209.8	162.4	90.30	270.9	106.03	376.9
	12	29.8	32.2	7.33	21.2	17.53	38.8
2018	3	59.9	42.6	34.69	92.0	25.93	118.0
	6	58.7	29.2	49.47	134.8	17.60	152.4
	9	75.7	86.5	45.21	138.4	7.81	146.2
	12	45.1	48.8	17.99	52.9	15.61	68.5
2019	3	28.1	28.1	13.76	50.2	5.61	55.8
	6	160.4	166.4	35.38	118.0	106.28	224.3
	9	150.6	168.9	48.39	143.8	67.87	211.7
	12	23.7	23.6	6.72	20.6	15.00	35.6
2020	3	45.5	49.2	12.37	38.2	29.35	67.5
	6	79.9	78.6	47.91	119.1	22.69	141.8
	9	232.3	196.4	52.63	141.2	184.20	325.4
	12	27.1	13.8	22.12	61.7	12.16	73.9
2021	3	51.4	38.4	30.68	79.6	22.69	102.3
	6	76.0	44.1	65.46	186.2	14.17	200.4
	9	152.3	158.2	32.30	89.2	96.58	185.8

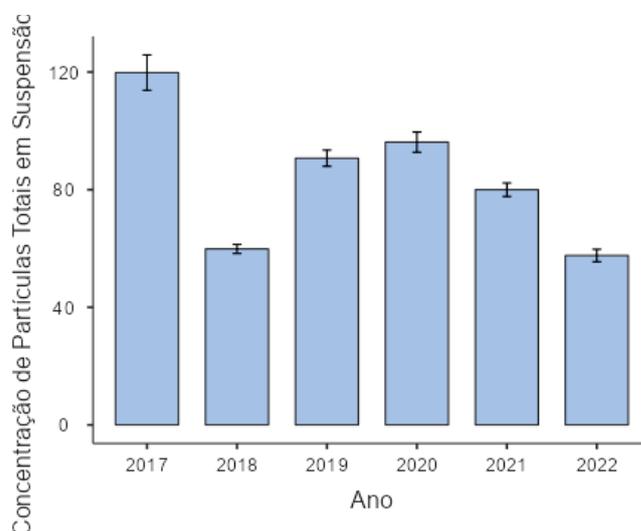
Ano	Mês	Média	Mediana	Desvio-padrão	Amplitude	Mínimo	Máximo
2022	12	40.3	45.4	17.40	49.4	10.41	59.8
	3	39.7	40.8	10.84	33.5	23.46	56.9
	6	41.8	26.6	33.18	99.0	22.83	121.8
	9	108.3	60.7	84.25	212.7	34.21	246.9
	12	40.4	39.0	12.01	42.8	19.70	62.5

Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Em relação aos valores mínimos, o mês de Março/2019 foi o que apresentou a menor concentração diária ($5,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e em relação a menor concentração média de campanha (7 dias), o mês de Dezembro/2019 foi que apresentou o menor valor ($23,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Vale destacar a elevada amplitude (212,7) referente a campanha realizada em Setembro/2022. Este fato demonstra que durante o monitoramento houve grande variação de partículas na atmosfera ou que algum evento climático possa ter influenciado nesta ampla variação do material particulado.

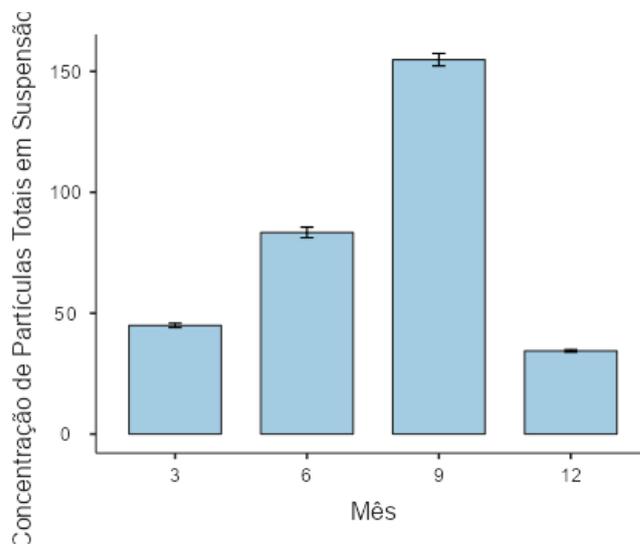
Gráfico 9 - Concentração média de Partículas Totais em Suspensão (PTS) separados por ano



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Conforme observado no Gráfico 9 a média do monitoramentos realizados durante o ano de 2017 apresentaram maior valor em relação ao demais anos, com valor médio de $119,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o ano de 2022 apresentou a menor média $57,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico 10 - Concentração média de Partículas Totais em Suspensão (PTS) separados por mês

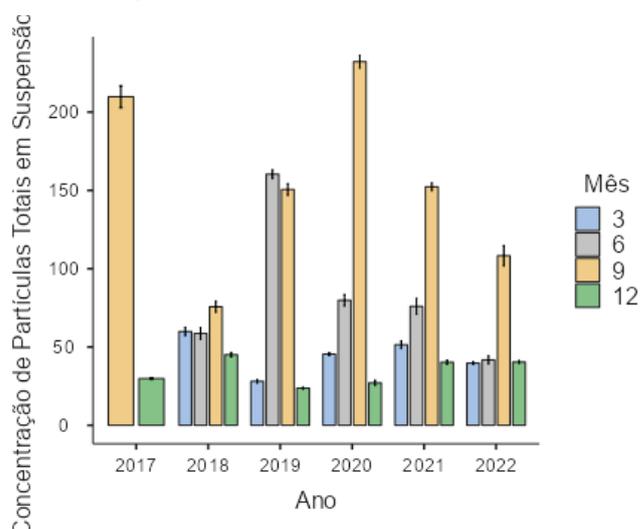


Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O Gráfico 10 apresenta os valores médios dos monitoramentos agrupados por meses, assim como observado no monitoramento de MP10, o mês de Setembro é o que apresentou maior valor médio ($154,8\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Isso ocorre pelo fato de Setembro ter o menor volume de chuva dentre os demais meses monitorados, essa variável climática é responsável pela remoção úmida das partículas da atmosfera. Na ausência da chuva as partículas ficam por mais tempo no ar e também pode ocorrer a ressuspensão do solo.

Gráfico 11 - Concentração média de Partículas Totais em Suspensão (PTS)



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O Gráfico 11 apresentou o panorama geral dos monitoramentos, sendo possível observar que o mês de Dezembro sempre apresenta os menores valores médios de concentração. É possível verificar também que nos monitoramentos realizados em 2019, o mês de Junho teve a maior média de campanha (7 dias), ultrapassando o valor médio do mês de Setembro, que sempre apresenta os maiores valores de campanha.

Além disso, Março e Junho, durante os monitoramentos realizados em 2018, apresentaram média de campanha semelhantes, sendo $59,9\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $58,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Esse evento ocorre novamente durante o monitoramento realizado em 2022, apresentando média de campanha de $39,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $41,8\mu\text{g}/\text{m}^3$. A ocorrência de chuvas durante o período monitorado pode ter contribuído para estes resultados.

4.4 VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE DOS DADOS

O Teste de Shapiro-Wilk tem como objetivo avaliar se uma distribuição é semelhante a uma distribuição normal. Como resultado, o teste retornará a estatística W , que terá um valor de significância associada, o valor- p . Para dizer que uma distribuição é normal, o valor p precisa ser maior do que 0,05.

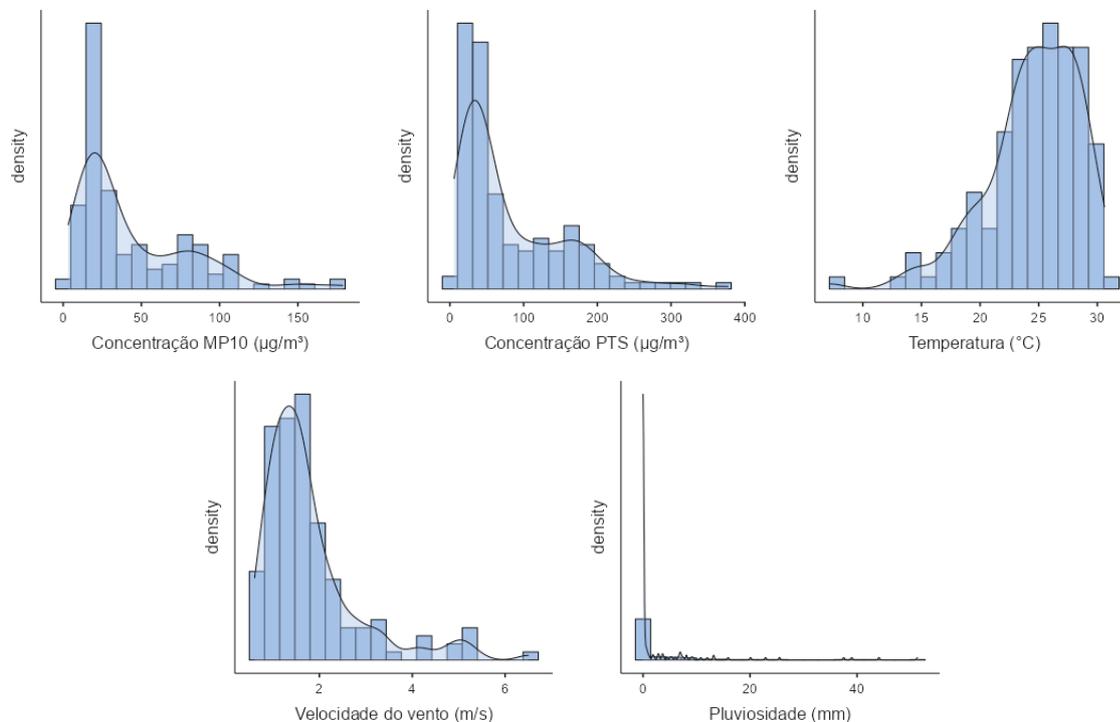
Tabela 7 - Resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$) para os dados da concentração de material particulado e os dados meteorológicos avaliados

Parâmetro	Teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$)		
	W	p	Interpretação
Concentração MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.827	< .001	Não apresenta distribuição normal
Concentração PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.827	< .001	Não apresenta distribuição normal
Velocidade do vento (m/s)	0.799	< .001	Não apresenta distribuição normal
Pluviosidade (mm)	0.383	< .001	Não apresenta distribuição normal
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	0.939	< .001	Não apresenta distribuição normal

Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Conforme observado na Tabela 7, os resultados obtidos através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, os dados não apresentaram distribuição normal, por conta disso foram utilizados testes estatísticos não-paramétricos.

Gráfico 12 - Gráficos dos resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O Gráfico 12 apresenta por meio de um histograma a distribuição dos dados utilizados nesta pesquisa, é possível verificar a ausência de distribuição normal.

4.5 INFLUÊNCIAS METEOROLÓGICAS SOBRE A CONCENTRAÇÃO DE PTS E MP10

Para verificar a correlação entre a concentração de PTS e MP10 e as condições climáticas, foi realizado um teste não-paramétrico, isto é, que não estão condicionados por qualquer distribuição de probabilidades dos dados em análise. O teste escolhido foi de Spearman (ρ), onde seus coeficientes de correlação são valores adimensionais que podem variar de -1 a 1 (SIEGEL, 1975).

A força de uma relação entre duas variáveis nos dá o grau com que uma variável tende a variar quando a outra altera. Ela é expressa em uma escala indo de

-1 (correlação negativa perfeita) a +1 (correlação positiva perfeita). O nome que se dá à variável que mede a força de uma correlação (nessa escala de -1 a +1) é coeficiente de correlação (representado pela letra r).

Tabela 8 - Correlação não paramétrica de Spearman entre a concentração de material particulado e as variáveis meteorológicas

		Concentração MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentração PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Velocidade do vento (m/s)	Pluviosidade (mm)
Concentração MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rho de Spearman	—			
Concentração PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rho de Spearman	0.964	—		
Velocidade do vento (m/s)	Rho de Spearman	0.143	0.187	—	
Pluviosidade (mm)	Rho de Spearman	-0.457	-0.489	-0.026	—
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Rho de Spearman	0.327	0.269	0.036	-0.160

Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Com base na Tabela 8, nota-se que a concentração de MP10 apresentou correlação positiva muito forte com a concentração de PTS. Esta informação era esperada, tendo em vista que parte das partículas totais em suspensão corresponde ao material particulado inalável.

A variável pluviosidade apresentou correlação negativa moderada com a concentração de material particulado, demonstrando dessa forma que conforme os valores de pluviosidade aumentam, os valores de concentração de material particulado diminuem. Esse resultado se dá por conta da deposição úmida que realiza a remoção das partículas da atmosfera através da chuva.

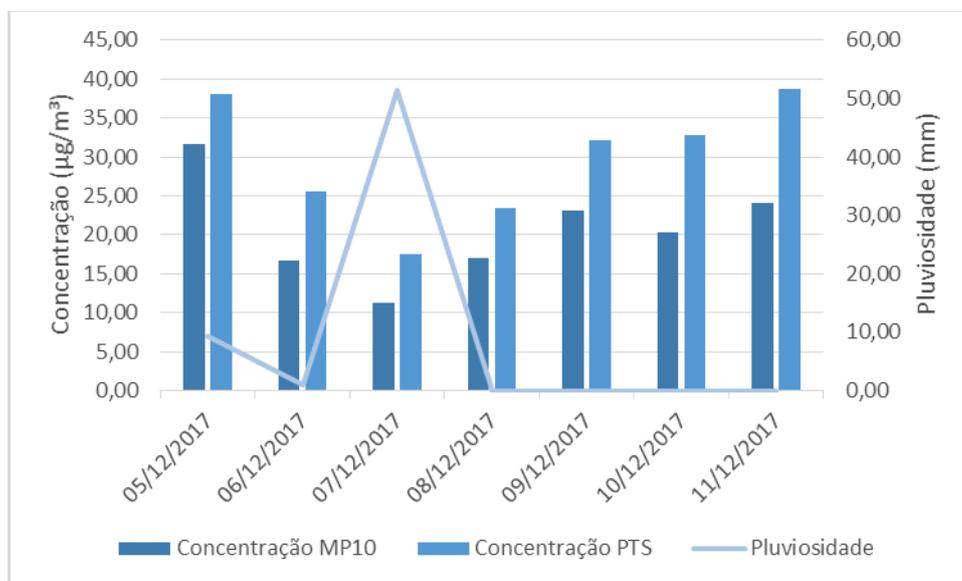
A temperatura e velocidade do vento apresentou correlação positiva fraca e correlação positiva muito fraca, respectivamente com a concentração de material particulado.

4.5.1 INFLUÊNCIA DA PLUVIOSIDADE

Nota-se que a variável pluviosidade apresentou correlação significativa com a concentração de PTS e MP10, porém essa correlação foi moderada e negativa. Por mais que exista correlação entre essas variáveis ela não é forte, não apresentando tanta influência entre si.

Por meio do Gráfico 13 é possível observar a influência da chuva na concentração de material particulado. Durante a campanha realizada em Dezembro/2017 houve registro de 51,30 mm no dia 07/12/2017. É possível observar no gráfico que no dia em que foi registrado chuva, também foi observado o registro das menores concentrações de material particulado. Nos dias seguintes, é possível observar a elevação da concentração de partículas por conta da ausência da chuva. Com isso é possível verificar que a remoção úmida é eficiente na remoção de partículas do ar.

Gráfico 13 - Influência da chuva na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Dezembro/2017

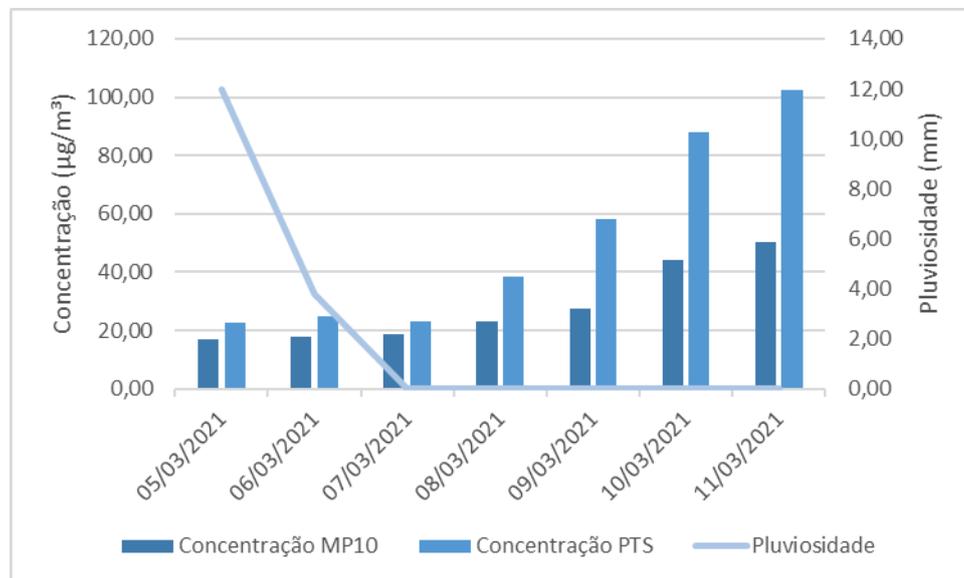


Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Conforme apresentado no Gráfico 14, no monitoramento realizado em Março/2021, houve registro de chuva no primeiro e segundo dia, porém com o passar dos dias nota-se que a concentração de material particulado vai aumentando gradativamente. Isso pode acontecer por conta do solo estar mais seco, pois a

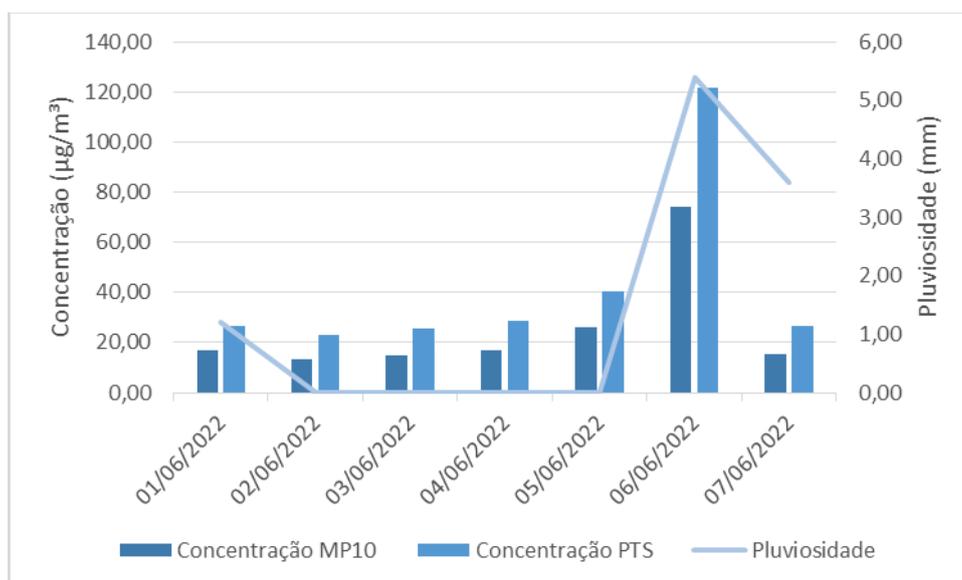
energia térmica do sol aquece a superfície promovendo a desagregação das partículas e consequentemente a ressuspensão.0

Gráfico 14 - Influência da chuva na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Março/2021



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O Gráfico 15 exibe os dados de concentração de material particulado e volume de chuva. Nota-se que o dia 06/06/2022 apresentou as maiores concentrações de PTS e MP10, porém neste mesmo dia foi registrado volume acumulado de 5,40 mm de chuva. Verifica-se que as concentrações no dia seguinte foi reduzidas bruscamente por conta da chuva, a concentração de MP10 sofreu redução de 58% e de PTS sofreu redução de 95%.



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Com isso, percebe-se que as partículas com diâmetros maiores são mais susceptíveis de serem removidas da atmosfera por meio da deposição úmida, em relação as partículas de menor diâmetro.

Estudos sobre a influência de condições meteorológicas na concentração de material particulado não são recentes e diversos trabalhos buscaram avaliar essa influência. Barros (2014) realizou 134 amostragens de Material Particulado – MP10 no período de Agosto/2011 a Fevereiro/2014, no município de Florianópolis. Durante seu estudo, foi aplicado o teste de correlação não-paramétrico de Spearman, para verificar a influência de fatores climáticos sobre a concentração de partículas. Dentre as variáveis analisadas, a pluviosidade apresentou grande correlação com o material particulado.

Hoinaski (2010) em sua pesquisa avaliou a qualidade do ar no período de 2008 a 2009, nos municípios de Tubarão e Capivari de Baixo, no estado de Santa Catarina. Para verificar a influência meteorológica perante a concentração de MP10, foi utilizado o teste estatístico correlação não-paramétrica de Spearman, mesmo teste utilizado neste estudo. Com base nos resultados, foi possível verificar correlação negativa entre a concentração de MP10 e a chuva, ou seja, quanto maior for a precipitação durante o monitoramento menor será a quantidade de material particulado coletado. A explicação para este resultado estatístico, como relatado anteriormente, é que o arraste oferecido pelas gotículas de chuva remove grande

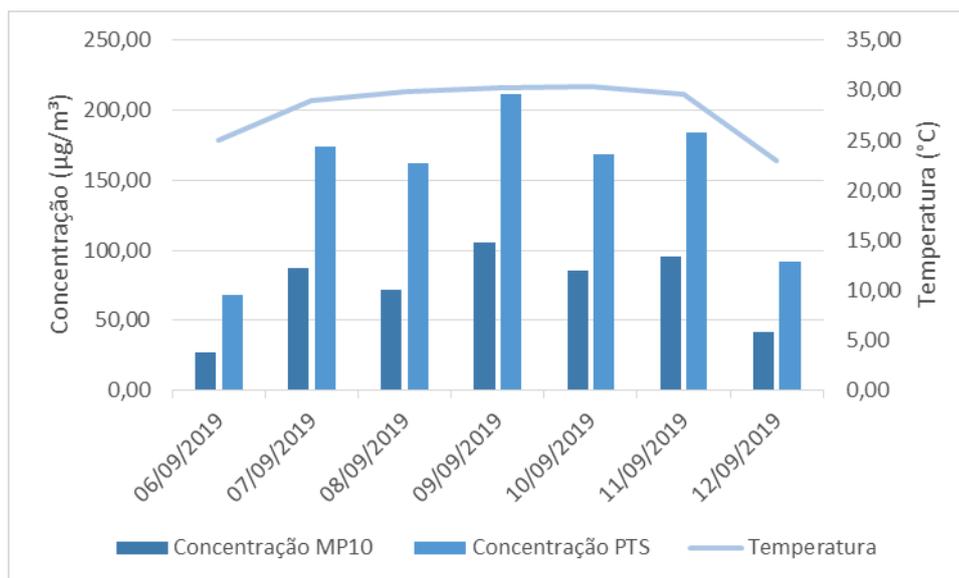
parte das partículas que estão em suspensão e as deposita sobre o solo e outras superfícies.

A constatação de que a chuva atua como ferramenta para a remoção úmida, retirando o material particulado da atmosfera foi confirmado por Barros (2014) e Hoinaski (2010), o mesmo resultado foi identificado neste trabalho, onde a precipitação apresentou correlação negativa moderada com a concentração de material particulado. Com base nos resultados apresentados, constatou-se que nas campanhas que não houve registro de chuva, as concentrações de partículas foram elevadas.

4.5.2 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

Conforme observado na Tabela 8 dos resultados de correlação, a temperatura apresentou resultados significativos com a concentração de material particulado. Essa variável está interligada com a variável pluviosidade, considerando que nos dias em que houve registro de chuva, existe a tendência da temperatura sofrer queda.

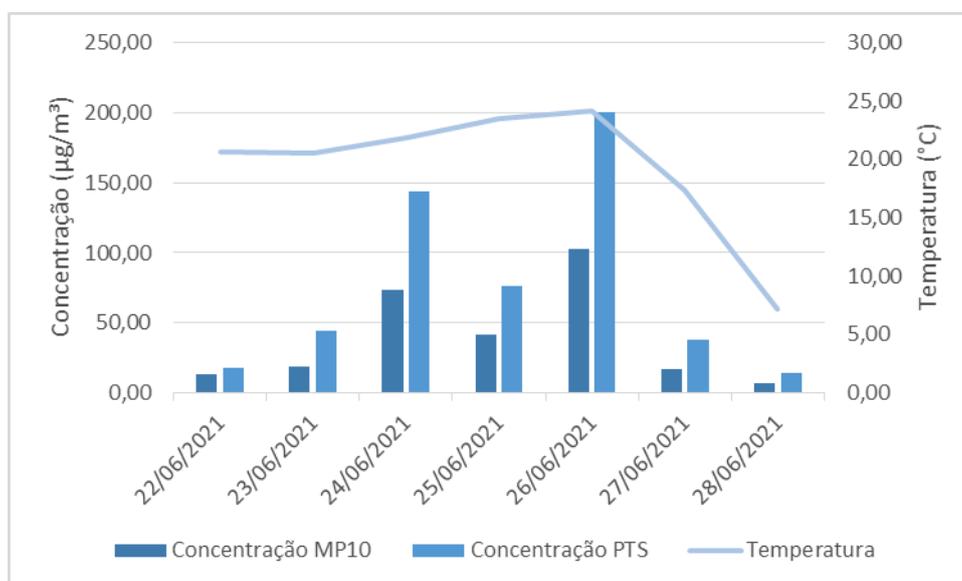
Gráfico 16 - Influência da temperatura na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Setembro/2019



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Conforme observado no Gráfico 16, no monitoramento realizado em Setembro/2019, nota-se que a concentração de material particulado aumenta conforme a temperatura sobe. Entre os dias 06 e 07, é possível verificar que a temperatura teve aumento em 4°C e a concentração das partículas teve aumento de 60% e 105%, para o MP10 e PTS, respectivamente. E nos dias 11 e 12, foi percebido fenômeno inverso, a temperatura reduz em 6°C e as concentrações reduzem em 53% para o MP10 e 92% para o PTS.

Gráfico 17 - Influência da temperatura na concentração de material particulado observado no monitoramento realizado em Junho/2021



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A relação chuva e temperatura, pode ser vista no Gráfico 17, sendo que no dia 28/06 houve registro de 3mm de chuva e a temperatura apresentou queda de 10°C e conseqüentemente a concentração de partículas na atmosfera também reduziu.

Não é possível afirmar que somente a variável temperatura é responsável pelo aumento ou redução das partículas na atmosfera, pois outras variáveis meteorológicas estão correlacionadas a temperatura e também contribuem para concentração de material particulado.

4.5.3 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO

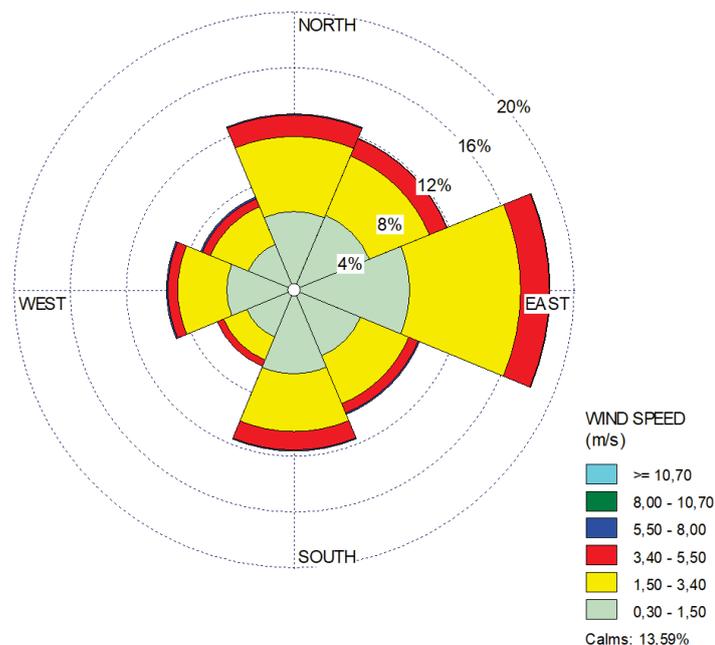
O vento possui grande importância na dispersão das partículas na atmosfera, por conta disso analisou-se as principais direções e velocidade do vento durante os monitoramentos realizados.

Conforme apresentado na Figura 18, a predominância dos ventos durante os monitoramentos foi no setor leste, com 18% de frequência, seguido dos setores norte (12%), noroeste e sul com 11% de frequência.

O setor leste, de acordo com a rosa dos ventos, foi o que apresentou o maior percentual de registro durante todo o período monitorado. Porém, o maior percentual dos ventos dessa região são classificados como ar leve, brisa leve e brisa fraca. Conforme a Escala de Beaufort, esses ventos são responsáveis pela movimentação das folhas das árvores e também possíveis de serem sentidos pelo rosto. É possível verificar que, embora os ventos desse setor foram fracos, contribuíram para a concentração de partículas na atmosfera.

O setor sudoeste foi o único que registrou ventos com velocidades até 5,50 m/s e os demais setores registraram ventos de até 8,00 m/s.

Figura 18 - Rosa dos Ventos

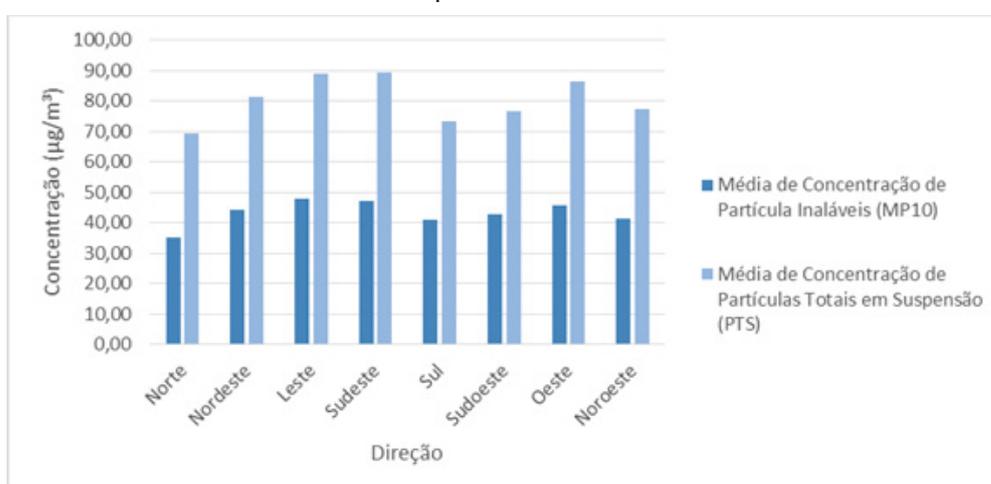


Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Com o intuito de verificar se os setores que apresentaram os ventos mais fortes também foram responsáveis pelos altos valores de concentração de partículas na atmosfera, foi construído um gráfico (Gráfico 18) com a média das concentrações de material particulado agrupados em setores.

Os maiores valores de média de concentração de material particulado foram encontrados nos setores sudeste com concentração média de 89,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o PTS e 47,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o MP10 e o setor leste que teve concentrações médias de 88,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 47,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS e MP10, respectivamente.

Gráfico 18 - Influência da velocidade do vento na concentração de material particulado



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

É importante verificar que o setor que apresentou a maior média de material particulado foi sudeste e conforme apresentado na Rosa dos poluentes, esse setor corresponde a 9% da frequência da distribuição dos ventos.

Mas é interessante ressaltar que, por mais que este setor tenha registrado ventos mais calmos, também foi registrado brisa moderada, que pode ser responsável pela movimentação dos galhos das árvores e da poeira, podendo desta forma ser responsável pela ressuspensão do solo e conseqüentemente o aumento das partículas na atmosfera.

Vale destacar que os ventos do setor oeste, foram registrados também como brisa moderada, com ventos entre 5,5 m/s a 8,0 m/s. Os ventos desse setor corresponde a 9% da frequência de distribuição e demonstrou grande contribuição para a concentração de material particulado, tendo em vista que as médias obtidas

durante todos os monitoramentos foram de 86,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o PTS e 45,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o MP10.

4.5.4 INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO DO VENTO

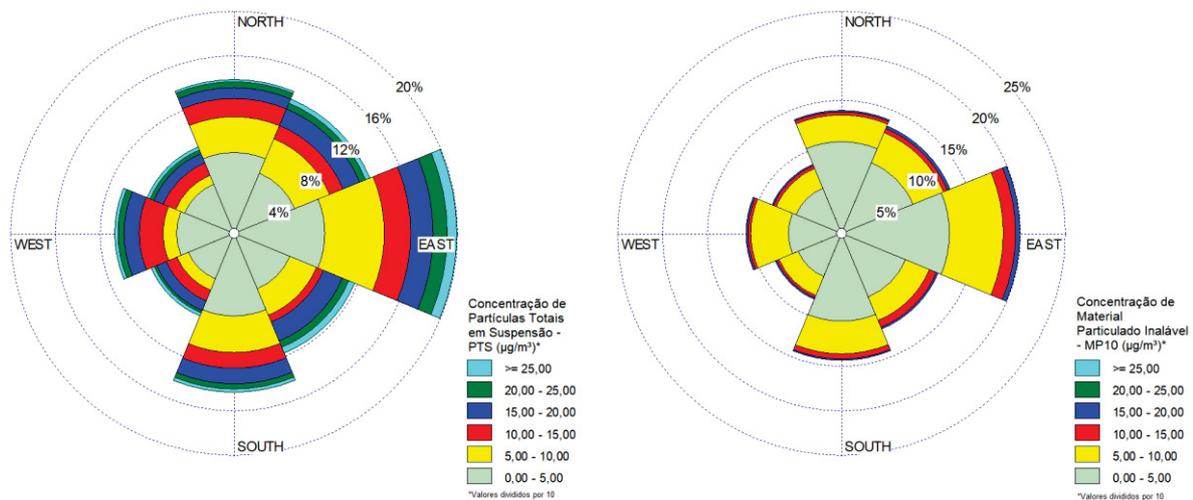
A direção do vento é uma importante variável a ser analisada, tendo em vista que ela irá apresentar as direções onde o vento mais contribuiu para a concentração de material particulado amostrado.

Lembrando que as rosas dos poluentes foram construídas com as concentrações divididas por 10, a escala apresentada são de valores divididos. De acordo com a escala, os valores inteiros das concentrações são: 0 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 50 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 100 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 150 a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 200 a 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $\geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A rosa dos poluentes tem como função apresentar as direções predominantes do vento e separar as concentrações de material particulado em escala, podendo desta forma verificar quais setores apresentaram maiores valores. Porém, ela não indica a média de concentração encontrada nos setores, para isso foi construído um gráfico de barras, para verificar os valores médios de concentração de material particulado.

Com base na Figura 19 é possível observar que durante os monitoramentos a concentração de Material Particulado Inalável – MP10 não ultrapassou o valor de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, porém os monitoramentos de Partículas Totais em Suspensão - PTS apresentaram concentrações acima de 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 19 - Rosa dos Poluentes

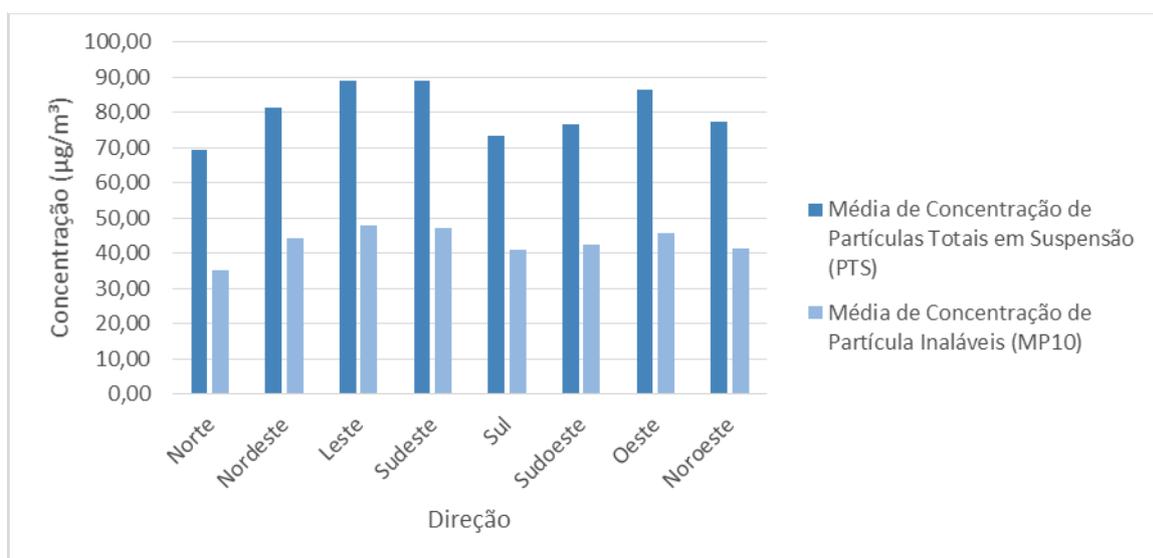


Fonte: Empresa X; A autora, 2023.

O setor leste assim como na rosa do ventos apresentou o maior percentual de frequência (19,8%), seguidos norte (13,8%) e nordeste (13,1%). O setor que apresentou a menor frequência foi o sudoeste, com apenas 8% de frequência.

Nota-se também que concentrações entre 200 e 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, foram registradas com maior frequência no setor Leste, pois a faixa referente a esta categoria é maior nessa região.

Gráfico 19 - Influência da direção do vento na concentração de material particulado



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

No Gráfico 19, é apresentado as concentrações médias agrupadas em setores, o setor sudeste apresentou a maior média de concentração de partículas totais em suspensão, com média de $89,19\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido do setor leste com concentração média de $88,91\mu\text{g}/\text{m}^3$. O MP10 teve as maiores médias no setor leste com $47,79\mu\text{g}/\text{m}^3$ seguido do setor sudeste com $47,24\mu\text{g}/\text{m}^3$.

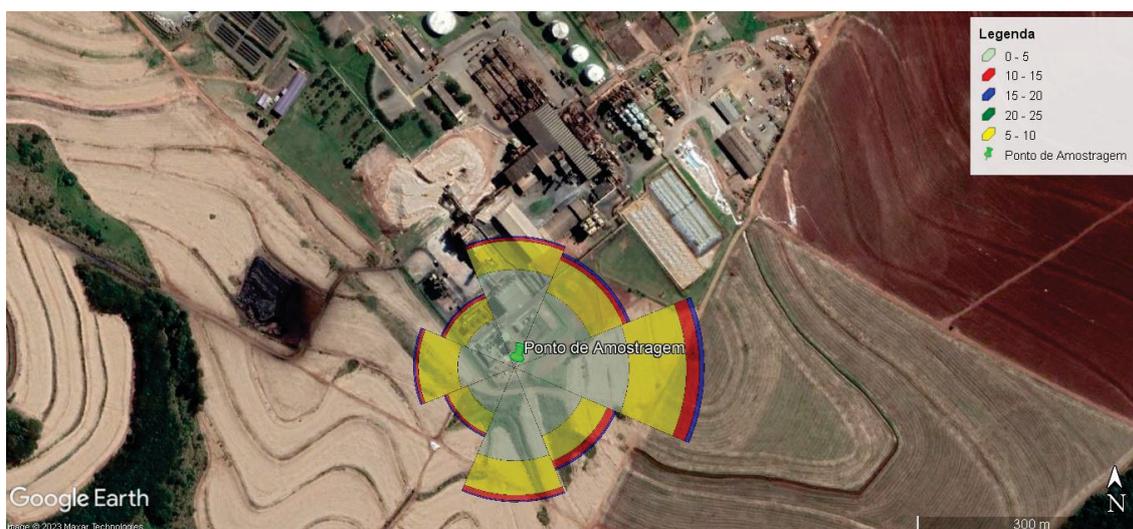
O setor leste já apresentava predominância de ventos e, por isso esperava-se que valores maiores de concentração fossem encontrados neste setor. Porém foi o setor sudeste que correspondeu a 11% da frequência dos ventos e apresentou a maior média de PTS, $89,19\mu\text{g}/\text{m}^3$.

O setor norte, como verificado na rosa dos poluentes, está em terceiro lugar com 13,8% de frequência, porém esse setor foi o que apresentou a menor média de concentração para o PTS ($69,23\mu\text{g}/\text{m}^3$) e para o MP10 ($35,26\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nota-se também que é no setor norte que está localizada grande parte da planta industrial e, mesmo assim este setor apresentou a menor concentração média entre todos os setores. Por mais que os ventos deste setor tiveram grande frequência, não houve grande contribuição de partículas advindas da empresa durante os monitoramentos realizados.

Para que fosse possível avaliar as possíveis fontes de contribuição de material particulado durante a amostragem, foi plotado a rosa dos poluentes no local de amostragem.

Figura 20 - Rosa dos poluentes – MP10 exportada para o ponto de amostragem no Google Earth



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O que podemos observar na Figura 20, é que nos setores leste e sudeste onde as médias de concentrações foram as maiores, estão presentes campos agrícolas, onde normalmente ocorrem o tráfego de veículos pesados, o manejo do solo para o plantio e o processo de colheita.

Esses eventos, juntamente com a predominância dos ventos a leste podem ter contribuído para que as concentrações médias de MP10 e PTS fossem as maiores nestes setores.

Figura 21 - Rosa dos poluentes – PTS exportada para o ponto de amostragem no Google Earth



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

A Figura 21 exibe a rosa dos poluentes referente ao monitoramento de PTS. É interessante notar que o setor norte apresentou percentual elevado na frequência dos ventos, porém as concentrações médias de material particulado neste setor foram as menores. Isso demonstra que ventos provenientes deste setor onde está localizada grande parte da planta industrial da empresa X não contribuíram significativamente para o aumento de partículas durante os monitoramentos.

4.6 INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE

Sabe-se que as estações são conhecidas por baixo ou alto volume de chuva, baixas ou altas temperaturas, ventos mais fortes e, esses fatores podem influenciar na dispersão de partículas. Por conta disso, decidiu-se avaliar a

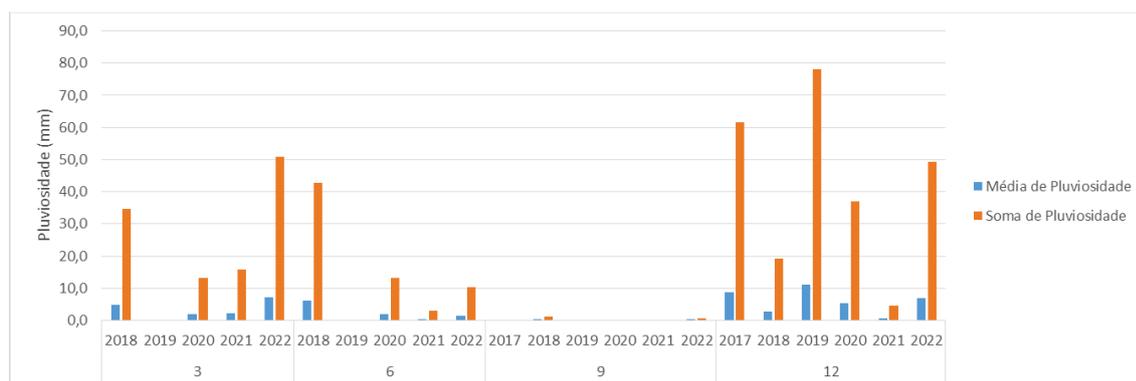
existência de diferença significativa entre os meses em que ocorreram os monitoramentos de qualidade o ar.

Os monitoramentos foram agrupados por mês, para verificar se havia alguma similaridade entre os monitoramentos realizados na mesma época do ano ou em épocas diferentes.

O Gráfico 20 apresenta o volume de chuva acumulado e a média durante as campanhas (7 dias). Percebe-se que no mês de Setembro houve registro de chuvas apenas nos monitoramentos realizados em 2018 e 2022 e mesmo assim os volumes foram baixos, de 1,2 mm e 0,6 mm respectivamente.

O mês de Junho enquadrado nas estações outono e inverno, apresentou alguns eventos de chuva durante suas campanhas, chegando ao acumulado de 42,8 mm na campanha realizada em 2018. Porém, a ausência de chuvas foi registrada no ano seguinte, onde durante toda o monitoramento não houve registro de chuvas.

Gráfico 20 - Resultados da variável pluviosidade agrupados por mês



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O alto índice pluviométrico é registrado no mês em Dezembro, chegando em valores acumulados em campanha de 78 mm durante a campanha realizada em 2019. Este mês está inserido dentro da estação verão, onde no Paraná é característico por altos volumes de chuva.

O mês de Março destaca-se pelos registros de chuva, com acumulado de 51mm durante a campanha de 2022, mas assim como ocorreu na campanha de Junho/2019, o mês de Março deste mesmo ano não registrou chuva durante seus 7 dias de monitoramento. Os eventos de chuva também podem influenciar a velocidade e direção dos ventos, outra variável importante e que deve ser analisada.

Santo *et al.*, (2016), utilizou dados de concentração de MP10 registrados em 14 estações de monitoramento localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro, o período analisado foi entre 1998 e 2008. Em seu trabalho, foi verificado que dentre todo o período monitorado, 146 dias registraram concentrações acima do padrão estabelecido pelo PNQA de 24 horas para o MP10 na região metropolitana do Rio de Janeiro em pelo menos um estação.

Analisando os dados referente a esses dias, verificou-se que em 87% das ultrapassagem ao PNQA houve influência do ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul), este sistema é caracterizado por condições de céu claro, ventos fracos e subsidência do ar, criando condições totalmente desfavoráveis a dispersão dos poluentes. Os principais meses que sofreram com a influência do ASAS foi Maio e Setembro, além disso foi verificado que em aproximadamente 95% dos dias analisados não houve registro de chuva, o que desfavoreceu a remoção de poluentes por via úmida.

Silva (2021), estudou a concentração de material particulado – MP10 sob influência de diferentes condições meteorológicas no município de Catalão/GO, o período de estudo compreende Janeiro/2019 a Maio/2021, os monitoramentos ocorreram em locais distintos, sendo um ponto de amostragem na Zona Rural e outro na Zona Urbana.

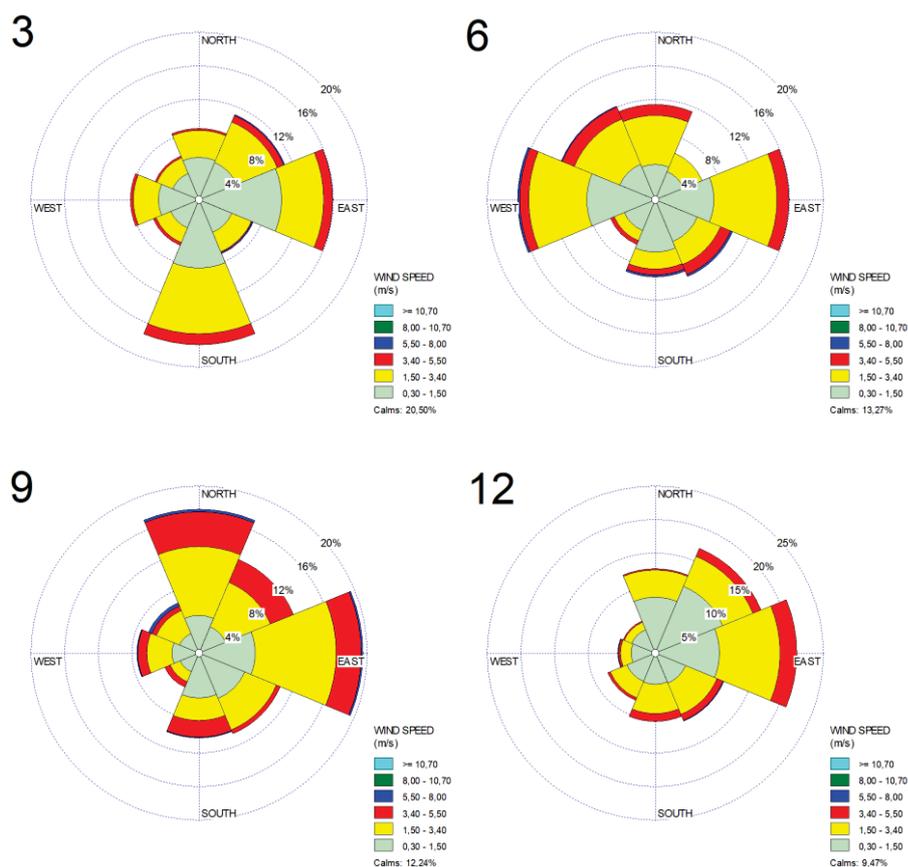
Seus resultados apresentaram a influência da chuva e da umidade relativa na concentração do MP10. Notou-se que, entre os meses de Dezembro a Março, foram registrados os maiores volumes de chuvas e conseqüentemente as menores concentrações de material particulado. As maiores concentrações médias mensais de MP10 foram verificadas nos meses de Maio a Setembro, período este em que os índices pluviométricos e a umidade relativa do ar são os mais baixos registrados durante o ano.

Neste trabalho também foi possível verificar que maiores concentrações de MP10 e PTS foi durante os monitoramentos realizados em Setembro, a ausência ou baixo volume de chuvas ocorreu neste mesmo período. Desta forma, verifica-se que o ASAS também atua na região Noroeste do Paraná, promovendo o baixo volume de chuvas e redução da dispersão dos poluentes na atmosfera.

A Figura 22 expõe as rosas dos ventos referentes aos monitoramentos realizados em Março, Junho, Setembro e Dezembro. De acordo com o observado os

monitoramentos realizados no mês de Março, o setor sul foi responsável por 17% da frequência dos ventos e o setor leste responsável por 15,8% dos ventos registrados durante todos monitoramentos realizados neste mês. Além disso, registros de brisa moderada foram verificadas no setor nordeste e sudeste, ventos estes que atingiram velocidades de até 8,00m/s.

Figura 22 - Rosa dos ventos referente ao mês de Março (3), Junho (6), Setembro (9) e Dezembro (12)



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

Durante os monitoramentos realizados no mês de Junho, não foi possível observar predominância do vento, tendo em vista que o setor oeste e leste foram responsáveis por 16,5% e 16% respectivamente da frequência dos ventos, seguido pelos setores noroeste (12,2%) e norte (11,4%).

Os ventos calmos registrados durante todos os monitoramentos realizados correspondem a 12% da frequência dos ventos, mas ventos até 8,00m/s foram registrado nos setores sudeste, sul, oeste e noroeste. O setor nordeste foi o único

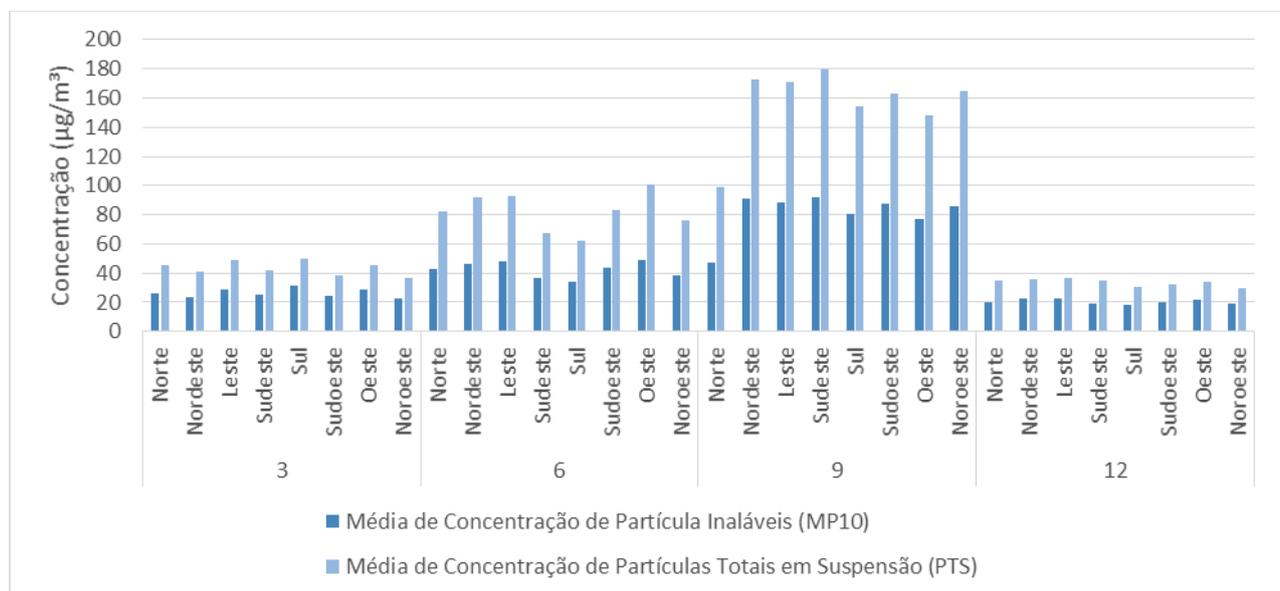
que registrou apenas brisas leves, onde seus ventos alcançaram velocidade até 3,4m/s.

O mês de Setembro apresentou forte dominância de frequência nos setores leste e norte, com percentual de 19,4% e 17,1% respectivamente. Os ventos que apresentaram velocidades maiores, classificados como brisa moderada foram registrado nos setores noroeste, norte, leste, sul e oeste. Vale destacar que o setor noroeste apresentou a faixa mais extensa para essa velocidade, demonstrando dessa forma que os ventos advindos deste direção foram mais fortes.

A rosa dos ventos referente aos monitoramentos realizados em Dezembro, apresentou maior frequência nos setores leste, nordeste e norte. Dentre todos os meses monitorados, este mês apresentou o menor percentual de ventos calmos 9,47% e os únicos registros de brisa leve foram em sudeste e oeste.

O Gráfico 21 expressa os valores médios registrados em cada setor e divididos nos meses em que realizou-se os monitoramentos. Percebe-se que durante o mês de Março a maior concentração média foi no setor sul, mesmo setor onde os ventos foram predominantes neste mês. Observa-se a possível contribuição dos ventos deste setor para o aumento das partículas na atmosfera.

Gráfico 21 - Concentração de material particulado (PTS e MP10) agrupados por mês e direção



Fonte: Empresa X; A autora, 2022.

O mês de Junho apresentou a maior concentração média no setor oeste, mesmo setor onde houve o maior percentual de registro de ventos. Conforme observado na rosa dos ventos referente a este mês, os ventos do setor sul provocaram brisa moderada durante os monitoramentos. Porém, isso não interferiu na concentração das partículas, tendo em vista que este setor apresentou a menor concentração média de material particulado.

Setembro foi um mês atípico, a maior média de concentração de material particulado foi encontrada no setor sudeste, sendo este com percentual baixo de frequência de ventos e responsável por brisa fraca. Já o setor norte que apresentou a maior frequência de ventos foi responsável pela menor média de concentração de partículas, mesmo registrando brisa moderada.

Dezembro destaca-se com as menores médias de concentração, razão advinda dos eventos de chuva durante este mês. A predominância dos ventos durante os monitoramentos realizados foi no setor leste, mesma direção que obteve-se a maior média de concentração para PTS e MP10.

É importante destacar que a predominância dos ventos no setor leste durante os monitoramento, mostra que a principal fonte de partículas pode ser advindas do campo agrícola, tendo em vista que, durante os monitoramentos realizados em Setembro com ausência de chuvas, a menor concentração média de material particulado foi no setor norte, mesma região onde está grande parte da planta industrial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi analisado no total 22 monitoramentos de qualidade do ar realizados na dependência da empresa X, instalada no complexo industrial de São Carlos do Ivaí, região Noroeste do Paraná.

Os maiores valores de concentração de material particulado inalável – MP10 e partículas totais em suspensão foram identificados durante os monitoramentos realizados em Setembro, sendo que o monitoramento realizado em 2017 apresentou a maior média diária 178,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o MP10 e 376,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o PTS.

A menor concentração foi obtida durante o monitoramento realizado em Março/2019 com concentração diária de 3,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o material particulado inalável e 5,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para as partículas totais em suspensão. Em relação à média geral, o mês de Dezembro apresentou-se com os menores valores médios de concentração.

Sabemos que o principal meio natural de remoção das partículas é a chuva e foi observado que durante os monitoramentos realizados durante o mês de Dezembro, houve os maiores registros de precipitação. Isso ocorreu pelo fato de que nesta época do ano estamos na estação do verão e, nesta região do Paraná é característico que os verões sejam quentes e chuvosos. O maior volume de chuva acumulado em 24 horas (51,3 mm) foi registrado durante o monitoramento realizado em Dezembro/2017.

Além do alto índice de pluviosidade em Dezembro, este mês também apresentou as maiores temperaturas registradas entre os monitoramento, atingindo temperatura de 30°C. Isso ocorre pela ação do clima da região, onde os verões apresentam alto índice de irradiação solar promovendo o aumento das temperaturas.

Os ventos são responsáveis pela dispersão dos poluentes na atmosfera, além de estar relacionado com a estabilidade atmosférica. Sabe-se que os ventos tendem atingir velocidades menores próximos ao solo por conta das construções e demais obstáculos que possam interferir na passagem do vento. Durante os monitoramentos foi possível observar alguns registros de brisa moderada, onde os

ventos alcançam velocidade 8,00m/s e, esses ventos promovem a ressuspensão do solo e o mover dos galhos de árvores.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado. Com base nos resultados foi possível concluir que a pluviosidade foi a variável que mais influenciou na concentração do material particulado, diminuindo a quantidade de partículas da atmosfera através da remoção úmida, caracterizando uma correlação negativa moderada. Isso pode ser comprovado nos monitoramentos em que houve registro de chuvas, pois as concentrações obtidas foram baixas.

A temperatura apresentou correlação positiva, porém fraca, demonstrando dessa forma que conforme a temperatura ambiente aumenta, a concentração de material particulado tende a aumentar. Por mais que essa correlação tenha sido fraca, foi possível identificar alguns eventos entre os monitoramentos (Setembro/2019 e Junho/2021) em que a temperatura influenciou na concentração de material particulado.

Não foi possível realizar o teste estatístico de correlação para a direção do vento, porém foram montadas rosas dos poluentes para avaliar as direções predominantes do vento e em quais setores foi registrada as maiores concentrações. Com base nos resultados, observou-se que a direção predominante durante os monitoramentos foi no setor sudeste e leste, setores estes que o PTS apresentou as maiores médias. O MP10 teve suas maiores médias registradas nos setores leste, seguido do setor sudeste.

Com base nas rosas dos poluentes plotadas no local onde realizou-se as amostragens, foi possível observar que nos setores sudeste e leste estão localizados campos agrícolas, além de estradas não pavimentadas onde ocorre o tráfego de veículos pesados. O manejo do solo juntamente com a movimentação e a predominância dos ventos nestes setores, podem ter contribuído para o aumento da concentração de material particulado, tendo em vista que os maiores valores médios identificados foram nesses setores.

A contribuição da planta industrial da empresa X também foi investigada durante este trabalho, tendo em vista que a empresa conta com diversas fontes geradoras de poluentes atmosféricos, entre elas podemos citar: fonte fixa (caldeira) e fontes móveis (tráfego de veículos leves e pesados, transporte de combustível

para a caldeira e lagoa de resfriamento de água, tipo spray). Com base nos resultados obtidos, os ventos provenientes das direções noroeste, norte e nordeste poderiam ter contribuído com o aumento da concentração de material particulado, porém o resultado verificado na rosa dos poluentes é que a menor média obtida foi exatamente no setor Norte, demonstrando dessa forma que as fontes geradoras da empresa X não contribui significativamente para o aumento da concentração de material particulado.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A utilização de monitoramentos da qualidade do ar apresenta-se como uma ferramenta alternativa para futuros estudos, tendo em vista que no interior do estado a presença de estações de monitoramento de qualidade do ar são reduzidas.

6 REFERÊNCIAS

ABNT, Rio de Janeiro. NBR 9547:1997 – Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997. 14p.

ABNT, Rio de Janeiro. NBR 13412:1995 – 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, 1995. 8p.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. Química Ambiental. 4. ed. 844p. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BELO, Pedro Ivo Diógenis; TOFOLI, Rodney. Quantificação dos níveis de Partículas Finas (MP_{2,5}) no município de Vitória. Projeto de Graduação apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau em Bacharel em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Acesso em: 10 Dez. 2021.

BRAGA, et al., Introdução a Engenharia Ambiental, 2ªed, Editora Pearson, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA No. 491 de 19 de Novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 003, de 1990. Diário Oficial da União, Brasília, Seção I, p. 15937-15939, 1990.

CANÇADO, Jose Eduardo Delfini et al. Repercussões clínicas da exposição a poluição atmosférica. JORNAL BRASILEIRO DE PNEUMOLOGIA. Brasília, v. 32, n. Supl.01, p.s05-s11, 2006.

CARVALHO, Paulo Henrique de. Avaliação do índice de mercúrio e silício em material particulado no distrito de Antônio Pereira, Ouro Preto - MG. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em:

<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/10174>. Acesso em: 20 Dez. 2021.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. Cartas Climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000.

COSTA, Emanuel Santana da e COSTA, Alexandre Araújo. Estudo do Transporte de Poluentes Atmosféricos no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia [online]. 2021, v. 36, n. 3 suppl [Acessado 23 Maio 2022], pp. 615-624. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-77863630030>>. Epub 20 Ago 2021. ISSN 1982-4351. <https://doi.org/10.1590/0102-77863630030>.

COSTA, M. A.; MIYASHIRO, G. M.; CAMPELO, V.; BARBOSA, I. da C.; SOUZA FILHO, E. M. de; SILVA, I.; KLIGERMAN, D. C.; KLIGERMAN, D. C. Efeitos das partículas totais em suspensão (PTS) na saúde da população dos bairros de Benfica, Bonsucesso, Ramos e Manguinhos - Rio de Janeiro/RJ / HEALTH EFFECT OF TOTAL PARTICULATE MATTER AIR SAMPLING AT BENFICA, BONSUCESSO, RAMOS AND MANGUINHOS SUBURB OF RIO DE JANEIRO - BRAZIL. Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, [S. l.], v. 5, n. 9, 2010. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/16957>. Acesso em: 22 maio. 2022.

COSTA, M. A.; MIYASHIRO, G. M.; CAMPELO, V.; BARBOSA, I. da C.; SOUZA FILHO, E. M. de; SILVA, I.; KLIGERMAN, D. C.; KLIGERMAN, D. C. Efeitos das partículas totais em suspensão (PTS) na saúde da população dos bairros de Benfica, Bonsucesso, Ramos e Manguinhos - Rio de Janeiro/RJ / HEALTH EFFECT OF TOTAL PARTICULATE MATTER AIR SAMPLING AT BENFICA, BONSUCESSO, RAMOS AND MANGUINHOS SUBURB OF RIO DE JANEIRO - BRAZIL. Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, [S. l.], v. 5, n. 9, 2010. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/16957>. Acesso em: 23 maio. 2022.

DAMILANO DCR, JORGE MPPM. Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos. São Paulo 2006. In: SICINPE. 44.

FERREIRA JÚNIOR, Achilles Chaves; MATOS, Lukas Angelim; LOPES, Lara do Nascimento; NASCIMENTO, Rita Sannara Bandeira do; LIMA, Jessica

Rocha de; Koch, Jeanete. Avaliação da qualidade do ar na cidade de São Gonçalo do Amarante sob influência do complexo industrial do Pecém/Ceará. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 63618-63631, aug. 2020. ISSN 2525-8761. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-698>. Acesso em: 23 maio. 2022.

FREITAS, Adriana de Marques e SOLCI, Maria Cristina. Caracterização do MP10 e MP2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. *Química Nova* [online]. 2009, v. 32, n. 7 [Acessado 22 Maio 2022] , pp. 1750-1754. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700013>>. Epub 22 Out 2009. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700013>.

GENOVESE, Alex Leão, UDAETA, Miguel Edgar Morales and GALVAO, Luiz Cláudio Ribeiro. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Proceedings online... Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn>. Access on: 22 May. 2022.

HOINASKI, Leonardo. Avaliação de métodos de identificação de fontes emissoras de material particulado inalável (MP10). Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103289>. Acesso em: 03 maio. 2022.

JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano et al. Avaliação da qualidade do ar em um polo produtor de ferro-gusa. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* [online]. 2009, v. 14, n. 4 [Acessado 23 Maio 2022], pp. 511-520. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000400011>>. Epub 26 Jan 2010. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000400011>.

LIMA, Jéssica Rocha et al. Avaliação da poluição atmosférica na área do distrito industrial de Maracanaú (CE), Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental* [online]. 2020, v. 25, n. 3 [Acessado 23 Maio 2022] , pp. 521-530. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522020175292>>. Epub 17 Jul 2020. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020175292>.

LISBOA, Henrique de Melo; KAWANO, Mauricy. Monitoramento de poluentes atmosféricos. In: Controle da poluição atmosférica. 1ª Ed., Montreal, 2007. Cap. IV. p.02-70.

MACHADO, Gabriel P., ALVES, Renato I. S., SENHUKB, Ana Paula M. S., FREGONESI, Brisa M., ZAGUIA, Guilherme S., NADAL, Martí., SIERRA, Jordi., DOMINGO, Josep L., SEGURA-MUÑOZ Susana I. Avaliação espacial e sazonal das concentrações de partículas totais em suspensão e elementos metálicos associados no ar de uma cidade do sudeste brasileiro. *Quim. Nova*, Vol. 42, No. 1, 28-35, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170297>. Acesso em: 02 maio. 2022.

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

MIHELICIC, J.R.; ZIMMERMAN, J.B. Engenharia Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidade e Projeto. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2018.

MIRANDA, Jean Carlos; GONZAGA, Glaucia Ribeiro. Temática ambiental: marcos históricos, ensino e possibilidades. *Revista Metáfora Educacional* (ISSN 1809-2705) – versão on-line. Editora Dra. Valdeci dos Santos. Feira de Santana – Bahia (Brasil), n. 19 (jul. – dez. 2015), 20 dez. 2015, p. 138-157. Disponível em: <<http://www.valdeci.bio.br/revista.html>>. Acesso em: 11 Abril 2022.

MIRANDA, C. T. S. Thebaldi, M. S. R., Giovana M. R. B. Precipitação máxima diária anual a estimativa da Equação De Chuvas intensas do Município de Divinópolis, MG, Brasil. *REVISTA SCIENTIA AGRARIA* Versão On-line ISSN 1983-2443 SA vol. 18 n°. 4 Curitiba Out/Dez 2017 p. 09-16. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322023870_PRECIPITACAO_MAXIMA_DIARIA_ANUAL_E_ESTIMATIVA_DA_EQUACAO_DE_CHUVAS_INTENSAS_DO_MUNICIPIO_DE_DIVINOPOLIS_MG_BRASIL/link/5a3e4d910f7e9ba868900181/download. Acesso em: 10/02/2023.

NOSSE, Eduardo Corrêa. Avaliação da metodologia padrão de monitoramento de partículas em suspensão com relação ao intervalo de tempo de amostragem. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenharia Ambiental, no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Universidade do Extremo Sul Catarinense,

Santa Catarina, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/4139>. Acesso em: 19 Nov. 2021.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Resolução SEMA N° 016 de 2014. Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar, padrões de emissão e critérios de atendimento para fontes industriais, comerciais e de serviços. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, 2014.

PEREIRA, L. M. P., CARAMORI, P. H., RICCE, W. DA S., SILVA, D. A. B. DA., CAVIGLIONE, J. H. Determinação do início e término da estação chuvosa no estado do Paraná. Revista Geografar www.ser.ufpr.br/geografar. Curitiba, v.3, n.2, p.01-12, jul./dez. 2008 ISSN: 1981-089X. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v3i2.13586>. Acesso em: 04 maio. 2022.

PUETT, R. C., HART, J. E., YANOSKY, J. D., SPIEGELMAN, D., WANG, M., FISHER, J. A., HONG, B., & LADEN, F. (2014). Particulate matter air pollution exposure, distance to road, and incident lung cancer in the nurses' health study cohort. *Environmental health perspectives*, 122(9), 926–932. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307490>.

QUEIROZ, Paula Guimarães Moura; Jacomino, Vanusa Maria Feliciano; MENEZES, Maria Ângela de Barros Correia. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 5, 1233-1239, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.cdtm.br:8080/jspui/handle/123456789/406>. Acesso em: 04 maio. 2022.

SANTOS, Camila Fernanda Rocha Teles Tanzillo. Análise de significância e caracterização de fontes estacionárias individualizadas visando o monitoramento atmosférico não radiológico no campus IPEN/CNEN-SP. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.85.2018.tde-23022018-094649. Acesso em: 2022-05-22.

SLAPNIG, P.; VASCONCELOS, E.; JANISSEK, P. COMPARISON OF TOTAL SUSPENDED PARTICLES MEASUREMENTS VIA HIGH AND LOW VOLUME SAMPLING IN THE STATE OF PARANA, BRAZIL. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, n. 50, p. 26-38, 3 dez. 2018. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0002-0965-5113>. Acesso em: 02 maio. 2022.

TISSOT, Rita Clarice Machado. Estudo da dispersão de material particulado (PTS), emitido pela Usina Termelétrica de Charqueadas. 2010. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção de grau Mestre em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/61680>. Acesso em: 20 Nov. 2021.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. FATORES QUE INFLUENCIAM NA CONCENTRAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL NA CIDADE DE JUIZ DE FORA (MG). *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, MG, v. 6, n. 16, p. 23–39, 2005. DOI: 10.14393/RCG61615403. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15403>. Acesso em: 4 mar. 2023.

TRESMONDI, Ana Claudia Camargo de Lima; BELI, Euzébio; TOMAZ, Edson; PICCININI, Maristela Della Libera Reis. Concentração de material particulado inalável mp10 em Espírito Santo do Pinhal – SP. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 5, n. 1, p. 133-144, jan/abr 2008.

Tsai, S.S.; Chang, C.C, Yang CY. Fine particulate air pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease: a case-crossover study in Taipei. *Int J Environ Res Public Health*. 2013;10(11):6015-6026. Published 2013 Nov 11. doi:10.3390/ijerph10116015.

VanLoon, G. W.; Duffy, S. J.; *Environmental chemistry a global perspective*, 1a. ed, Oxford University Press: New York, 2000.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa; Imprensa Universitária, 1991. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, 1991. p. 330-331.

YANAGI, Yoshio. Estudo da influência do material particulado na incidência e mortalidade por câncer na cidade de São Paulo. 2010. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi: 10.11606/D.6.2010.tde-25102010-151102. Acesso em: 2022-05-23.