



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Cabo de Santo Agostinho

Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária

JHONATA WESLEY GOMES BARBOSA

**ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DO AR NO
RECIFE/PE COM O USO DE SENSORES IQAir**

Cabo de Santo Agostinho

2025

JHONATA WESLEY GOMES BARBOSA

**ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DO AR NO
RECIFE/PE COM O USO DE SENSORES IQAir**

Monografia apresentada à Coordenação do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique de Lima Gadelha

Coorientador: Prof. Dr. Diogo Henrique Fernandes da Paz

Cabo de Santo Agostinho

2025



Autorizamos a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico para fins de ensino e pesquisa desde que citada a fonte. Este documento está licenciado com uma Licença Creative Commons -Atribuição Não Comercial 4.0 Internacional.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do IFPE – *Campus* Cabo de Santo Agostinho

B238a Barbosa, Jhonata Wesley Gomes

Análise espacial e temporal da qualidade do ar no Recife/PE com o uso de sensores IQAir / Jhonata Wesley Gomes Barbosa .– Cabo de Santo Agostinho: O Autor, 2025.
61 f.: il.

Orientador: Fernando Henrique de Lima Gadelha; Diogo Henrique Fernandes da Paz.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Campus Cabo de Santo Agostinho.

1. Poluentes atmosféricos. 2. Qualidade do ar. 3. Sensores. I. Gadelha, Fernando Henrique de Lima. II. Paz, Diogo Henrique Fernandes da. III. Título.

CDD 363.7392

**ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DO AR NO RECIFE/PE
COM O USO DE SENSORES IQAir**

Trabalho aprovado.

Cabo de Santo Agostinho, __/__/__.

Fernando Henrique de Lima Gadelha
Professor Orientador

Roseana Florentino da Costa Pereira
Avaliadora Interno

Carlos Eduardo Menezes da Silva
Avaliador externo

Cabo de Santo Agostinho

2025

Dedico à minha família e a todos que veem na educação a chance de vencer.

AGRADECIMENTOS

A Deus, na pessoa do meu Salvador Jesus Cristo, pelo seu infinito amor, por me dar forças e sempre me mostrar que nunca estou sozinho.

Ao Instituto Federal de Pernambuco, pela excelência no ensino e pelo apoio contínuo ao longo do curso.

Ao meu orientador, professor Fernando Henrique de Lima Gadelha, por todo conselho e orientação ao longo desse trabalho.

Ao meu Coorientador, professor Diogo Henrique Fernandes da Paz, por todo ensinamento e orientação que vem desde o meu primeiro projeto de pesquisa no primeiro período até o trabalho de conclusão de curso.

Aos professores do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária por todos os ensinamentos e convivência ao longo desses anos de curso.

A minha mãe, Mônica Gomes da Silva, por toda força e compreensão. Sou grato por todo o seu amor e por sempre estar ao meu lado, você é minha base. Assim como ao seu companheiro Adalberto José, por todo apoio e amizade.

A minha irmã, Mônica Valéria Gomes Barbosa e ao meu cunhado Pablo de Oliveira Silva, pelo incentivo, amizade, amor e cuidado.

Ao meu pai, Neivaldo Francisco Barbosa, sempre me ensinou o valor da educação e me incentivou desde criança. Mesmo distante, se dedicou a me apoiar, sou eternamente grato por todo o seu investimento e força.

A minha namorada, Lívia Cristina Andreli Contin, que segurou na minha mão nos momentos em que eu mais precisei, por todo seu amor, paciência e incentivo.

Aos meus sogros Márcia Cristina Andreli, Hugo Serra Gonçalves e Adolpho Baptista Contin Júnior, por todo apoio, incentivo e amizade.

A minha bisavó, Rita Diva Barbosa de Araujo, sem a senhora nada disso seria possível, te amarei para sempre.

Aos meus amigos e familiares que estiveram presentes, que me desejaram coisas boas e me fortaleceram com suas palavras e atitudes, Deus abençoe.

*Se você realmente acha que o meio ambiente é menos importante que a economia,
tente segurar a respiração enquanto conta o seu dinheiro - Guy McPherson.*

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a poluição atmosférica no Recife, utilizando dados de sensores de monitoramento da qualidade do ar operados pela IQAir, instalados em nove bairros da cidade do Recife. A metodologia aplicada incluiu a análise estatística dos dados de poluentes atmosféricos, como MP1,0, MP2,5 e MP10, comparando-os com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 506/2024. Os resultados indicaram que a média anual de poluentes ficou abaixo dos limites permitidos, mostrando que, em geral, a qualidade do ar na cidade é considerada boa, embora ocorra variação durante períodos de tráfego elevado e eventos climáticos atípicos. Conclui-se que, apesar de alguns picos temporários de excesso de poluição, a tendência é de conformidade com as normas ambientais. Entretanto é fundamental realizar mais investigações de forma contínua sobre a calibração dos sensores e aprofundar os estudos sobre a influência das variáveis climáticas na qualidade do ar, a fim de garantir um monitoramento mais preciso.

Palavras-chave: Poluentes Atmosféricos. Qualidade do Ar. Sensores.

ABSTRACT

This study aims to analyze air pollution in Recife, using data from air quality monitoring sensors operated by IQAir, installed in some neighborhoods of the city of Recife. The methodology applied included the collection and statistical analysis of data on air pollutants, such as PM1.0, PM2.5 and PM10, comparing them with the standards established by CONAMA Resolution No. 506/2024. The results indicated that the annual average of pollutants was below the permitted limits, showing that, in general, air quality in the city is considered good, although variations occur during periods of high traffic and weather events. It is concluded that, despite some temporary peaks of excess pollution, the trend is towards compliance with environmental standards. However, it is essential to carry out further investigations on an ongoing basis on the calibration of the sensors and to deepen studies on the influence of climate variables on air quality, in order to ensure more accurate monitoring.

Keywords: Atmospheric Pollutants. Air Quality. Sensors.

..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa com localização da cidade do Recife – PE.	27
Figura 2: Distribuição espacial dos sensores IQAir no município de Recife - PE.....	28
Figura 3: Sensor IQAir, modelo AirVisual Outdoor, instalado no Compaz Joana Bezerra, Recife - PE.....	29
Figura 4: Mapa com demonstração do alcance de leitura dos sensores IQAir instalados nos bairros do Recife-PE.	30
Figura 5: Média diária por período seco e chuvoso para a concentração do poluente MP2,5 nos bairros do Recife-PE.	32
Figura 6:Concentração média por hora do dia 24 de junho para MP10. Fonte: Elaborado pelo autor.	34
Figura 7: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento de Joana Bezerra, no período seco e chuvoso.	34
Figura 8: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento do Hospital do Idoso, no período seco e chuvoso.	35
Figura 9: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento do Compaz Eduardo, no período seco e chuvoso.....	35
Figura 10: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento do Compaz Ariano, no período seco e chuvoso.....	35
Figura 11: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento da UFPE, no período seco e chuvoso.	35
Figura 12: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento da Geraldão, no período seco e chuvoso.	36
Figura 13: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento da Tejió, no período seco e chuvoso.	36
Figura 14: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento do Sitio da Trindade, no período seco e chuvoso.....	36
Figura 15: Histograma para concentração de PM10 (ug/m ³) na estação de monitoramento do CVA, no período seco e chuvoso	36
Figura 16: Média diária por período seco e chuvoso para a concentração do poluente PM2,5 nos bairros do Recife-PE.	38
Figura 17: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m ³) na estação de monitoramento Joana Bezerra, no período seco e chuvoso.	38
Figura 18: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m ³) na estação de monitoramento Hospital do Idoso, no período seco e chuvoso.	39
Figura 19: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m ³) na estação de monitoramento Compaz Ariano, no período seco e chuvoso.	39
Figura 20: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m ³) na estação de monitoramento Compaz Eduardo, no período seco e chuvoso.....	39
Figura 21: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m ³) na estação de monitoramento UFPE, no período seco e chuvoso.	40

Figura 22: Histograma para concentração de PM _{2,5} (ug/m ³) na estação de monitoramento Geraldão, no período seco e chuvoso.	40
Figura 23: Histograma para concentração de PM _{2,5} (ug/m ³) na estação de monitoramento Tejió, no período seco e chuvoso.	40
Figura 24: Histograma para concentração de PM _{2,5} (ug/m ³) na estação de monitoramento Sítio da Trindade, no período seco e chuvoso.	40
Figura 26: Histograma para concentração de PM _{2,5} (ug/m ³) na estação de monitoramento CVA, no período seco e chuvoso.	41
Figura 26: Concentração média por hora do dia 24 de junho para MP _{2,5}	42
Figura 27: Média diária por período seco e chuvoso para a concentração do poluente MP ₁ nos bairros do Recife-PE.	44
Figura 28: Concentração média por hora do dia 24 de junho para MP _{1,0}	45
Figura 29: Pico de concentração de PM _{1,0} captado pelo sensor instalado no CVA durante o incêndio no porto do Recife-PE.	45
Figura 30: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento de Joana Bezerra, no período seco e chuvoso.	47
Figura 31: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento do Hospital do Idoso, no período seco e chuvoso.	47
Figura 32: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento do Compaz Ariano, no período seco e chuvoso.	47
Figura 33: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento do Compaz Eduardo, no período seco e chuvoso.	48
Figura 34: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento da UFPE, no período seco e chuvoso.	48
Figura 35: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento do Geraldão, no período seco e chuvoso.	48
Figura 36: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento de Tejió, no período seco e chuvoso.	49
Figura 37: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento do Sítio da Trindade, no período seco e chuvoso.	49
Figura 38: Histograma para concentração de PM ₁ (ug/m ³) na estação de monitoramento do CVA, no período seco e chuvoso.	49
Figura 39: Distribuição Espacial Das Concentrações de MP _{1,0}	51
Figura 40: Zoneamento entorno do CVA.	52
Figura 41: Distribuição Espacial Das Concentrações de MP _{2,5}	53
Figura 42: Zoneamento Joana Bezerra.	54
Figura 43: Distribuição Espacial Das Concentrações de MP ₁₀	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 506/2024.....	20
Tabela 2: Vantagens e Desvantagens Sensores de Monitoramento de Material Particulado.	23
Tabela 3: Vantagens e Desvantagens Sensores de Monitoramento de Gases na Atmosfera.	24
Tabela 4: Número de observações registradas pelos sensores nos bairros do Recife, no período seco e no período chuvoso.	31
Tabela 5: Análise estatística descritiva para a concentração do poluente MP10 nos bairros do Recife-PE.	32
Tabela 6: Análise estatística descritiva para a concentração do poluente MP2,5 nos bairros do Recife-PE.	37
Tabela 7: Análise estatística descritiva para a concentração do poluente MP1 nos bairros do Recife-PE.	43

LISTA DE ABREVIATURAS

MP	Material Particulado
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
SO ₂	Dióxido de Enxofre
WHO	World Health Organizativo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ug/m ³	Microgramas por metro cúbico
tCO ₂ e	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
KG	Quilograma
COVS	Compostos Orgânicos Voláteis
IQAir	Plataforma de Monitoramento da Qualidade do Ar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Poluição atmosférica: Principais poluentes e suas fontes.	17
2.1.1 Definição de Poluição Atmosférica e Classificação dos Poluentes Atmosféricos	17
2.2 Uso de Sensores Para Monitoramento da Qualidade do Ar	22
2.2.1 Tipos de Sensores Utilizados e Suas Vantagens e Desvantagens	22
2.3 Bioindicadores de Poluição Atmosférica	24
3 OBJETIVO	26
3.1 OBJETIVOS específicos	26
4 METODOLOGIA	27
4.1 Área de estudo	27
4.2 Análise dos dados	29
5 ANÁLISE DE RESULTADOS	31
5.1 Análise dos dados	31
5.1.3 MP 10	31
5.1.2 MP 2,5	37
5.1.1 MP 1,0	43
5.2 Análise Espacial	50
6 CONSIDERAÇÕES	56
Referências	57

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um dos maiores desafios ambientais enfrentados pela sociedade moderna pois está diretamente ligado ao crescimento das cidades. O crescimento urbano intensifica a concentração de poluentes, com o clima influenciando sua dispersão (Nobre *et al.*, 2011). Nos grandes centros, a emissão constante de gases resulta em índices elevados de poluição, frequentemente ultrapassando os padrões permitidos em determinadas áreas (Brandão, 2020).

Dentre os poluentes atmosféricos presentes nas áreas urbanas, destacam-se os materiais particulados (MP). De acordo com Araújo *et al.* (2020), esses poluentes são amplamente associados a impactos na saúde, existindo uma relação direta entre a elevação dos níveis de sua concentração com a elevação dos índices de doenças respiratórias. Partículas como MP1.0, MP2.5 e MP10 estão associados a doenças cardiovasculares e respiratórias, incluindo câncer pulmonar, além de contribuírem para o aumento da mortalidade (Fernandes, 2017). Monitorar sua concentração é fundamental para compreender a poluição no Recife e orientar estratégias de mitigação. Nas regiões metropolitanas, as emissões dos veículos rodoviários, como carros, ônibus, caminhões e motocicletas, são as principais fontes de poluição (São Paulo, 2020).

Outro fator que contribui para a poluição atmosférica são as queimadas agrícolas, frequentemente utilizadas no manejo de lavouras como a da cana-de-açúcar ou controle de resíduos de colheita ou limpeza da área para plantio, além de eventos culturais como o São João, festa típica do Nordeste brasileiro. A queima de biomassa está associada ao aumento de doenças respiratórias e mortalidade, principalmente devido ao material particulado que afeta diretamente o sistema respiratório (Silva *et al.*, 2018).

Além disso, é fundamental destacar a emissão de poluentes primários e secundários pois contribuem para a composição do MP. Poluentes primários, são emitidos diretamente por fontes como veículos e indústrias. Já os poluentes secundários, formam-se na atmosfera por meios de reações químicas envolvendo os primários, contribuindo para a composição do MP. Os poluentes que suscitam grande preocupação em termos de saúde pública incluem, os óxidos de carbono (CO, CO₂), os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), o ozônio (O₃) e o dióxido de enxofre (SO₂) (WHO, 2017).

O Inventário de emissões de gases do efeito estufa do estado de Pernambuco (2020), indica que a emissão de gases do setor de transportes pouco mudou ao longo do período de 2015 a 2020. A região metropolitana do Recife, o Agreste Central e a Mata Sul foram as regiões com maiores emissões. Na região metropolitana do Recife, destaca-se principalmente o aumento do consumo do Diesel de 1.917.644,17 tCO₂e, que gera 35,9 toneladas de MP, com base em 0,05 g/l (Braun *et al.*, 2003), a parti de 717,3 milhões de litros de diesel, considerando uma emissão de 2,67 kg de CO₂/l (Álvares Júnior, 2001). Esse cenário reflete o impacto ambiental do setor de combustíveis fósseis, como uma importante fonte de poluentes primários. Dessa forma, o setor de transportes impacta diretamente a qualidade do ar, com serias implicações para a saúde pública e o meio ambiente.

As indústrias também desempenham um papel relevante na poluição atmosférica. O setor industrial, que inclui fábricas e usinas, libera diversos poluentes durante sua produção, com destaque para emissão de compostos orgânicos voláteis (COVS), materiais particulados (MP), e gases nocivos como CO, CO₂, SO_x e NO_x. (Lin *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a análise de MP é essencial para monitorar a qualidade do ar e identificar fontes de poluição. Métodos automáticos de medição e análises químicas permitem determinar sua composição e origem, viabilizando estratégias mais eficazes de controle e mitigação dos impactos à saúde pública (C40 Cities, 2019).

Logo, a implementação de tecnologias de monitoramento é essencial para avaliar e gerenciar a qualidade do ar. No Brasil, a cobertura de monitoramento territorial é limitada, incompleta ou desatualizada em relação aos poluentes monitorados. A falta de monitoramento prejudica a estruturação dos demais instrumentos necessários à gestão da qualidade do ar (Vormittag, 2021).

Pernambuco possui quatro estações de monitoramento da qualidade do ar, mantidas pela Petrobras e geridas pela Aires Serviços Ambientais. Essas estações estão localizadas nos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, e utilizam sensores específicos para os poluentes como MP₁₀, SO₂, O₃, NH₃, NCH₄, CH₄, HCT, NO, NO₂, NO_x, H₂S E MP_{2,5} (Pernambuco, 2025).

Os sensores utilizados capturam material particulado, enquanto analisadores de NO_x e SO₂ utilizam quimioluminescência e fluorescência, respectivamente. O O₃ é

monitorado por espectroscopia UV e o CO por métodos eletroquímicos. Além do monitoramento do CH₄ que utiliza técnicas cromatográficas (Aires Serviços Ambientais, 2025).

A Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco - CPRH se utiliza desses dados de forma online e em tempo real para o monitoramento contínuo da qualidade do ar. Essas informações são usadas nas fiscalizações, especialmente quando há desconformidades com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental (Pernambuco, 2025).

No ano de 2022, a prefeitura do Recife firmou um contrato de 108 relógios eletrônicos digitais (REDS) para 35 espaços público, operados pela empresa Eletromídia, que dentre uma das suas funcionalidades, consta o monitoramento da qualidade do ar (Recife, 2022).

Outra iniciativa, também no Recife, são os sensores de monitoramento da qualidade do ar operados pela organização IQAir, em parceria com o GEAS LAB (Laboratório do Grupo de Ecologia e Análises Socioambientais do Instituto Federal de Pernambuco, Campus Recife. Os equipamentos estão instalados nos bairros de Joana Bezerra, Estância, Cordeiro, Linha do Tiro, Cidade Universitária, Imbiribeira, Tejiptió, Casa Amarela e Peixinhos, e monitoram os seguintes poluentes: MP1,0, MP2,5 e MP10.

O presente trabalho teve como objetivo a análise dos dados coletados pelos sensores operados pela organização IQAir / GEAS LAB com um recorte de 12 meses, assumindo como os valores indicados na legislação ambiental brasileira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Poluição atmosférica: Principais poluentes e suas fontes.

2.1.1 Definição de Poluição Atmosférica e Classificação dos Poluentes Atmosféricos

Sanchez (2020), define poluição como a introdução pelo homem, direta ou indiretamente, de substâncias ou energia no meio ambiente, resultando em efeitos deletérios capazes de pôr em risco a saúde humana, causar danos aos recursos vivos e ecossistemas e prejudicar ou interferir com as atrações e usos legítimos do meio ambiente. Onde fica evidente a conotação negativa do termo que também faz um contraste com o termo de degradação ambiental.

Dessa forma, a Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA (Brasil, 1981), apresenta as definições importantes para o seguimento dessa discussão:

II - degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente; III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. (Brasil, 1981, Art. 3º).

Sanchez (2020), também destaca os impactos negativos da poluição, que contribui para a degradação ambiental conforme definido pela Política Nacional de Meio Ambiente (Brasil, 1981). A PNMA reconhece a poluição não apenas como um fator de degradação, mas também como uma ameaça à saúde humana, à biota e às atividades sociais e econômicas. Nesse sentido, ao considerar os impactos da poluição, é fundamental entender as fontes dos poluentes atmosféricos.

O Ministério Do Meio Ambiente – MMA (2024), define poluentes atmosféricos como gases e partículas sólidas resultantes das atividades humanas e fenômenos naturais dispersos no ar atmosférico. Nesse contexto, incluem-se os gases e partículas emitidos por veículos, indústrias, além daqueles resultantes da

decomposição de matéria orgânica, atividades vulcânicas e outros processos naturais. Também são considerados nessa categoria os compostos gerados pela reação de poluentes com a radiação solar.

Para compreender os impactos dos poluentes atmosféricos, é essencial também conhecer a composição e estrutura química da atmosfera. Segundo Barry e Chorley (2013), a atmosfera é composta principalmente de nitrogênio (78%), oxigênio (21%) e pequenas quantidades de outros gases, como argônio, dióxido de carbono e vapor d'água. Além disso, contém traços de gases como ozônio e metano que são cruciais em processos de aquecimento global e redução da qualidade do ar.

As reações químicas na atmosfera desempenham um papel fundamental na formação e dispersão dos poluentes. A interação entre os gases poluentes como os óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos voláteis (COVS) e o óxido de enxofre (SO_2), com a radiação solar, dá origem a reações fotoquímicas que geram poluentes secundários, como o ozônio troposférico e partículas finas (PM 2,5).

Essas reações são altamente influenciadas por condições ambientais. Barry e Chorley (2013), destaca que a latitude determina a intensidade da radiação solar e a temperatura, fatores essenciais para a formação de poluentes fotossensíveis, especialmente em estações quentes como o verão, contribuindo para que os níveis de ozônio sejam mais elevados nesta época do ano. Além disso, as condições de tempo, como a velocidade do vento e a umidade, afetam a dispersão de poluentes, influenciando a duração e a intensidade da poluição no ambiente.

Um dos efeitos mais visíveis e prejudiciais da poluição atmosférica é a poluição do ar visível (smog), um fenômeno atmosférico causado pela combinação de poluentes como óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVS) e dióxido de enxofre (SO_2), que reagem com a luz solar.

De acordo com Baird e Cann (2011), para que uma cidade fique sujeita ao smog fotoquímico, algumas correlações fenomenológicas precisam acontecer:

[...]primeiro deve haver um tráfego de veículos substancial para emitir os, hidrocarbonetos reativos e outros COVS no ar. Segundo, deve haver calor e ampla luminosidade solar para que as reações ocorram em velocidade

rápida. Finalmente, de haver pouco movimento de massa de ar para que os reagentes não sejam rapidamente diluídos (Baird; Cann, 2011, p.123)

Essas condições criam um ambiente propício para a formação do smog fotoquímico, que é caracterizado pela presença de ozônio e partículas finas, ambos prejudiciais à saúde humana. O smog pode levar ao agravamento de doenças respiratórias, como asma e bronquite, além de afetar funções pulmonar e contribuir para ocorrência de infartos e derrames (Rêgo, 2024).

Logo, na composição da poluição atmosférica os poluentes se dividem em primários e secundários. Segundo a Agência Espacial Europeia (ESA, 2013), os poluentes primários são substâncias produzidas de forma direta e os secundários são produtos das reações que os primários reagem e interagem na atmosfera.

O MMA (2024), classifica as fontes de emissão dos poluentes da seguinte forma:

Com relação à natureza, as fontes emissoras se classificam como móveis e fontes fixas. Fontes móveis são emissões provenientes de fontes em movimento e compreendem os veículos automotores juntamente com os trens, aviões e embarcações marítimas. Fontes fixas são assim denominadas as emissões lançadas à atmosfera por um ponto específico, fixo, como uma chaminé, por exemplo. Compreendem as emissões atmosféricas resultantes dos processos produtivos industriais e dos processos de geração de energia, como é o caso das termelétricas (Brasil, 2024).

Dessa forma, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (2024), através da resolução CONAMA Nº 506/2024, estabelece padrões nacionais da qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Vale ressaltar que não há legislação limites toleráveis para exposição de MP_{1,0}. Segundo Mari (2022), o tal fato ocorre devido à ausência de evidências sobre este poluente. A tabela 1, apresenta os parâmetros de Ar que são monitorados e permitidos no Brasil.

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 506/2024.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	Padrão Intermediário 1(PI-1)	Padrão Intermediário 2 PI-2	Padrão Intermediário 3 (PI-3)	Padrão Intermediário 4 (PI-4)	Padrão Final	
		Microgramas por Metro Cúbico (ug/m³)	Microgramas por Metro Cúbico (ug/m³)	Microgramas por Metro Cúbico (ug/m³)	Microgramas por Metro Cúbico (ug/m³)	Microgramas por Metro Cúbico (ug/m³)	Partes Por Milhão (ppm)
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	45	-
	Anual	40	35	30	20	15	-
Material Particulado - MP2,5	24 horas	60	50	37	25	15	-
	Anual	20	17	15	10	5	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	40	40	40	-
	Anual	40	30	20	20	20	-
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora	260	240	220	200	200	-
	Anual	60	50	45	40	10	-
Ozônio – O ₃	8 horas	140	130	120	100	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	45	-
	Anual	40	35	30	20	15	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas						9
							-
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas					240	-
	Anual					80	-
Chumbo - Pb	Anual					0,5	-

Fonte: Adaptado da CONAMA Nº 506/2024

Os padrões apresentados na Tabela 1 são fundamentais para avaliar a qualidade do ar em diferentes regiões e monitorar a conformidade com os níveis estabelecidos como seguros. Esses parâmetros fornecem uma base científica para identificar áreas que apresentam maior vulnerabilidade a impactos da poluição, além de guiar ações de controle e mitigação. No entanto, a superação dos limites estabelecidos pode resultar em outros fenômenos graves além do smog, como a chuva ácida e o agravamento do efeito estufa.

A análise das partículas inaláveis, como PM₁, PM_{2,5} e PM₁₀, é crucial para entender os impactos da poluição atmosférica, pois essas partículas podem causar doenças respiratórias e cardiovasculares. A exposição a partículas finas é considerada um fator importante para o aumento da morbidade e mortalidade cardiovascular, incluindo doenças como infarto do miocárdio, arritmias cardíacas, hipertensão e aterosclerose (Du *et al.*, 2016). A caracterização de sua concentração e composição é essencial para a formulação de políticas públicas eficazes de controle e mitigação da poluição do ar.

A chuva ácida é outro fenômeno ambiental significativo resultante da poluição atmosférica. Esse fenômeno ocorre quando os óxidos de enxofre (SO₂) e de nitrogênio (NO_x) são liberados na atmosfera, reagindo com vapor de água e outros elementos químicos para formar ácido sulfúrico e nítrico. Esses ácidos precipitam sob a forma de chuva, neblina ou neve, afetando a acidez do solo e da água, prejudicando ecossistemas aquáticos e terrestres.

Segundo Callegaro *et al.* (2015), a acidificação do solo pode levar à lixiviação dos nutrientes essenciais, como cálcio e magnésio, além de liberar metais tóxicos, como alumínio, que são nocivos à vegetação e à vida aquática. Esse fenômeno afeta a biodiversidade e a produtividade dos ecossistemas, contribuindo para a degradação ambiental.

O processo de ocorrência de chuvas ácidas não acontece apenas próximos a complexos industriais, outras áreas e ecossistemas florestais também são afetadas. De acordo com Cardoso *et al.* (2020), os ventos acabam transportando os poluentes para outras regiões, como ambientes naturais, essas localidades são impactadas, sobretudo a vida aquática e as plantas.

A chuva ácida por apresentar pH abaixo de 5,6 pode ser responsável pela corrosão de pedra, metal ou tinta. Como resultado, ela causa danos substanciais a edifícios, monumentos históricos e infraestrutura urbana devido à corrosão de materiais como pedra calcária e concreto. Praticamente todos os materiais se degradam gradualmente quando expostos à chuva e ao vento (Lins *et al.*, 2021), porém, a chuva ácida acelera esse processo devido aos compostos ácidos presentes na precipitação.

Medidas de controle das emissões de SO₂ e NO_x, como a utilização de tecnologias de dessulfurização e catalisadores de redução seletiva, são essenciais

para mitigar efeitos da chuva ácida. A legislação ambiental e acordos internacionais, como o Protocolo de Gotemburgo, também desempenham um papel crucial na redução de emissões desses poluentes.

2.2 Uso de Sensores Para Monitoramento da Qualidade do Ar

2.2.1 Tipos de Sensores Utilizados e Suas Vantagens e Desvantagens

O monitoramento da qualidade do ar é essencial para avaliar e controlar a poluição atmosférica. Diversos tipos de sensores são empregados para essa finalidade, destacando-se principalmente os sensores de partículas (MP), sensores de gases (NO_x , SO_2 , CO , O_3), e sensores ópticos e eletroquímico. Sensores de partículas medem a concentração de material particulado, como MP10 e MP2,5, enquanto sensores de gases detectam a presença de poluentes gasosos específicos.

Os sensores de partículas são dispositivos projetados para detectar e medir a concentração de partículas no ar (Kuula *et al.*, 2019). Esses sensores utilizam técnicas como dispersão de luz, onde feixes de luz são projetados sobre as partículas, e a intensidade da luz espalhada é medida para determinar o tamanho e a quantidade das partículas presentes (Budde *et al.*, 2018). Sensores de laser são amplamente utilizados devido à sua precisão na detecção de partículas finas, sendo fundamentais em aplicações de monitoramento ambiental e controle da qualidade do ar (Karagulian *et al.*, 2019).

Por outro lado, sensores de gases são dispositivos especializados em medir concentrações de gases específicos no ambiente, CO_2 , CO , SO_2 e NO_x . Esses sensores empregam tecnologias, incluindo sensores eletroquímicos, que detectam mudanças nas correntes elétricas causadas por reações químicas entre o gás alvo e um eletrodo sensor. Outra tecnologia comum é a de infravermelho não dispersivo (NDIR), que mede a absorção de luz infravermelha por gases específicos para determinar sua concentração. Sensores de gases são cruciais para a detecção de poluentes e garantir a segurança em ambientes industriais e urbanos.

A aplicação dos sensores varia conforme a origem das emissões, sendo necessária uma abordagem diferenciada para fontes moveis e fixas. Para fontes moveis, como o tráfego veicular, os sensores são instalados próximos a vias de grande circulação, permitindo medir concentração de poluentes como MP10, MP2,5,

CO e NO₂. Distâncias específicas entre o sensor e a via principal são determinadas com base no volume diário de veículos. Já para fontes fixas, considera-se as alturas das chaminés, a dispersão da pluma de poluentes e fatores como ventos predominantes e relevo (Brasil, 2019, p.17).

Sensores ópticos utilizam feixes de luz para identificar e quantificar partículas, e sensores eletroquímicos detectam mudanças nas correntes elétricas para medir concentrações de gases. Sensores químicos de fibras ópticas podem gerar sinais analíticos diretos com base em propriedades do analito, como índice de refração, absorção ou emissão. Geralmente, medem indiretamente por alterações de cor ou luminescência de um indicador imobilizado (Lima *et al.*, 2009).

Os sensores oferecem inúmeras vantagens no monitoramento ambiental. A capacidade de realizar medições em tempo real é uma das mais significativas, permitindo uma resposta rápida as condições ambientais em mudança. Além disso, muitos sensores modernos possuem alta sensibilidade e precisão, podendo detectar concentrações muito baixas de poluente. A facilidade de integração em redes de monitoramento também permite a coleta de dados em grande escala e análise detalhada.

As escalas de representatividade espacial para o monitoramento da qualidade do ar variam desde a microescala, que abrange áreas de até 100 metros e é ideal para impactos localizados, até a escala urbana, que cobre até 50 quilômetros e fornece uma visão ampla da qualidade do ar nas regiões metropolitanas (Brasil, 2019).

As vantagens e desvantagens do uso de sensores de gases e material particulado, são detalhadas na tabela 2 e 3.

Tabela 2: Vantagens e Desvantagens Sensores de Monitoramento de Material Particulado.

Sensor	Princípio	Vantagem	Desvantagens
Contadores Ópticos de Partículas (OPC)	Detecta as Partículas de Poluição Medindo a Luz Espalhada, Fazendo a Contagem e Estimando os Tamanhos Delas	Custos Moderado Tempo de Resposta Rápido (1s) Sensibilidade na faixa de 1 ug/m ³ Identifica tamanho das partículas MP10 e MP 2,5)	A conversão da contagem de partículas para a massa MP é baseada no modelo teórico. O Sinal medido depende de uma variedade de parâmetros (forma das partículas, cor, densidade, umidade, índice de refração etc.)
Dispersão de Luz	Espalhamento de Luz nos conjuntos de partículas e o fotodetector fornece uma única saída digital ou analógica, que é convertida em uma concentração de massa de partículas (teoria de mie).	Baixo Custo Tempo de Resposta rápido(1s) Sensibilidade na faixa de 1 ug/m ³ Identifica o Tamanho das Partículas (MP10 e MP2,5)	Não Conseguem detectar partículas muito pequenas Interferência da temperatura e umidade relativa

Fonte: European Comission, 2022 apud Aguiar 2022, p 84.

Tabela 3: Vantagens e Desvantagens Sensores de Monitoramento de Gases na Atmosfera.

Sensor	Princípio	Vantagem	Desvantagens
Eletroquímicos	Reação química entre os gases no ar e um líquido dentro do sensor modificando a sua resistência.	Custo Moderado Boa Sensibilidade Tempo de resposta rápido (30 – 200s)	Sensível as variações de temperatura e umidade Reatividade Cruzada com os tipos de moléculas similares
Óxidos Metálicos	Opera por contato do gás com o material semicondutor reduzindo a resistência nessa reação	Baixo Custo Boa Sensibilidade	Sensível as variações de temperatura e umidade Longo tempo de resposta (5-50 min) Instabilidade Gases Interferentes na mistura
Fotoionização	Ioniza os COV'S e mede o resultado da corrente elétrica	Custo Moderado Boa Sensibilidade Dependência Limitada (Temperatura e Umidade) Tempo de Resposta Rápido (Segundos)	Não Seletivo: Reage a todos os COV'S que podem ser ionizados Desvio significativo do sinal Lâmpada com vida útil
Óptico	Detecta gases como o CO e CO2 medindo a absorção de luz infravermelha	Custo Moderado Boa Sensibilidade para CO2 Boa Seletividade Através do IR Tempo de Resposta 20- 120 s Desvio Limitado ao do Tempo de Calibração	Necessidade de Correção para os efeitos da umidade, temperatura e pressão

Fonte: European Comission, 2022 apud Aguiar 2022, p 84.

Apesar das vantagens, o uso de sensores apresenta desafios. A calibração e manutenção frequentemente são necessárias para garantir medições precisas ao longo do tempo. O custo de aquisição e manutenção de sensores avançado pode ser elevado, limitando sua adoção em larga escala. Além disso, condições ambientais como temperatura, umidade e interferências químicas podem afetar a precisão das medições.

2.3 Bioindicadores de Poluição Atmosférica

Bioindicadores são organismos vivos que respondem de maneira mensurável às mudanças ambientais, incluindo a poluição do ar. Eles são importantes para estudos ambientais devido à sua capacidade de refletir condições de longo prazo e integradas do ambiente.

Os líquens são associações simbióticas entre algas e fungos, estes são altamente eficazes como bioindicadores da contaminação atmosférica, permitindo uma avaliação da qualidade do ambiente (Reis *et al.*, 2023). São exemplos de bioindicadores devido à sua sensibilidade a poluentes atmosféricos, como dióxido de enxofre e ozônio. Eles podem ser avaliados por sua cobertura, biodiversidade e índice de poluição, que fornece uma estimativa da qualidade do ar em uma área específica.

As cascas de árvores também podem atuar como bioindicador, acumulando poluentes em seus tecidos ao longo do tempo. Mesmo seu acúmulo de poluentes não ocorrendo de forma tão simples como os fungos liquenizados, musgos e plantas epífitas, o fator favorável é sua disponibilidade (Bouhila *et al.*, 2021). As análises de elementos traço na casca pode revelar a presença de metais pesados e outros poluentes, proporcionando uma visão histórica da qualidade do ar na região.

3 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é analisar os dados coletados pelos sensores da organização IQAir do tipo outdoor, operados pelo Laboratório do Grupo de Ecologia e Análises Socioambientais – GEAS LAB durante um período de 12 meses, comparando os resultados com os valores indicados na legislação ambiental brasileira.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Avaliar a qualidade do ar do Recife com base nos dados coletados pelos sensores IQAir/GEAS LAB, considerando os padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 506/2024.
2. Comparar a concentração de poluentes atmosféricos MP1,0, MP2,5 e MP10, entre os períodos seco e chuvoso;
3. Analisar a distribuição espacial da poluição, por meio de mapas de calor;
4. Identificar e investigar picos de concentração de poluentes, relacionando-os com eventos específicos.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, localizado na região Nordeste do Brasil. Com uma população de aproximadamente de 1,6 milhão de habitantes e 218,843 Km² de unidade territorial, Recife possui uma dinâmica urbana diversificada, marcada pela coexistência de áreas residenciais, comerciais, industriais e de grande fluxo de veículos (Figura 1).

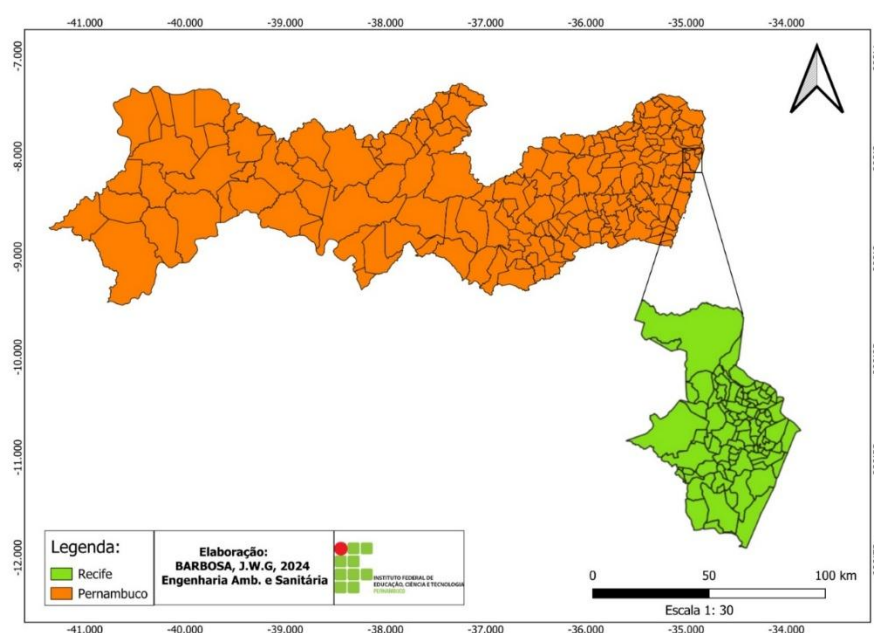


Figura 1: Mapa com localização da cidade do Recife – PE.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sensores analisados neste trabalho são operados pelo Laboratório do Grupo de Ecologia e Análises Socioambientais - Geslab do IFPE e estão distribuídos por zonas da cidade do Recife. Na zona Norte, os sensores estão instalados nos bairros de Casa Amarela, no Sítio da Trindade, e Linha do Tiro, no Compaz Governador Eduardo Campos e em peixinhos no Centro de Vigilância Animal do Recife (CVA), nos limites com o município de Olinda. Na zona Oeste, encontram-se nos bairros do Cordeiro, no Compaz Ariano Suassuna, Estância, no Hospital do Idoso, Cidade Universitária, no Campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e Tejió na Rua do Sancho. Na zona Sul, o sensor está no bairro da Imbiribeira, no

Ginásio Geraldo Magalhães (Geraldão). Já na zona Central, o sensor está localizado no bairro da Joana Bezerra, no Compaz Dom Helder Câmara.

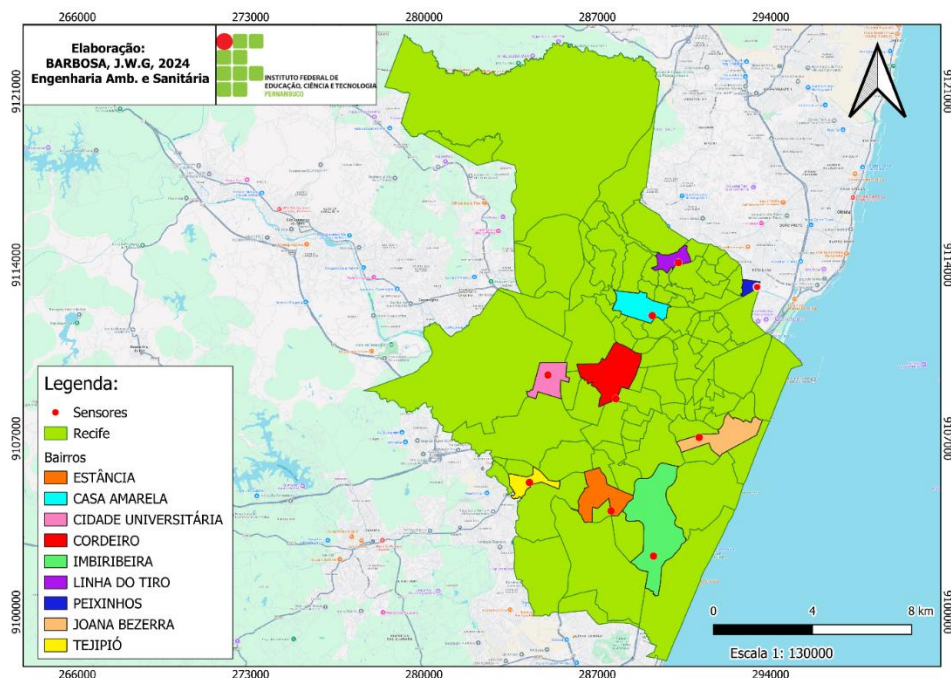


Figura 2: Distribuição espacial dos sensores IQAir no município de Recife - PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa disposição abrange diferentes contextos de ocupação territorial e dinâmicas urbanas, permitindo a captação de dados representativos das variações na qualidade do ar, em áreas de alta e baixa densidade, bem como regiões com diferentes intensidades de tráfego.

Os sensores da operadora IQAir são do tipo AirVisual Outdoor. São equipamentos ideais para áreas residenciais, industriais e áreas urbanas. Ele é projetado para avaliar a exposição à poluição de diversas fontes como tráfego e atividades industriais, e mede parâmetros como MP (MP1,0, MP2,5 e MP10), além de condições ambientais como umidade e temperatura (IQAir, 2022).

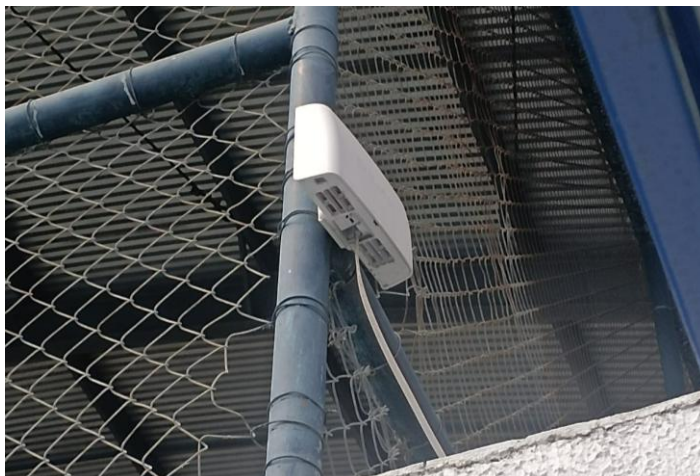


Figura 3: Sensor IQAir, modelo AirVisual Outdoor, instalado no Compaz Joana Bezerra, Recife - PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O módulo utiliza sensores a laser, para medir de forma simultânea partículas de poluição e utiliza tecnologia de nefelometria a laser para quantificar as partículas suspensas no ar, podendo levar até 5 dias após inicialização para mostrar valores corretos (IQAir, 2022). Os sensores de monitoramento analisados estão distribuídos com uma distância média de 3,4 Km entre eles.

4.2 Análise dos dados

O estudo realizou análise de dados de monitoramento da qualidade do ar com base em um recorte temporal que dividiu as observações em período seco e chuvoso. O clima no Recife se caracteriza por dois períodos distintos: um mais seco ou de estiagem, ocorrendo nos meses de setembro a fevereiro e outro período mais chuvoso, ocorrendo nos meses de março a agosto (Barros *et al.*, 2013). Essa distribuição permitiu analisar padrões sazonais nos níveis de poluentes e identificar possíveis relações com as condições climáticas específicas de cada estação do ano.

As variáveis analisadas foram as concentrações de poluentes atmosféricos, MP_{1,0}; MP_{2,5} e MP₁₀. Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva e histogramas, considerando o período seco e o chuvoso. Além disso, a análise dos dados foi realizada com base nos Parâmetros Intermediários-1 (PI-1), que vigoram até o dia 31 de dezembro de 2024.

Para analisar a distribuição dos dados de concentração de MP₁, MP_{2.5} e MP₁₀, foram construídos histogramas que permitem visualizar a frequência das

medições em diferentes intervalos. A definição da largura do compartimento (intervalo de classe) foi baseada nas características de dispersão dos dados, considerando a amplitude total de cada variável.

Para MP1 e MP2.5, cujas amplitudes são semelhantes, adotou-se um intervalo de classe igual a 3 e para MP10, cuja amplitude dos dados é maior, adotou-se um intervalo de classe igual a 6, proporcionando histogramas que equilibram o detalhamento dos dados sem gerar excessiva fragmentação.

4.3 Elaboração de mapa de calor

Para a análise espacial das emissões de poluentes e da qualidade do ar foi elaborado um mapa de calor utilizando a localização dos sensores da IAQir. Foi considerado um raio de alcance de 2 Km para cada sensor, classificando-o como um sensor de escala de bairro. Esse parâmetro foi adotado para garantir uma melhor projeção dos dados, permitindo a cobertura de amplas áreas urbanas e a coleta de informações representativas da qualidade do ar nos bairros analisados.

O mapa foi desenvolvido utilizando as ferramentas de sistemas de informação geográfica (SIG), através do software Qgis, permitindo a visualização das áreas de influência de cada sensor e a sobreposição dos dados coletados.

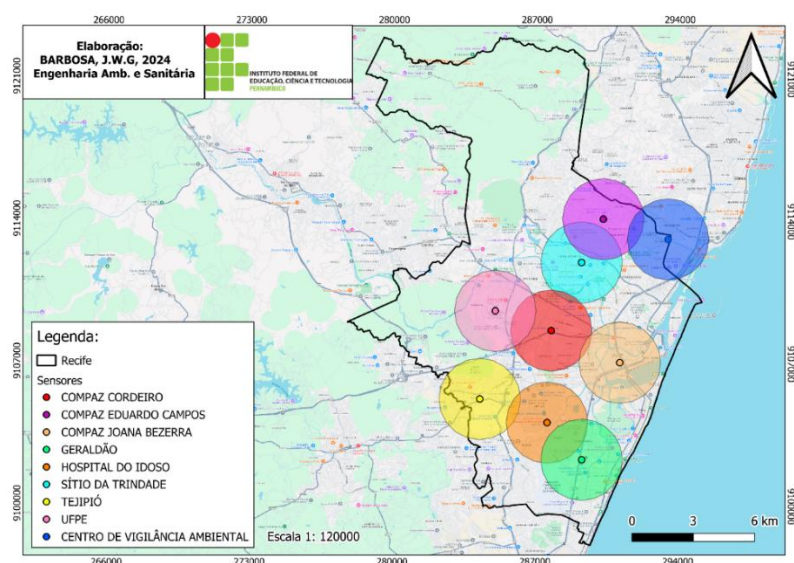


Figura 4: Mapa com demonstração do alcance de leitura dos sensores IAQir instalados nos bairros do Recife-PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Análise dos dados

Os dados analisados foram coletados entre outubro de 2023 e julho de 2024 em nove sensores de monitoramento distribuídos no Recife. A tabela 4 apresenta o número de observações registradas em cada estação, segmentadas pelo período seco e chuvoso.

Tabela 4: Número de observações registradas pelos sensores nos bairros do Recife, no período seco e no período chuvoso.

Estação	Meses	Seco	Chuvoso
Joana Bezerra	Out2023 à Jul2024	130	150
Hospital do Idoso	Dez2023 à Jul2024	91	153
Compaz Ariano	Out2023 à Jul2024	144	153
Compaz Eduardo	Out2023 à Jul2024	144	153
UFPE	Nov2023 à Jul2024	112	153
Geraldão	Dez2023 à Jul2024	91	153
Tejipió	Out2023 à Jul2024	136	153
Sítio da Trindade	Out2023 à Jul2024	142	151
CVA	Jan2023 à Jul2024	40	150

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da separação das observações, foi feita a estatística descritiva para os poluentes monitorados (MP1,0, MP2,5 e MP10) nos períodos seco e chuvoso e os respectivos histogramas.

5.1.3 MP 10

Na tabela 7 consta a estatística descritiva referente aos dados observados para o poluente MP10. Em seguida é apresentada a Figura 28 com os valores médios para emissão de PM10 no período seco e chuvoso, nas estações de monitoramento estudadas.

Tabela 5:Análise estatística descritiva para a concentração do poluente MP10 nos bairros do Recife-PE.

Estação	Média Seco (ug/m ³)	Média Chuvoso (ug/m ³)	Máximo Seco (ug/m ³)	Mínimo Seco (ug/m ³)	Máximo Chuvoso (ug/m ³)	Mínimo Chuvoso (ug/m ³)	Desvio Padrão Seco (ug/m ³)	Desvio Padrão Chuvoso (ug/m ³)
Joana Bezerra	8,71	7,03	26,97	2,18	33,28	1,86	4,62	4,05
Hospital do Idoso	11,90	9,66	32,00	4,07	34,94	2,81	5,54	4,66
Compaz Ariano	9,64	8,38	28,30	1,94	42,47	2,45	4,42	5,11
Compaz Eduardo	12,41	9,37	35,25	4,49	53,70	3,66	5,69	5,59
UFPE	11,16	9,42	32,28	3,14	51,26	3,40	5,30	5,46
Geraldão	9,54	7,36	29,28	2,18	25,83	1,37	5,28	3,52
Tejipió	14,40	11,01	50,68	5,62	46,55	4,46	6,31	5,81
Sítio da Trindade	10,66	8,90	34,26	2,56	75,89	2,52	5,03	8,61
CVA	20,25	23,40	40,07	2,81	56,36	10,97	11,01	7,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

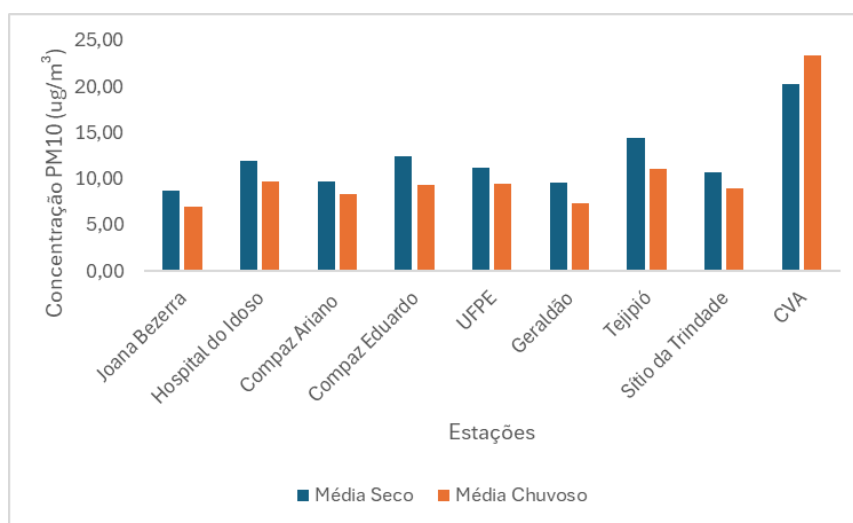


Figura 5: Média diária por período seco e chuvoso para a concentração do poluente MP2,5 nos bairros do Recife-PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As estações de Joana Bezerra e Geraldão apresentam médias relativamente baixas e menor variabilidade, com valores médios de 8,71 μg/m³ e 9,54 μg/m³, respectivamente, no período seco – e de 7,03 μg/m³ e 7,36 μg/m³ no período chuvoso. Esses locais, conforme demonstrado nos histogramas que serão apresentados a seguir, exibem distribuições concentradas em faixas de valores mais baixos, o que é consistente com os baixos valores máximos (26,97 μg/m³ para Joana Bezerra e 29,28 μg/m³ para Geraldão) e os desvios-padrão moderados (4,62 e 4,05 μg/m³ para

Joana Bezerra; 5,28 e 3,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Geraldão). Essa uniformidade indica uma influência consistente da chuva na redução dos níveis de MP10.

Em contraste, as estações Hospital do Idoso, Compaz Ariano, Compaz Eduardo e UFPE demonstram concentrações moderadas. Conforme apresentado na Tabela 7, os valores médios no período seco variam de aproximadamente 9,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 12,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e, no chuvoso, de 8,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 9,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Embora essas médias se mostrem semelhantes, os histogramas evidenciam que, em certos momentos, podem ocorrer picos mais elevados – refletidos nos valores máximos, que alcançam de 32,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 35,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco e, de forma mais acentuada, picos de até 34,94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 53,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso. Os desvios-padrão, entre 4,42 e 5,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, indicam uma variabilidade moderada, sugerindo a ocorrência de episódios pontuais de concentração elevada mesmo com o efeito atenuante das chuvas.

As estações Tejipió e Sítio da Trindade, que, nos histogramas, apareceram com distribuições deslocadas para valores mais altos. A Tabela 7 confirma esse comportamento, registrando para Tejipió uma média de 14,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco e um valor máximo de 50,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, além de um desvio-padrão elevado (6,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). No Sítio da Trindade, a média é de 10,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no seco, mas com um valor máximo extraordinário de 75,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período chuvoso, e um desvio-padrão de 8,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nesse mesmo período. Esses resultados reforçam o que foi observado nos histogramas, ou seja, a ocorrência de episódios críticos que podem estar associados a fontes locais intensas ou condições meteorológicas específicas que favorecem a concentração de partículas.

Por fim, a estação CVA apresenta um comportamento atípico, com médias superiores no período chuvoso (23,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) em comparação ao período seco (20,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Assim como para os poluentes MP1.0 e MP2.5, o dia de São João também contribuiu para alterações no padrão das emissões de MP10, nas quatro primeiras horas da madrugada do dia 24 de junho foram responsáveis por 48,81% das concentrações de MP10, enquanto as duas primeiras horas contribuíram com 22,4% das concentrações desse poluente, podendo ser observado na figura 29.

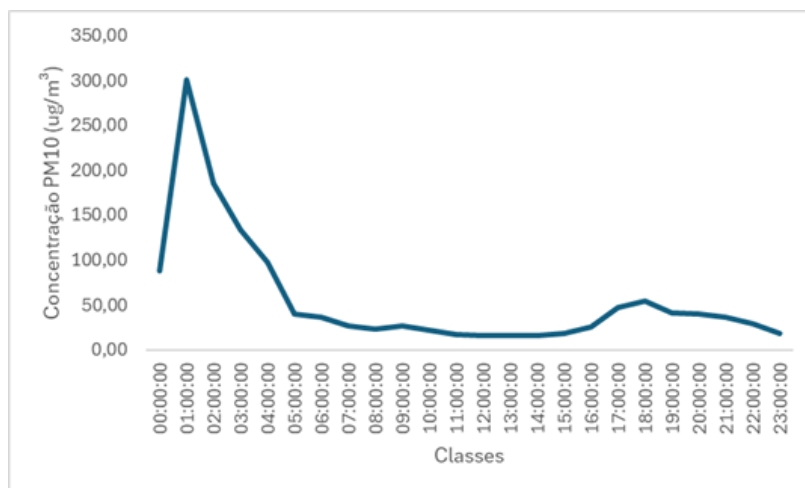


Figura 6:Concentração média por hora do dia 24 de junho para MP10. Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Valentini *et al.* (2020), na medida em que as características microfísicas dos aerossóis sofrem alterações forçadas pelas condições ambientais, o crescimento do tamanho das partículas ocorre em um cenário mais úmido. Logo, podendo apresentar uma influência da umidade no crescimento da média de MP10 no CVA.

Essa inversão, também refletida nos histogramas, é evidenciada pelos valores máximos elevados – 40,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco e 56,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso e pelos altos desvios-padrão (11,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 7,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente).

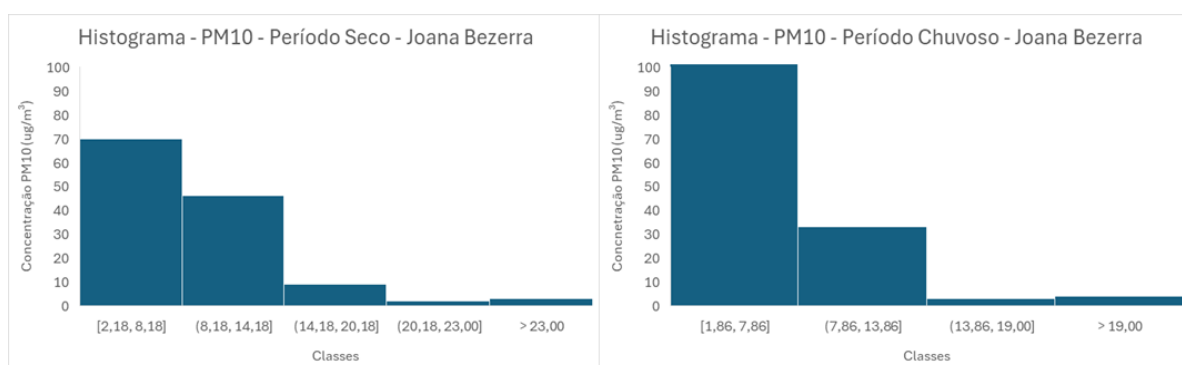


Figura 7:Histograma para concentração de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na estação de monitoramento de Joana Bezerra, no período seco e chuvoso. Fonte: Elaborado pelo autor.

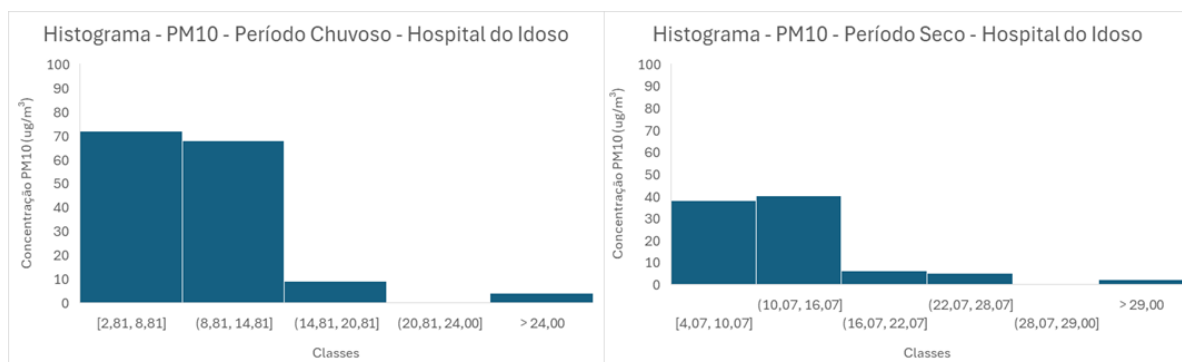


Figura 8: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento do Hospital do Idoso, no período seco e chuvoso.
Fonte: Elaborado pelo autor.

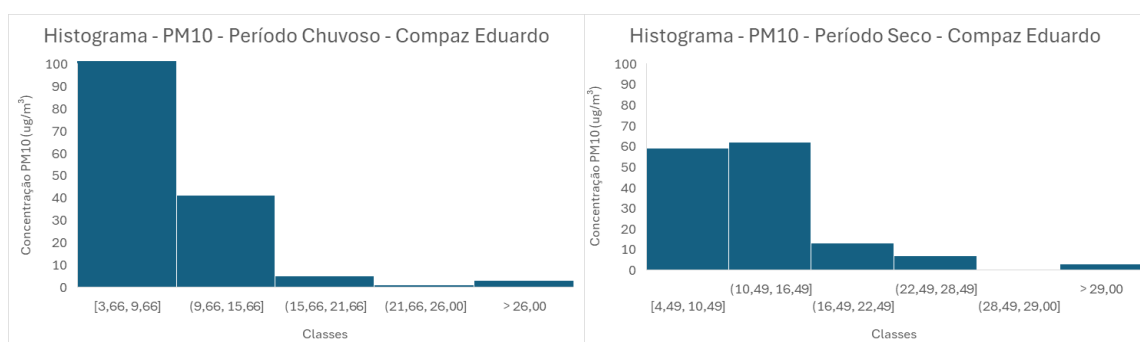


Figura 9: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento do Compaz Eduardo, no período seco e chuvoso.
Fonte: Elaborado pelo autor.

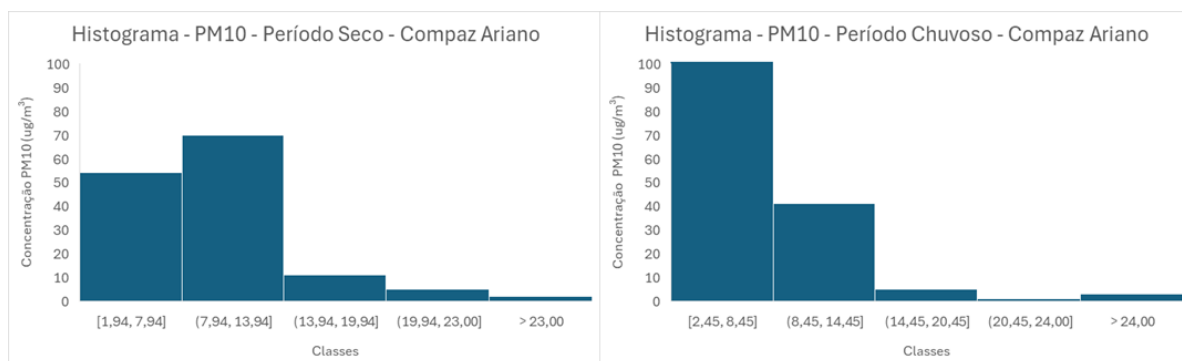


Figura 10: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento do Compaz Ariano, no período seco e chuvoso.
Fonte: Elaborado pelo autor.

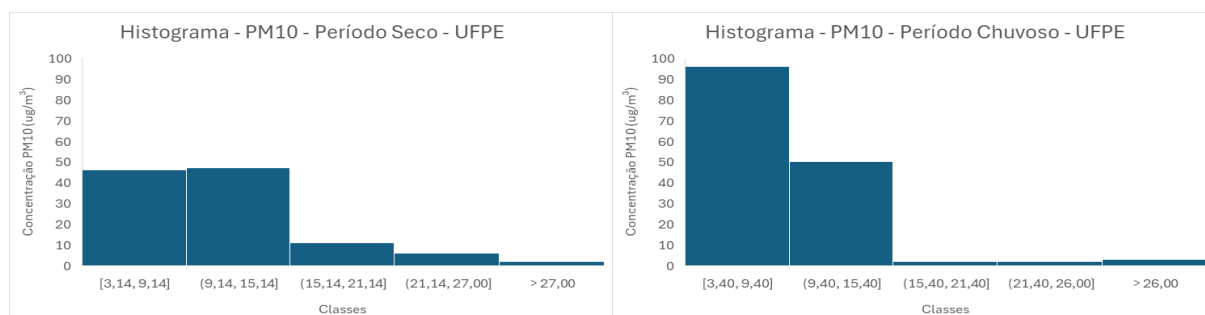


Figura 11: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento da UFPE, no período seco e chuvoso.
Fonte: Elaborado pelo autor.

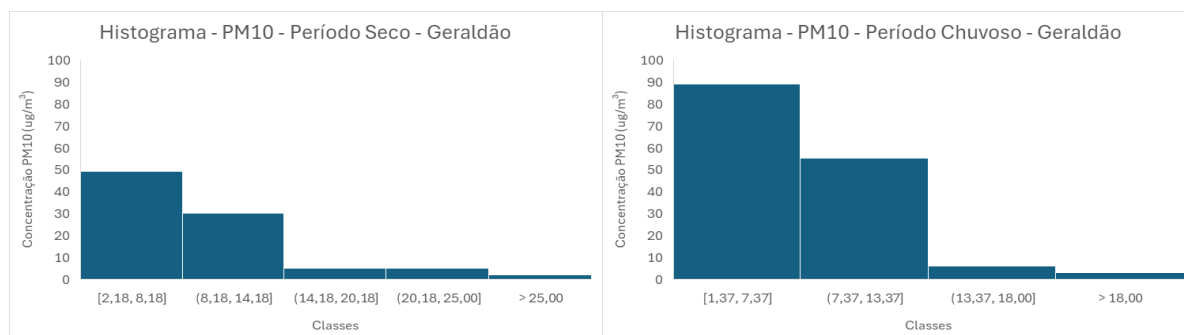


Figura 12: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento da Geraldão, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

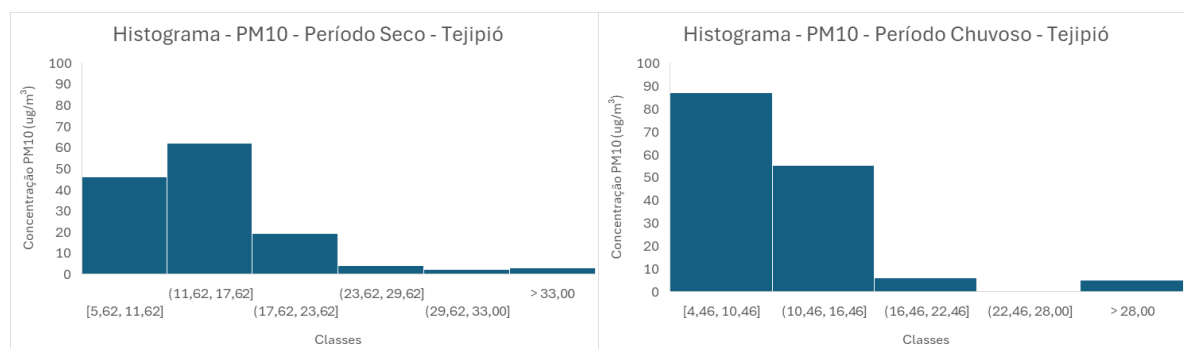


Figura 13: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento da Tejiptó, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

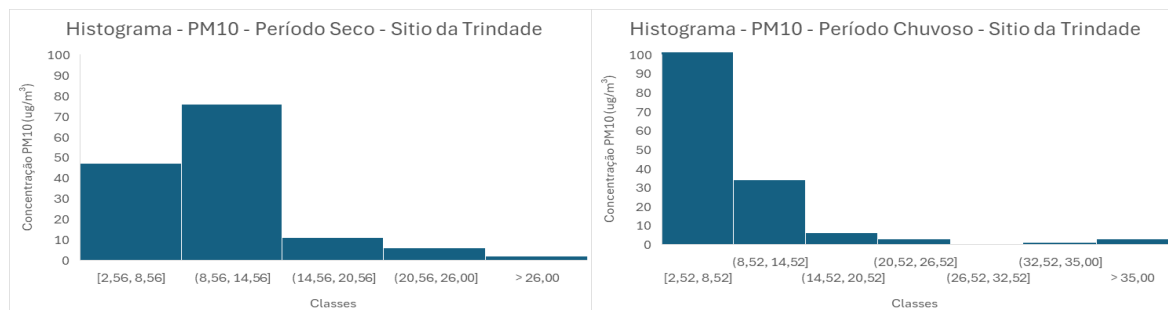


Figura 14: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento do Sitio da Trindade, no período seco e chuvoso

Fonte: Elaborado pelo autor.

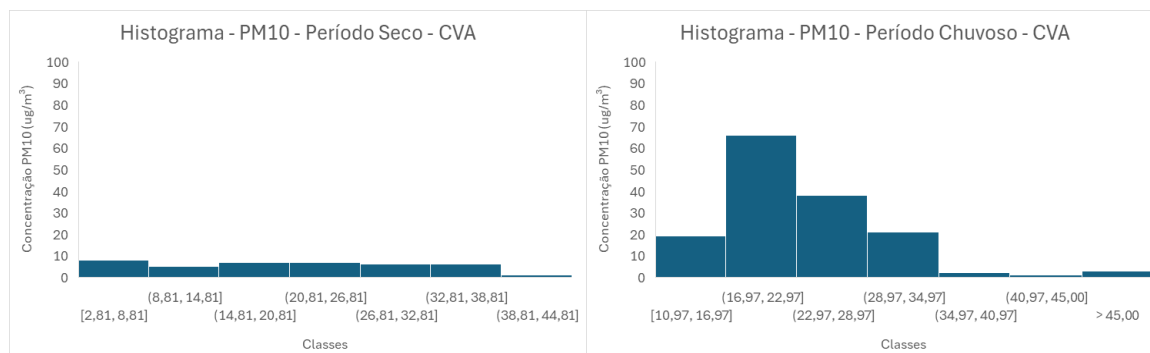


Figura 15: Histograma para concentração de PM10 (ug/m³) na estação de monitoramento do CVA, no período seco e chuvoso

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em síntese, os dados descritos na Tabela 7 corroboram os padrões identificados nos histogramas, evidenciando que, embora a tendência geral seja de menores concentrações de MP10 durante o período chuvoso, há variações entre as estações. Enquanto as estações com menores médias e baixa variabilidade (Joana Bezerra e Geraldão) demonstram uma resposta consistente à ação das chuvas, as estações com médias moderadas (Hospital do Idoso, Compaz Ariano, Compaz Eduardo e UFPE) apresentam episódios pontuais de elevação.

As estações Tejiopó e Sítio da Trindade se destacam pela ocorrência de picos críticos, e a estação CVA revela um comportamento atípico, com maiores concentrações no período chuvoso.

5.1.2 MP 2,5

De forma semelhante, a análise dos dados coletados nas estações de monitoramento revelou variações significativas nas concentrações médias de MP2,5 entre os períodos seco e chuvoso, conforme apresentado na Tabela 6. Essas variações refletem tanto a influência da precipitação na dispersão do material particulado quanto a persistência de possíveis fontes de emissão na região. A figura 15 apresenta o comportamento médio do poluente MP2,5 ao longo dos períodos estudados, apresentando também para o MP2,5 o mesmo comportamento do MP1 para o CVA.

Tabela 6:Análise estatística descritiva para a concentração do poluente MP2,5 nos bairros do Recife-PE.

Estação	Média Seco (ug/m³)	Média Chuvoso (ug/m³)	Máximo Seco (ug/m³)	Mínimo Seco (ug/m³)	Máximo Chuvoso (ug/m³)	Mínimo Chuvoso (ug/m³)	Desvio Padrão Seco (ug/m³)	Desvio Padrão Chuvoso (ug/m³)
Joana Bezerra	4,51	3,59	14,95	1,01	20,92	0,95	2,54	2,39
Hospital do Idoso	6,16	4,89	17,71	1,96	21,57	1,48	3,00	2,69
Compaz Ariano	5,25	4,62	15,81	1,01	26,77	1,30	2,49	3,15
Compaz Eduardo	6,28	4,84	19,44	2,20	33,23	1,91	3,00	3,21
UFPE	5,87	5,09	17,23	1,55	31,21	1,82	2,84	3,23
Geraldão	4,57	3,48	14,86	0,90	13,87	0,59	2,67	1,82
Tejiopó	7,06	5,40	26,72	2,85	28,08	2,14	3,36	3,47
Sítio da Trindade	5,21	4,60	18,33	1,21	47,34	1,22	2,68	5,20
CVA	8,66	10,02	17,93	1,28	32,48	4,73	4,65	3,74

Fonte: Elaborado pelo autor.

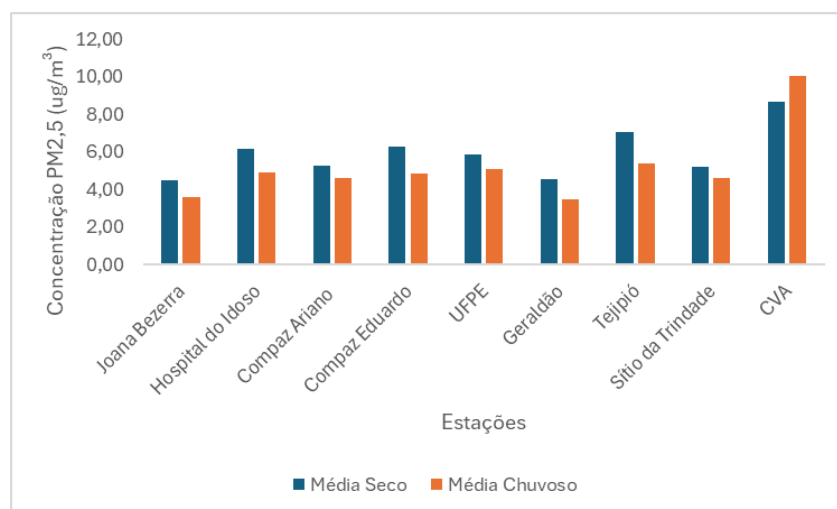


Figura 16: Média diária por período seco e chuvoso para a concentração do poluente PM_{2,5} nos bairros do Recife-PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos valores médios, máximos, mínimos e no desvio padrão das concentrações de MP_{2,5}, foi possível agrupar as estações em três categorias principais: (Grupo 1) estações com alta concentração persistente de MP_{2,5}, (Grupo 2) estações com concentração moderada e redução significativa no período chuvoso e (Grupo 3) estações com baixa concentração e forte dispersão de poluentes.

Para ilustrar essas diferenças, os histogramas apresentados na Figura 17 a 23 mostram a distribuição das concentrações em cada estação, diferenciando os períodos seco e chuvoso. Esses gráficos permitem visualizar a frequência das diferentes faixas de concentração e como os valores se distribuem ao longo do tempo.

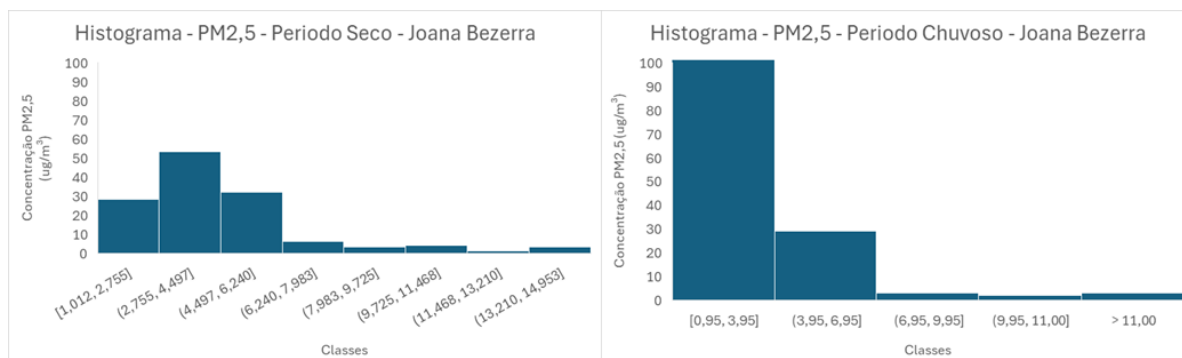


Figura 17: Histograma para concentração de PM_{2,5} (ug/m³) na estação de monitoramento Joana Bezerra, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

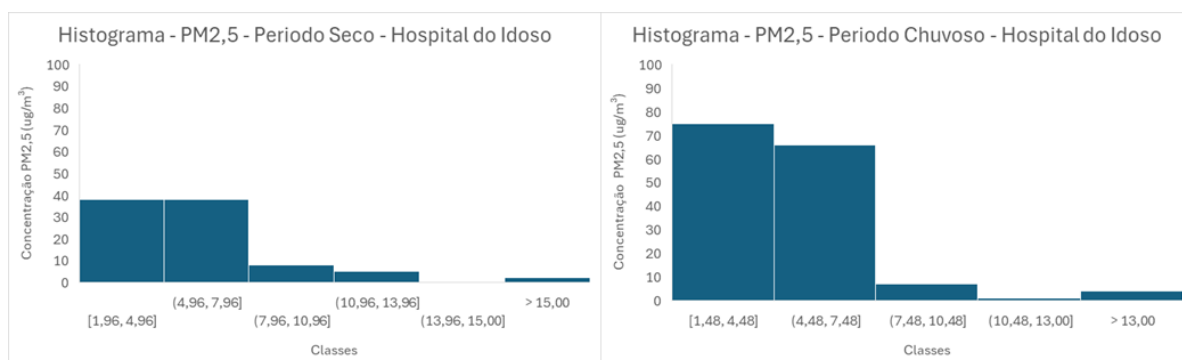


Figura 18: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m³) na estação de monitoramento Hospital do Idoso, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

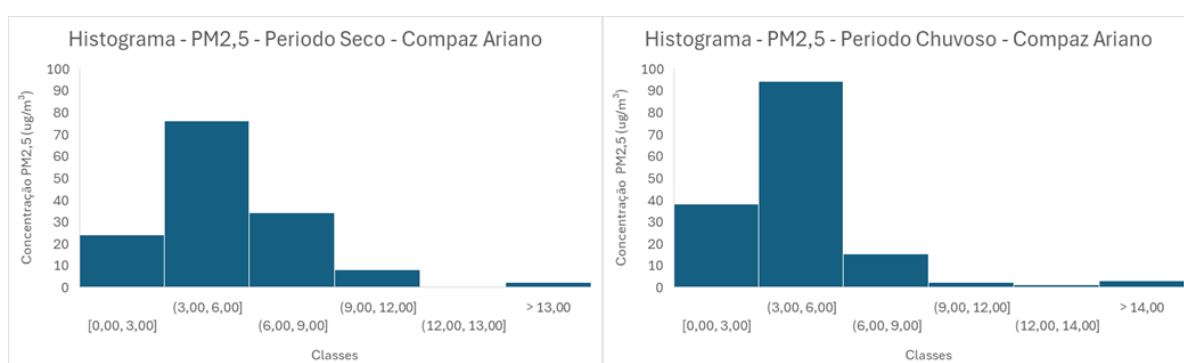


Figura 19: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m³) na estação de monitoramento Compaz Ariano, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor

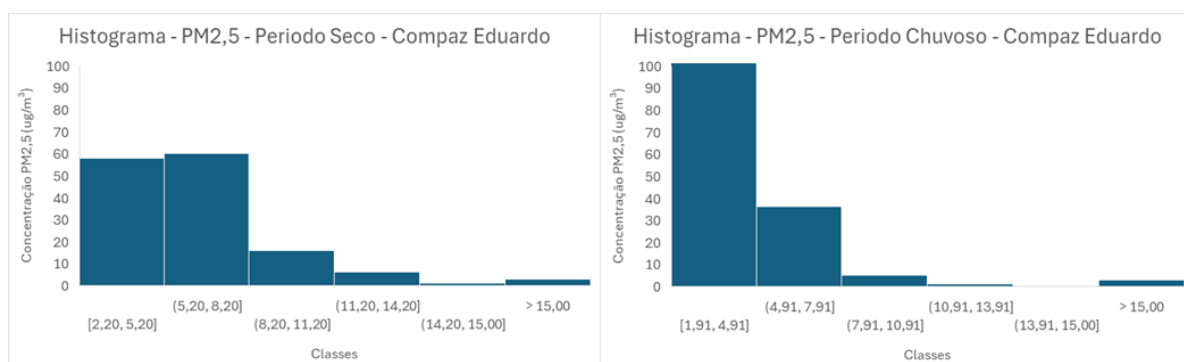


Figura 20: Histograma para concentração de PM2,5 (ug/m³) na estação de monitoramento Compaz Eduardo, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

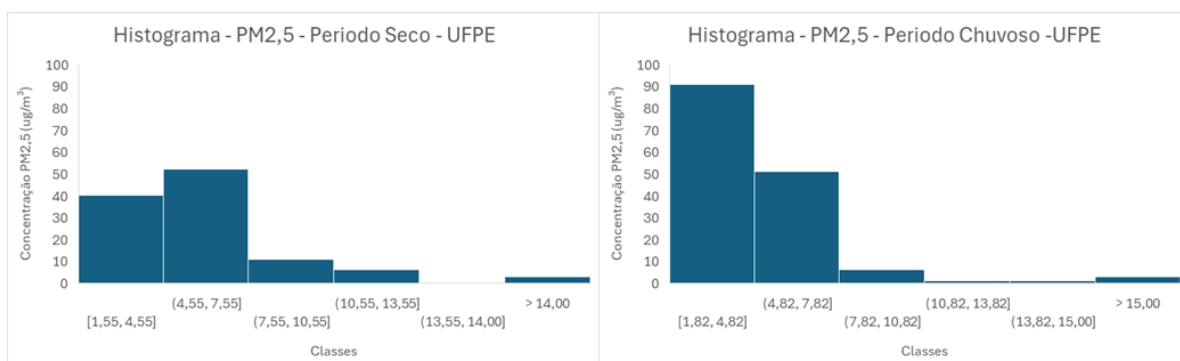


Figura 21: Histograma para concentração de PM_{2,5} (ug/m³) na estação de monitoramento UFPE, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

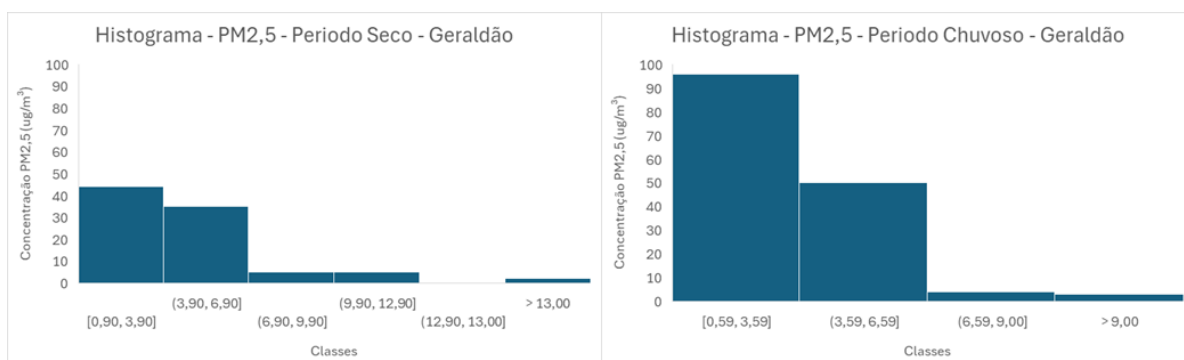


Figura 22: Histograma para concentração de PM_{2,5} (ug/m³) na estação de monitoramento Geraldão, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

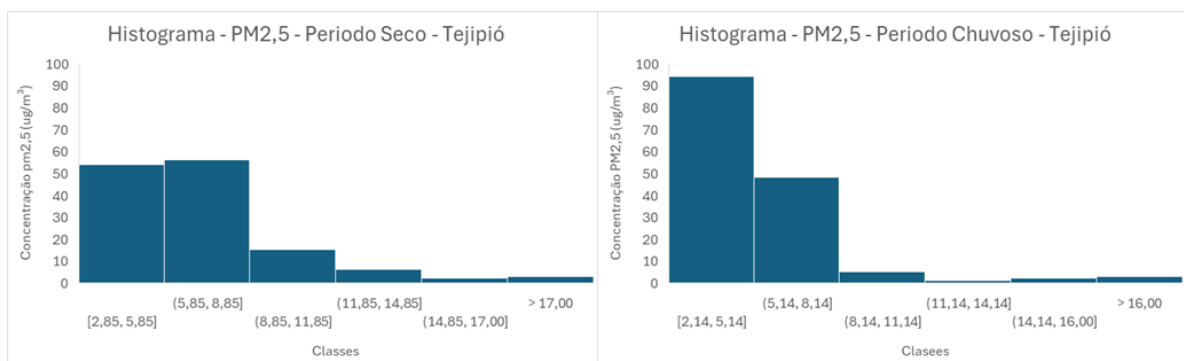


Figura 23: Histograma para concentração de PM_{2,5} (ug/m³) na estação de monitoramento Tejiopó, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

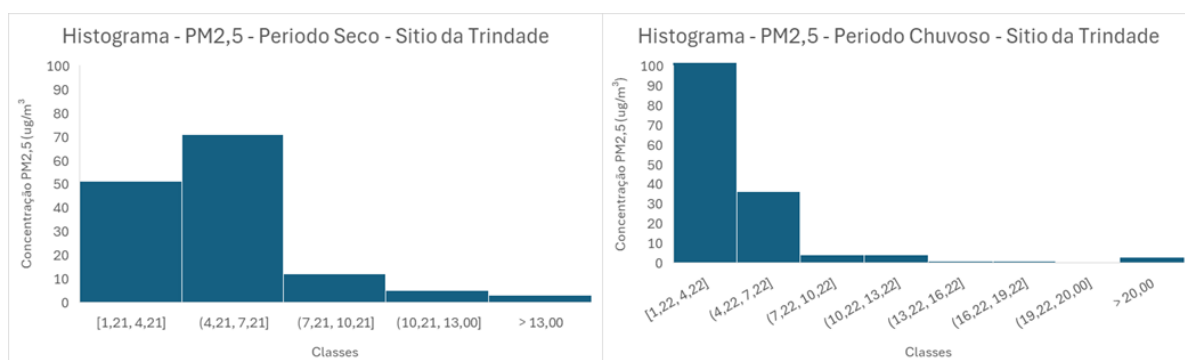


Figura 24: Histograma para concentração de PM_{2,5} (ug/m³) na estação de monitoramento Sitio da Trindade, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

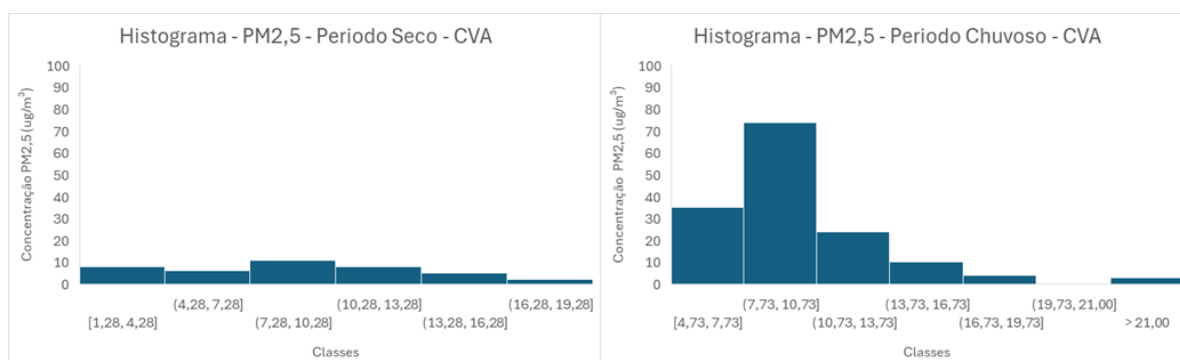


Figura 25: Histograma para concentração de PM2,5 (µg/m³) na estação de monitoramento CVA, no período seco e chuvoso

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro grupo, composto pelas estações Tejiptó, CVA e Compaz Eduardo, Tejiptó registrou uma média de 7,06 µg/m³ no período seco e 5,40 µg/m³ no período chuvoso, com valores máximos elevados em ambos os períodos (26,72 µg/m³ e 28,08 µg/m³, respectivamente), sugerindo a presença de fontes persistentes de emissão.

A estação CVA, localizada em uma região de tráfego intenso, foi a única onde a concentração média aumentou no período chuvoso (8,66 µg/m³ para 10,02 µg/m³), registrando uma máxima de 32,48 µg/m³ no período chuvoso, indicando que a precipitação não foi suficiente para dispersar os poluentes na mesma proporção observada em outras localidades. Semelhante Ao MP1, as quatro primeiras horas da madrugada do dia 24 de junho foram responsáveis por 53,37% das concentrações de MP2,5, enquanto as duas primeiras horas do dia contribuíram com 23,93% das concentrações desse poluente.

Esses dados evidenciam que as primeiras horas da madrugada de São João e o início do dia têm uma influência expressiva nos níveis de MP2,5 no ambiente, pois no período chuvoso deveria acontecer o inverso, onde a precipitação é um fator que atua com muita eficiência na remoção das partículas presentes na atmosfera promovendo a remoção dos poluentes, pois uma parcela significativa desses é incorporada à água da chuva (Freitas; Solci, 2009).

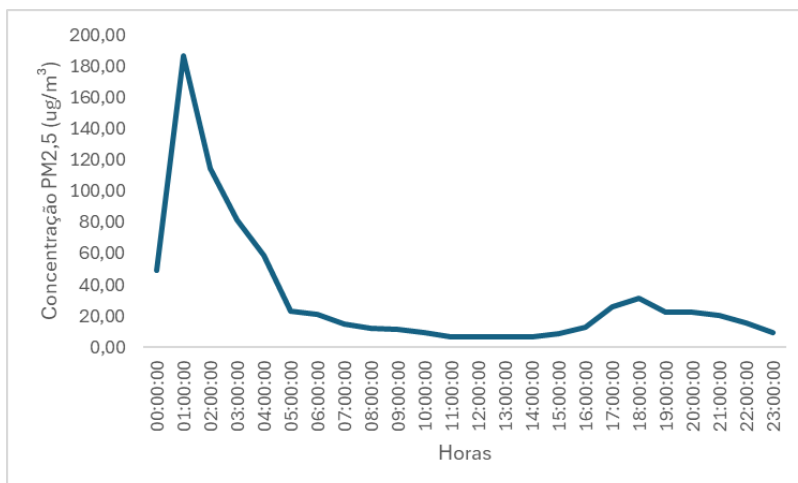


Figura 26: Concentração média por hora do dia 24 de junho para MP2,5.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A estação do Compaz Eduardo também manteve valores relativamente altos (6,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no seco e 4,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no chuvoso) e apresentou máximos elevados, especialmente no período chuvoso (33,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), reforçando a hipótese de que fontes fixas ou atividades específicas contribuíram para a permanência do material particulado na atmosfera.

O segundo grupo, formado pelas estações Compaz Ariano, UFPE e Geraldão, apresentou concentrações moderadas, mas com uma redução expressiva dos valores médios no período chuvoso. O Geraldão, por exemplo, registrou os menores valores médios (4,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no seco e 3,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no chuvoso), além de um baixo desvio padrão, o que sugere uma característica de homogeneidade dos valores referentes as concentrações do poluente nestes locais.

A estação da UFPE também demonstrou um comportamento semelhante, com valores máximos relativamente altos (17,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no seco e 31,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no chuvoso), mas mantendo uma queda geral das concentrações médias. Esse padrão indica que, embora eventos de poluição possam ocorrer, a predominância de áreas verdes e a menor influência de fontes emissoras fixas contribuíram para a redução das concentrações na maior parte do tempo.

Por fim, o terceiro grupo, que inclui as estações Hospital do Idoso e Sítio da Trindade, apresentou as menores concentrações de MP2,5. O Hospital do Idoso registrou médias de 6,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no seco e 4,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no chuvoso, enquanto a estação do Sítio da Trindade apresentou uma das menores variações entre os períodos (5,21

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $4,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). No entanto, essa última estação se destacou pelo alto valor máximo observado no período chuvoso ($47,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o que indica episódios pontuais de poluição intensa, possivelmente associados a emissões intermitentes de fontes próximas.

Os resultados da Tabela 6 quando comparados com os histogramas, confirmam que o impacto da precipitação na redução das concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ não ocorre de maneira uniforme em todas as estações. Enquanto algumas localidades apresentam uma diminuição expressiva das concentrações durante o período chuvoso, outras mantêm níveis elevados, sugerindo a presença de fontes de emissão contínuas ou condições meteorológicas que favorecem a retenção dos poluentes na atmosfera.

Além disso, os valores de desvio padrão indicam que as estações do CVA, Sítio da Trindade e Compaz Eduardo apresentam maior variabilidade nas concentrações, refletindo a influência de fatores locais, como a densidade do tráfego, atividades industriais e a presença de vegetação.

5.1.1 MP 1,0

A tabela 5 apresenta os valores de média, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão para cada o poluente MP_1 em ambos os períodos.

Tabela 7:Análise estatística descritiva para a concentração do poluente MP_1 nos bairros do Recife-PE.

Estação	Média Seco ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média Chuvoso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo Seco ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo Seco ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo Chuvoso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo Chuvoso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desvio Padrão Seco ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desvio Padrão Chuvoso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Joana Bezerra	2,79	2,29	9,67	0,80	15,81	0,69	1,56	1,66
Hospital do Idoso	3,66	2,84	11,99	1,23	16,02	1,16	1,99	1,90
Compaz Ariano	3,22	2,94	10,09	0,77	20,08	1,02	1,57	2,25
Compaz Eduardo	3,64	2,90	13,24	1,54	24,99	1,29	1,87	2,38
UFPE	3,56	3,22	11,00	1,20	22,91	1,38	1,81	2,32
Geraldão	2,68	2,02	9,14	0,67	9,11	0,40	1,55	1,09
Tejipió	3,94	3,04	16,84	1,73	20,65	1,14	2,16	2,51
Sítio da Trindade	3,16	3,09	11,43	1,01	35,63	0,87	1,65	3,75
CVA	4,16	4,72	10,08	1,07	22,71	2,03	2,22	2,56

Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, a média das concentrações foi maior no período seco, sugerindo que a ausência de precipitação favorece a acumulação do material particulado na atmosfera. De acordo com Baird e Cann (2011), essa é a tendência esperada, uma vez que os ventos e uma maior precipitação no período chuvoso contribuem com a dissolução do material particulado. A figura 4 apresenta como se deu as médias nos períodos seco e chuvoso para MP1.

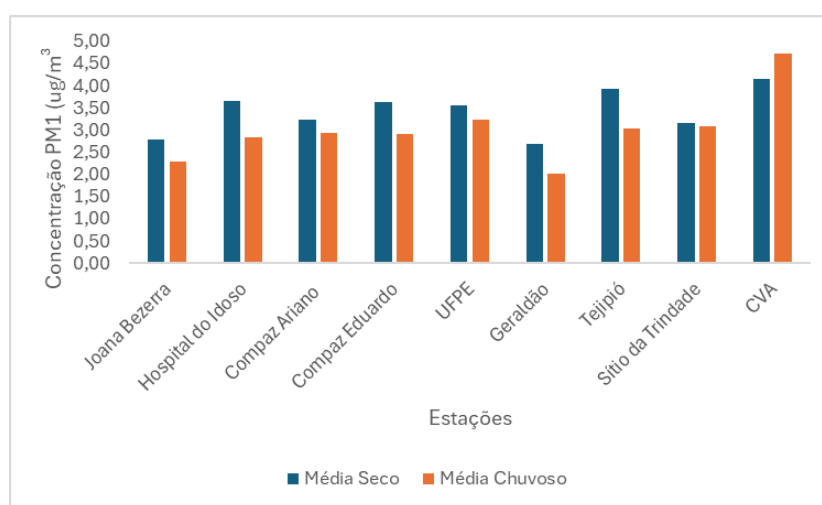


Figura 27: Média diária por período seco e chuvoso para a concentração do poluente MP1 nos bairros do Recife-PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A exceção é a estação CVA, que apresentou a maior média de MP1 no período chuvoso ($4,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no seco e $4,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no chuvoso). Esse comportamento atípico foi consequência de picos de emissão do poluente ocorridos no dia 24 de junho de 2024 (Dia de São João), no dia 14 de agosto de 2024, quando ocorreu um incêndio no porto do Recife-PE.

Esta tese tem como base a observação de dados discrepantes em horários específicos desses dois dias. No dia 24 de junho os dados mostram uma elevação atípica da concentração de MP1 no período noturno, após às 20:00h. Nas quatro primeiras horas da madrugada desse dia a quantidade de MP1 na atmosfera foi equivalente a 57,55% das emissões do dia.

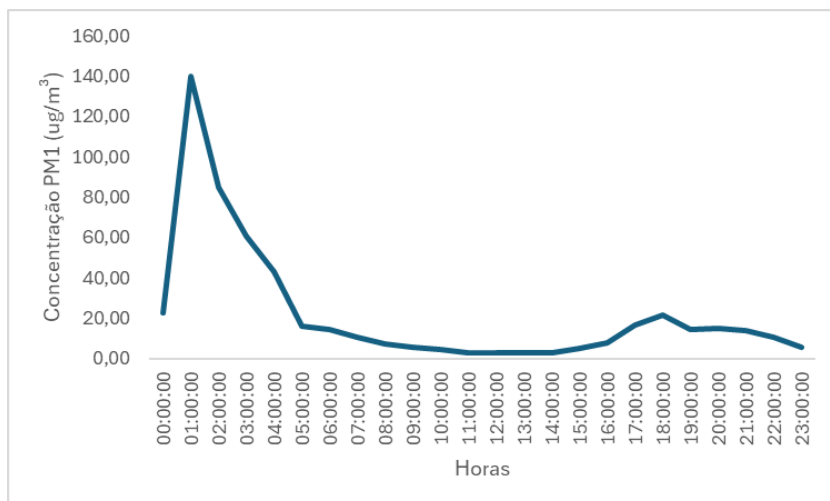


Figura 28: Concentração média por hora do dia 24 de junho para MP1,0.

Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma semelhante ao que aconteceu no dia 24 de junho, no dia 14 de agosto de 2024 o sensor do CVA apresentou um pico de MP1, indicando alteração da qualidade do ar em função de um incêndio que ocorreu no Porto do Recife (Figura 5). Embora a distância entre o Porto e o sensor seja de 3,9 km, o sensor está posicionado num local que recebe influência das correntes de ar vindas da região onde ocorreu o incêndio.

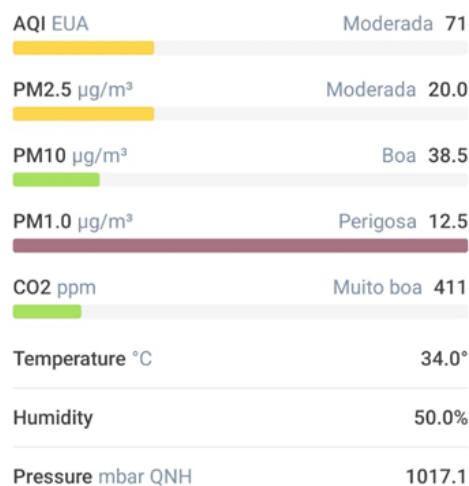


Figura 29: Pico de concentração de PM1,0 captado pelo sensor instalado no CVA durante o incêndio no porto do Recife-PE.

Fonte: Aplicativo IQAir Airvisual.

Acredita-se que tal fato ocorreu sob influência dos ventos de agosto que, segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2025), devido a

intensificação do Sistema de Alta Pressão (ASAS), aumenta a velocidade dos ventos, podendo ultrapassar 50 Km/h.

Quanto a variabilidade dos dados coletados, foi possível observar que o desvio padrão foi maior no período chuvoso para algumas estações, como Sítio da Trindade (3,75) e Compaz Eduardo (2,38), o que indica uma dispersão mais acentuada dos valores e a ocorrência de picos de concentração. Isso pode estar relacionado a eventos pontuais de emissão que, apesar da tendência geral de redução de MP1 devido à remoção pela chuva, podem elevar temporariamente os níveis de poluição em determinadas áreas. Por outro lado, estações como Geraldão e UFPE apresentaram menor dispersão no período chuvoso, sugerindo que nesses locais a deposição úmida age de forma mais eficiente na redução das concentrações de material particulado.

Os valores máximos registrados no período chuvoso são, em alguns casos, superiores aos do período seco. Esse comportamento pode ser observado na estação Sítio da Trindade, onde o máximo no período chuvoso atingiu 35,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o maior valor registrado entre todas as estações. Esse achado reforça a hipótese de que, apesar da redução da média, podem ocorrer episódios de alta concentração de MP1, possivelmente devido a condições meteorológicas momentâneas ou emissões esporádicas de fontes poluidoras.

Esses picos podem estar associados a eventos como o aumento do tráfego veicular em determinados horários ou até mesmo o transporte de partículas advindas de regiões vizinhas. Além disso, em algumas áreas urbanas, a redução da umidade do solo após chuvas intensas pode levar à ressuspensão de partículas finas (Panachuki *et al.*, 2011), contribuindo para a elevação temporária das concentrações de MP1.

Nas figuras abaixo são apresentados os histogramas, considerando o período seco e período chuvoso, para cada uma das estações de monitoramento analisadas.

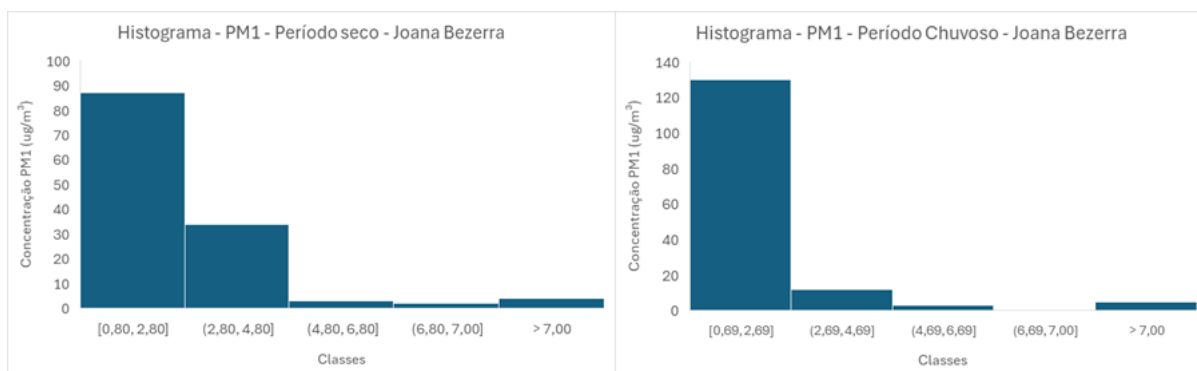


Figura 30: Histograma para concentração de PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na estação de monitoramento de Joana Bezerra, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

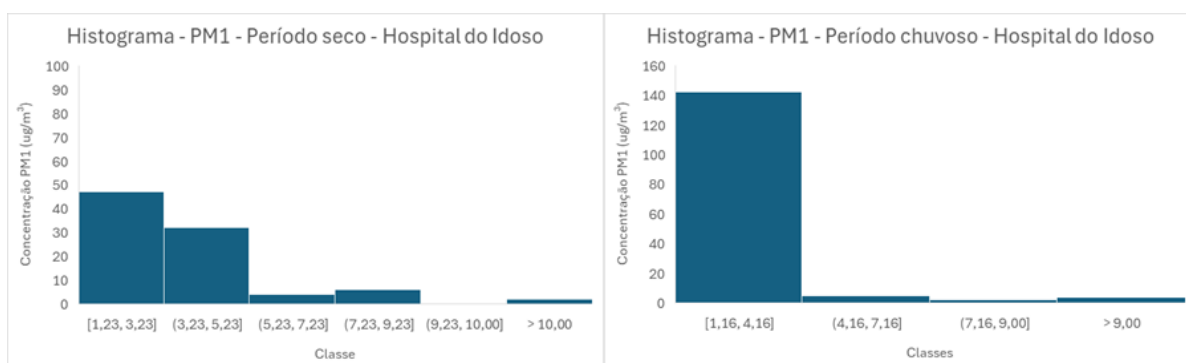


Figura 31: Histograma para concentração de PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na estação de monitoramento do Hospital do Idoso, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

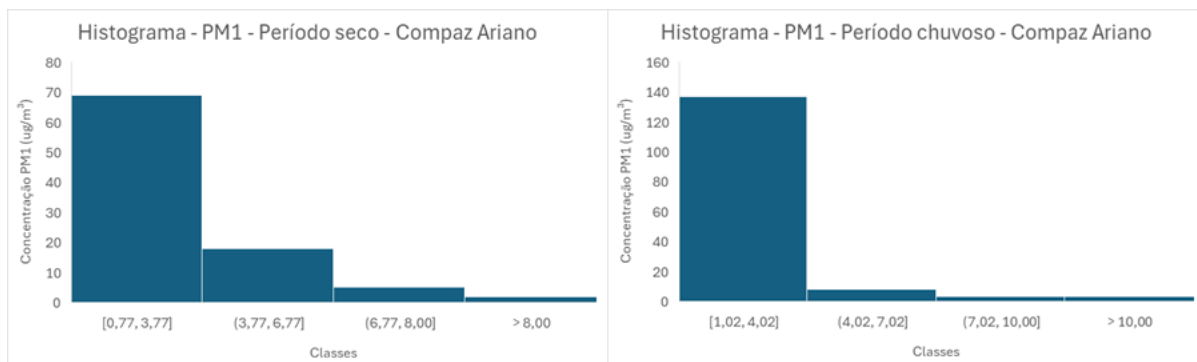


Figura 32: Histograma para concentração de PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na estação de monitoramento do Compaz Ariano, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

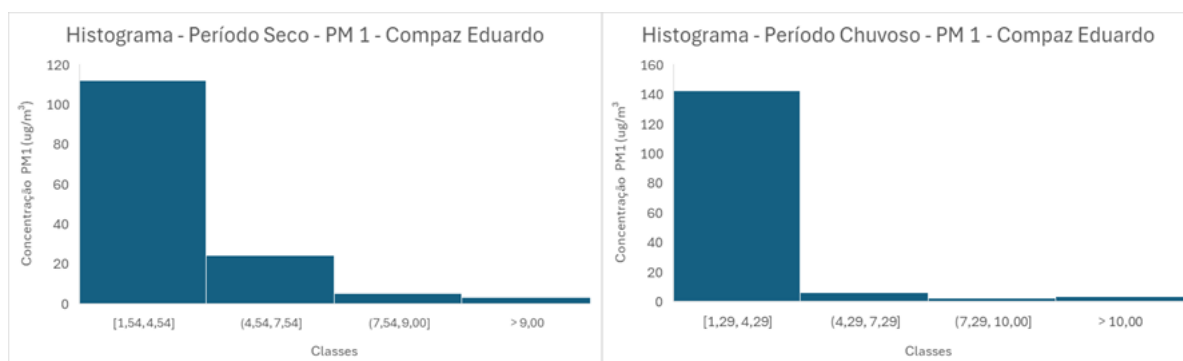


Figura 33: Histograma para concentração de PM1 (ug/m³) na estação de monitoramento do Compaz Eduardo, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor

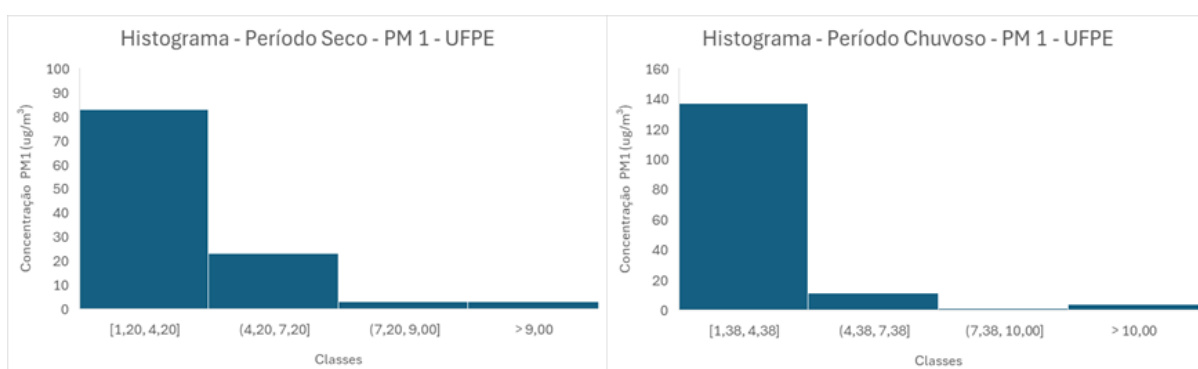


Figura 34: Histograma para concentração de PM1 (ug/m³) na estação de monitoramento da UFPE, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

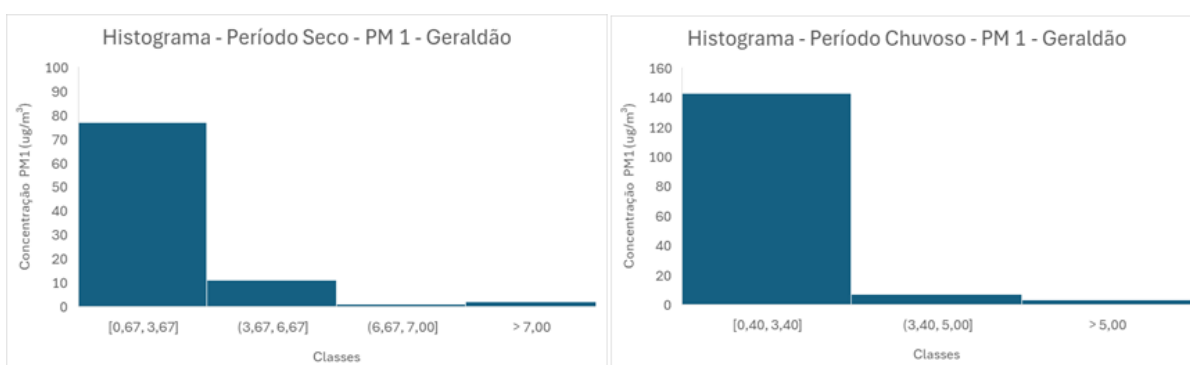


Figura 35: Histograma para concentração de PM1 (ug/m³) na estação de monitoramento do Geraldão, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

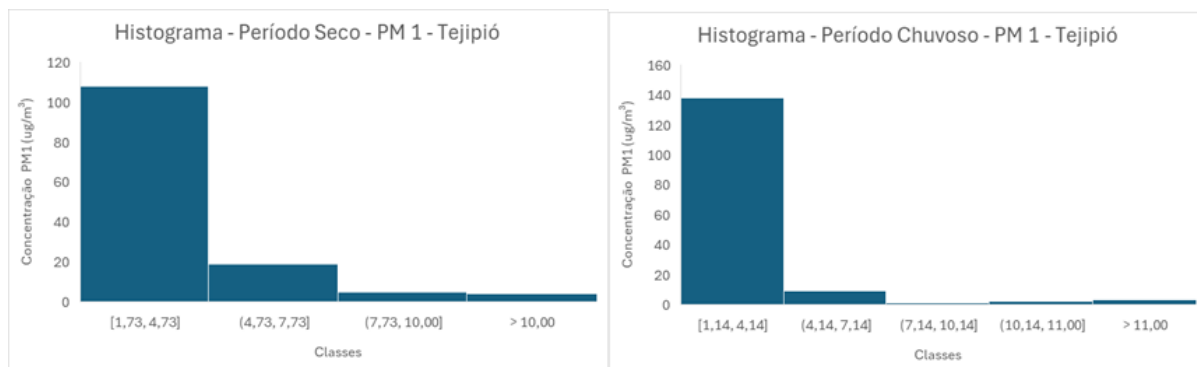


Figura 36: Histograma para concentração de PM1 (ug/m³) na estação de monitoramento de Tejió, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor

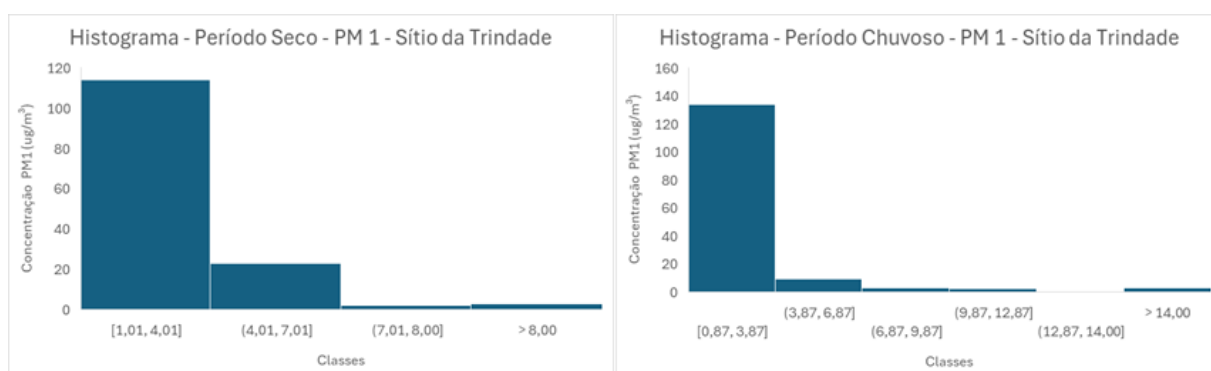


Figura 37: Histograma para concentração de PM1 (ug/m³) na estação de monitoramento do Sítio da Trindade, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

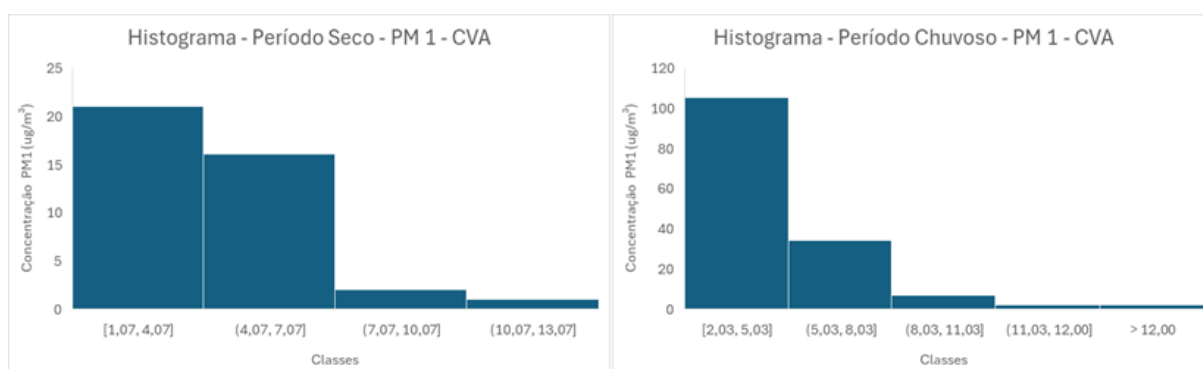


Figura 38: Histograma para concentração de PM1 (ug/m³) na estação de monitoramento do CVA, no período seco e chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos padrões observados, as estações foram agrupadas de acordo com suas características estatísticas. O Grupo 1 (Joana Bezerra, Hospital do Idoso e CVA) se destaca por apresentar concentrações mais elevadas e alta variabilidade,

indicando que essas áreas podem estar mais expostas à poluição veicular e ou alguma fonte fixa de poluição.

O Grupo 2 (UFPE e Compaz Ariano) apresenta médias mais equilibradas entre os períodos seco e chuvoso, sugerindo menor influência de fontes pontuais e uma dispersão mais homogênea dos poluentes. Já o Grupo 3 (Geraldão, Tejipió, Sítio da Trindade e Compaz Eduardo) possui características intermediárias, apresentando padrões que indicam uma mescla de influência entre diferentes fontes emissoras e variação sazonal significativa.

A partir dessa análise, observou-se que a resposta das concentrações de MP1 às condições climáticas varia entre as estações de monitoramento, refletindo não apenas a influência da precipitação, mas também as características locais de emissão e dispersão dos poluentes. Indicando que se deve considerar estratégias diferenciadas de monitoramento e controle da qualidade do ar, levando em conta a heterogeneidade espacial e temporal das concentrações de material particulado na região estudada.

5.2 Análise Espacial

Para análise espacial através do monitoramento de mapa de calor, foi utilizado o método da interpolação Inverse Distance Weighting (IDW) no software Qgis. Esta consiste em utilizar pontos com valores já conhecidos para obter valores aproximados em pontos desconhecidos, atribuindo maior peso aos pontos mais próximos e menor peso aos mais distantes (Oliveira, 2023).

Essa abordagem permite a visualização da distribuição espacial da poluição atmosférica, possibilitando a identificação de áreas mais impactadas pelos poluentes analisados. Os mapas de calor foram gerados para os poluentes MP1,0, MP2,5 e MP10, considerando dois períodos distintos: tempo chuvoso e seco.

A figura de número 39, apresenta a análise espacial de como o MP1,0 se comportou no período seco e chuvoso no município do Recife segundo os dados do sensor Outdoor da IQAir.

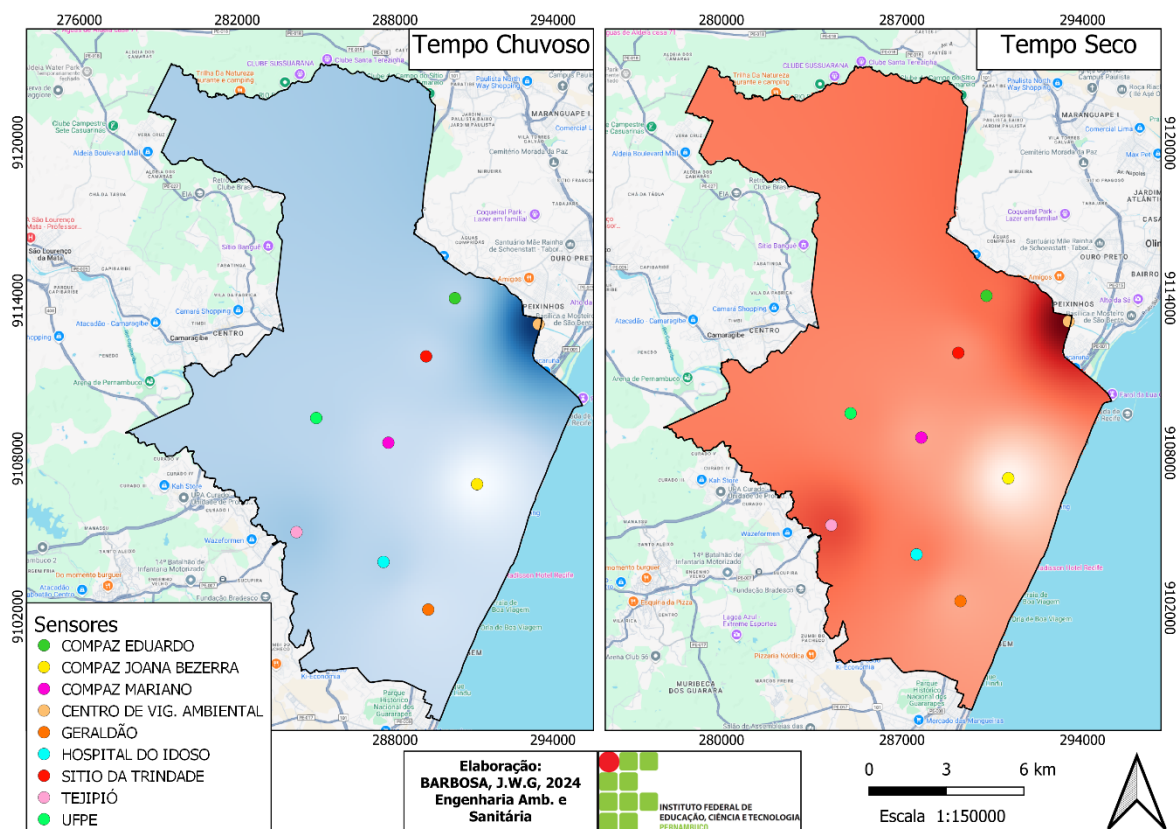


Figura 39: Distribuição Espacial Das Concentrações de MP1,0.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No período chuvoso, observou-se uma menor concentração de MP1,0 na maior parte do território analisado, com um hotspot localizado na região costeira, onde o sensor do CVA sofre mais influência, possivelmente influenciado por fontes moveis e industriais. Durante o tempo seco, verificou-se um aumento significativo nas concentrações, especialmente nas áreas mais centrais e de grande fluxo veicular. Onde a ausência de chuva, facilita a permanência das partículas no ar, aumentando a exposição da população.

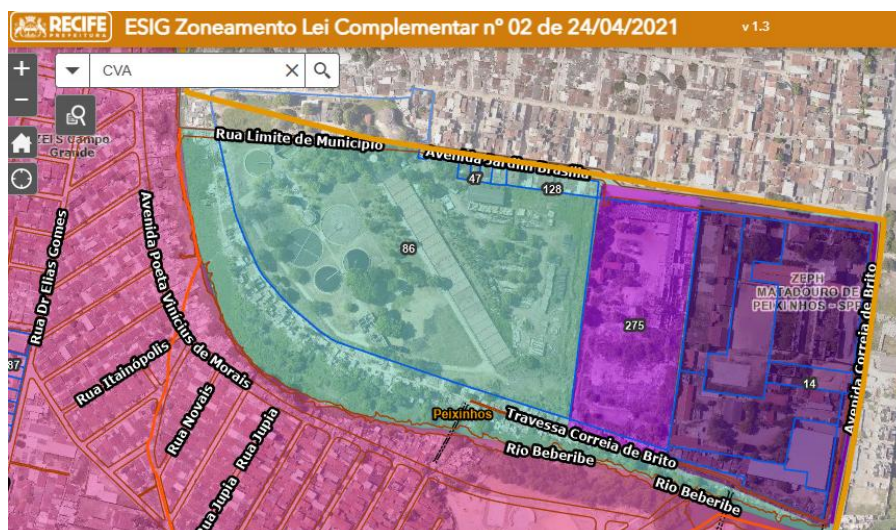


Figura 40: Zoneamento entorno do CVA.
Fonte: ESIG Recife.

O Centro de Vigilância Ambiental está próximo a vias principais como a Avenida Norte e a Avenida Professor Moraes Rego. O elevado tráfego de veículos contribui para emissões de poluentes que afetam a qualidade do ar, especialmente em horários de pico. Situado na região central, com zoneamento voltado para preservação ambiental, que busca minimizar esses impactos, mas a mobilidade intensa e os níveis elevados de poluição continuam sendo desafios a serem enfrentados. A figura 41 mostra a análise espacial do MP2,5, evidenciando as variações de concentração entre os períodos.

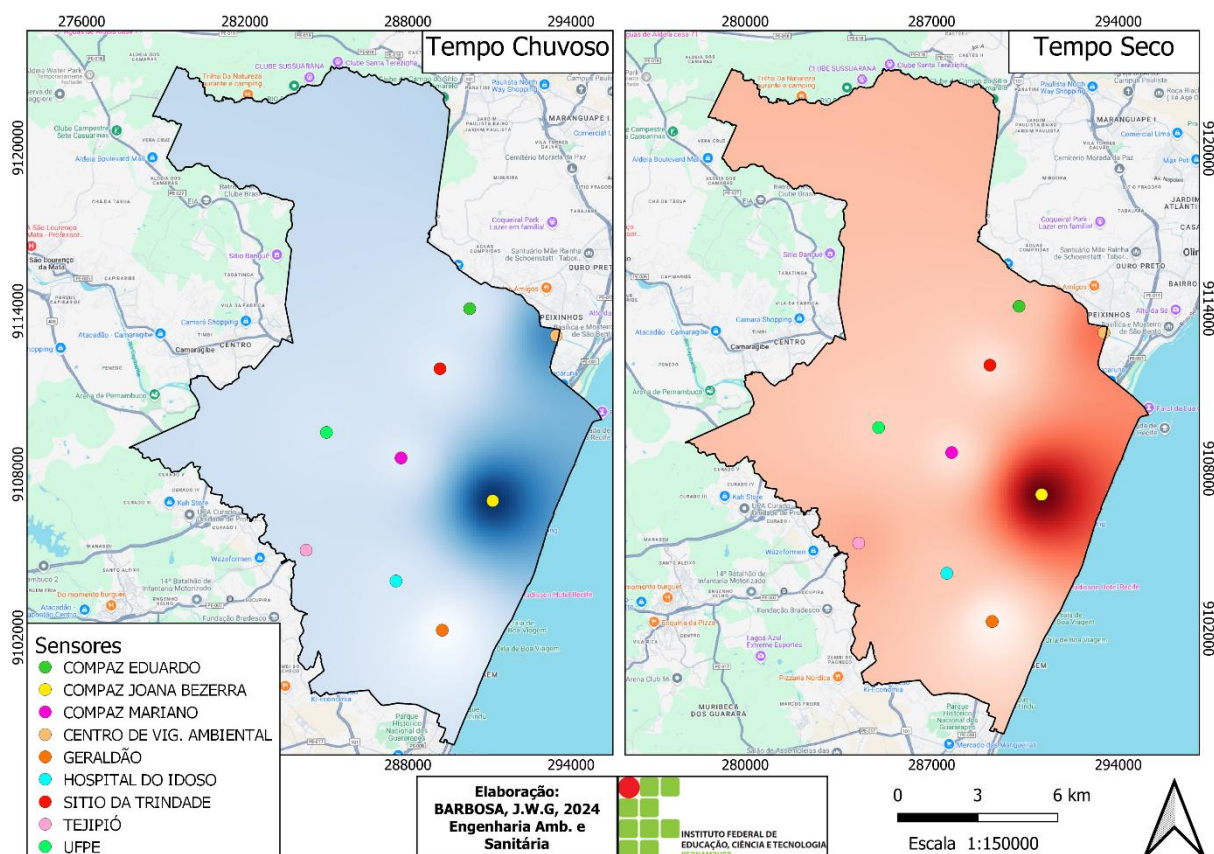


Figura 41: Distribuição Espacial Das Concentrações de MP_{2,5}.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O MP_{2,5}, apresentou um padrão semelhante ao MP_{1,0}, com concentrações reduzidas no tempo chuvoso devido ao efeito de remoção por precipitação. Já no tempo seco, os valores aumentaram consideravelmente, com acúmulo mais intenso na área litorânea e em pontos próximos a vias de grande circulação.

O Compaz Joana Bezerra está situado próximo a vias arteriais, como a Avenida Conde da Boa Vista e a Avenida João de Barros, que são de grande circulação e desempenham um papel central na mobilidade urbana do centro de Recife. Essas vias têm grande fluxo de veículos e pessoas, o que facilita o acesso ao equipamento, mas também resulta em congestionamentos e poluição atmosférica. A figura 42 apresenta com detalhes a paisagem urbana no entorno da Ilha da Joana Bezerra.

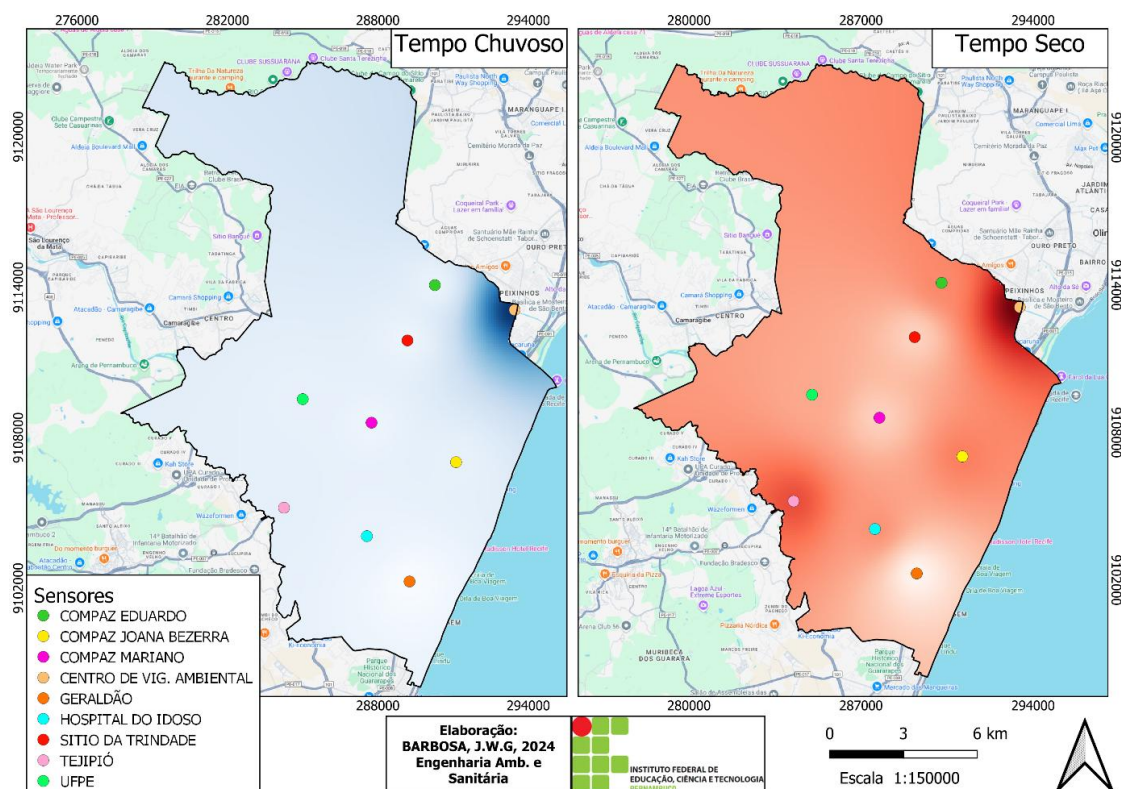


Figura 43: Distribuição Espacial Das Concentrações de MP10.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Próximo a vias movimentadas como a Avenida Caxangá e a Avenida José Estelita, o Hospital do Idoso é de fácil acesso, mas o alto volume de tráfego e congestionamentos colaboram para o aumento da poluição atmosférica na região.

Localizado na Zona Norte de Recife, o Compaz Eduardo Campos se beneficia da proximidade com vias como a Avenida Norte e a Avenida Professor José dos Santos, que são importantes para a mobilidade regional. Contudo, essas avenidas com alto tráfego também geram congestionamentos e aumentam a poluição atmosférica, especialmente devido à alta circulação de veículos.

Em Tejipió, as principais vias de acesso, como a Avenida Belmino Correia e a Avenida José de Souza Cavaignac, têm grande fluxo de veículos, especialmente em horários de pico. O zoneamento da área prioriza o uso residencial de interesse social e comércio local, mas a intensa circulação de veículos pode gerar congestionamentos e afetar a qualidade do ar.

Compaz Ariano Suassuna, localizado no bairro do cordeiro, sofre influência direta do intenso fluxo de veículos nas avenidas Caxangá e Abdias de Carvalho. O

Sítio da Trindade, situado entre a Avenida Norte e a Estrada do Arraial, também é impactado pela movimentação dessa via. Da mesma forma o Compaz Eduardo Campos, localizado em um trecho da Avenida Norte. A UFPE, enfrenta o tráfego da BR-101, BR-232 e Avenida Caxangá, importantes vias que contribuem para elevação de poluentes na região. Assim como Tejipió que sofre influência direta da BR - 232 e da PE- 007.

6 CONSIDERAÇÕES

Conforme os padrões da resolução CONAMA nº 506/2024, utilizados para essa análise, os limites estabelecidos são de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10 e 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2,5 em um período de 24 horas. Para as médias anuais, os valores de referência são de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10 e 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2,5. No caso do MP1,0, não há norma vigente que permita a comparação, tanto para as médias diárias quanto anuais.

Os resultados indicam que a média anual de poluentes no Recife ficou abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, tanto no período seco quanto no período chuvoso. Os valores médios anuais de 3,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP1,0, 5,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2,5 e 11,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10.

No período seco as médias diárias variaram entre 2,79 e 4,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP1,0, 4,51 e 8,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2 e 8,71 e 20,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10. Já no período chuvoso, as médias variaram entre 2,02 e 4,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP1,0, 3,59 e 10,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2,5 e 7,03 e 23,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10. Estes dados indicam que a cidade apresenta uma qualidade do ar considerada boa, mesmo com ocorrência de picos de emissão acima dos limites definidos na legislação ambiental.

O mapa de calor gerado para os materiais particulados permitiu a visualização da distribuição espacial das concentrações, destacando áreas críticas onde os níveis de poluição são mais elevados. Esses agrupamentos facilitam a identificação dos padrões de dispersão e acúmulo de partículas, auxiliando na definição de medidas de controle e mitigação da poluição do ar nos diversos bairros do Recife-PE.

REFERÊNCIAS

AIRES. **Qualidade do ar em ambientes externos**. [S. l.]: Aires Consultoria Ambiental, 2019. Disponível em: <https://www.aires.com.br/servicos/qualidade-do-ar-em-ambientes-externos/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. APAC esclarece por que agosto é considerado o mês dos ventos. **APAC**, Recife, 7 ago. 2019. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/noticias/23-noticias/meteorologia/104-apac-esclarece-porque-agosto-e-considerado-o-mes-dos-ventos>. Acesso em: 31 nov. 2024.

ARAUJO, J. M. de; ROSÁRIO, N. M. Évora do. Atmospheric pollution associated with particulate matter in the state of são paulo: an analysis from satellite data. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 1, p. 32–47, 2020. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/552. Acesso em: 30 jan. 2025.

ANJOS, R. S.; WANDERLEY, L. S. de A.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 018–034, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/242040>. Acesso em: 12 dez. 2024.

ÁLVARES JUNIOR., O. M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada para cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2001. Disponível em: https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/gases_efeito_estufa.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARROS, H. R. de; LOMBARDO, M. A. Zoneamento climático urbano da cidade do recife: uma contribuição ao planejamento urbano. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, Brasil, v. 17, n. 1, p. 186–197, 2013. Disponível em: <https://revistas.usp.br/geousp/article/view/74310>. Acesso em: 8 jan. 2025.

BARRY, R.G; CHORLEY, R.J. **Atmosfera Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BOUHILA, Z.; AZLI, T.; BOUKHADRA, D.; HADRI, A.; BAYOU, N.; MAZOUZI, C. Assessment of elemental composition in Algiers - Algeria, using instrumental neutron activation analysis on different environmental samples of lichens and tree barks. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 329, n. 3, p. 1301–1311, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-021-07891-w#citeas>. Acesso em: 15 fev. 2025.

BRANDÃO, Paulo Victor Rocha. **Estudo da dispersão atmosférica de poluentes originários da frota veicular em Salvador–BA**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/32663>. Acesso em: 2 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cidades Sustentáveis – Qualidade do Ar: Perguntas frequentes**. [S. l.]: MMA, [2024?]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/perguntasfrequent.html?catid=10#:~:text=Poluentes%20prim%C3%A1rios%20s%C3%A3o%20os%20contaminantes,hidrocarbonetos%2C%20alde%C3%ADdos%20e%20outros>). Acesso em: 22 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar**. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/qualidade-ambiental-e-meio-ambiente-urbano/qualidade-do-ar/guia-tecnico-para-o-monitoramento-e-avaliacao-da-qualidade-do-ar.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2024.

BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHMAL, M. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel-a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Química Nova**, v. 27, p. 472-482, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/vG7RHJHrHTTcRnSCmHqvYCj/?lang=pt>. Acesso em: 14 dez. 2024.

BUDDE, M.; SCHWARZ, A.; MULLER, T.; LAQUAI, B.; STREIBL, N.; SCHINDLER, G.; RIEDEL, T.; DITTLER, A.; BEIGL, M. Potential and limitations of the low-cost SDS011 particle sensor for monitoring urban air quality. **ProScience**, v. 5, n. 6, p. 12, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Achim-Dittler-2/publication/329809390_Potential_and_Limitations_of_the_Low-Cost_SDS011_Particle_Sensor_for_Monitoring_Urban_Air_Quality/links/5c2745bc299bf12be3a05133/Potential-and-Limitations-of-the-Low-Cost-SDS011-Particle-Sensor-for-Monitoring-Urban-Air-Quality.pdf. Acesso em: 23 nov. 2024.

C40 Cities Climate Leadership Group, Inc. **C40 CITIES ANNUAL REPORT 2019**. C40 CITIES, 2019. Disponível em: <https://www.c40.org/pt/about-c40/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CALLEGARO, R. M.; ANDRZEJEWSKI, C.; GOMES, D. R.; TURCHETTO, F.; MEZZOMO, J. C.; GRIEBELER, A. Efeitos da chuva ácida em recursos florestais. **Revista do Departamento de Biologia da Universidade de Santa Cruz do Sul**, n. 3, p. 13-20, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/228489132.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2025.

CARDOSO, R. K. de O. A.; SILINGARDI, H. M. T.; CARDOSO, A. A. Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 4, p. 382-385, 2020. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc42_4/12-EEQ-64-19.pdf. Acesso em: 8 nov. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 9 jul. 2024. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=827. Acesso em: 12 nov. 2024.

DU, Y.; XU, X.; CHU, M.; GUO, Y.; WANG, J. Air particulate matter and cardiovascular disease: the epidemiological, biomedical and clinical evidence. **Journal of thoracic disease**, v. 8, n. 1, p. E8, 2016. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4740122/>. Acesso em 17 fev. 2025.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. Poluição Atmosférica. **Eduspace**, 2013. Disponível em: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_PT/SEM1DEMJ74G_0.html. Acesso em: 11 nov. 2024.

IQAIR. **Guia e manuais dos monitores de qualidade do ar – Série AirVisual**. [S. l.]: IQAir, [2022]. Disponível em: <https://www.iqair.com/air-quality-monitors/guides-manuals>. Acesso em: 14 nov. 2024.

FERNANDES, A. R. **Análise da qualidade do ar e preocupações com a saúde**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Porto, Portugal, 2017. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/c1f57aa383eda6f55fad1eb8811d7443/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 18 nov. 2024.

FREITAS, A. de M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP10 e MP2, 5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. **Química Nova**, v. 32, p. 1750-1754, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262708603_Characterization_of_PM10_and_PM25_and_size_distribution_of_chloride_nitrate_and_sulphate_in_urban_and_rural_atmospheres_of_Londrina. Acesso em: 4 fev. 2025.

KARAGULIAN, F.; BARBIERE, M.; KOTSEV, A.; SPINELLE, L.; GERBOLES, M.; LAGLER, F.; REDON, N.; CRUNAIRE, S.; BOROWIAK, A. Review of the Performance of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring. **Atmosphere**, v. 10, n. 9, p. 506, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/9/506>. Acesso em: 15 jan. 2025.

KUULA, J.; MÄKELÄ, T.; AURELA, M.; TEINILÄ, K.; VARJONEN, S.; GONZÁLEZ, Ó.; TIMONEN, H. Laboratory evaluation of particle size-selectivity of optical low-cost particulate matter sensors. **Atmospheric Measurement Techniques**, v. 13, n. 5, p. 2413-2423, 2019. Disponível em: <https://amt.copernicus.org/articles/13/2413/2020/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

LIN, Y. C.; LAI, C.Y.; CHU, C. P. Air pollution diffusion simulation and seasonal spatial risk analysis for industrial areas. **Environmental Research**, v. 194, p. 110693, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347932959_Air_pollution_diffusion_simulati

on_and_seasonal_spatial_risk_analysis_for_industrial_areas. Acesso em: 30 nov. 2024.

LINS, E. A. M.; PAIVA, S. C.; SILVA, L. R. A.; BATISTA, R. H. S. Análise da qualidade da água de chuva e simulação de possíveis impactos ambientais em laboratório: estudo de caso. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.4, p.439-448, 2021. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.004.0034>. Acesso em: 6 fev. 2025.

LIMA, K. M. G.; RAIMUNDO, I. M.; SILVA, A. M. S.; PIMENTEL, M. F. Sensores ópticos com detecção no infravermelho próximo e médio. **Química Nova**, v. 32, p. 1635-1643, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/GJctQLQ46TTw5v3fCmK3JCm/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MARI, Maria Mônica Piovesan. **Monitoramento da qualidade do ar interior em um arquivo cartorário na cidade de Ribeirão Preto/SP, visando saúde humana e conservação do acervo**. 2022. 127 f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unaerp.br/handle/12345/458>. Acesso em: 29 jan. 2025.

MENDES, T. G. de L.; FERREIRA, R. M. A.; PEREIRA, T. de M.; DUARTE, C. C.; NÓBREGA, R. S. Avaliação de poluentes atmosféricos na região metropolitana do recife: um estudo de caso em áreas urbanas nos bairros do recife-pe. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 15, 2023, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enanpege/2023/TRABALHO_COMPLETO_EV187_MD6_ID1909_TB1214_10112023104139.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F (Ed). **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas**: Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: INPE, 2011. Disponível em: https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/relatorio-final/megacidades_RMSP.pdf. Acesso em: 12 jan. 2025.

OLIVEIRA, B. F. **Comparação de bases de dados relacionais com bases de dados temporais para armazenamento de rasters**, 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática) - Universidade NOVA de Lisboa, Portugal, 2023. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/32abad406eeb19d2ddc5523b38d8195c/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 3 fev. 2025.

PANACHUKI, E.; ILDEGADIS, B.; SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 35, p. 1777-1786, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/HCFXC9G366tJ6hgdvrfsvPd/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2025.

PERNAMBUCO. Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco - CPRH. **Rede de Monitoramento de Qualidade do Ar**. [S. l.]: CPRH, [2025?]. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/monitoramento-ambiental/qualidade-do-ar-2/rede-de-monitoramento/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

PERNAMBUCO. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Pernambuco 2015 – 2020**. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2020. Disponível em: <https://semas.pe.gov.br/inventario-de-gee/>. Acesso em: 22 out. 2024.

RECIFE. Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Informações Geográficas do Recife (ESIG)**. [2018]. 1 mapa online interativo. Disponível em: <https://esigportal2.recife.pe.gov.br/portal/apps/sites/#/esig>. Acesso em: 29 jan. 2025.

REIS, A. K.; JESUS, A. M. L.; NEVES, R. L. das; SILVA, A. S. da. Liquens como bioindicadores da qualidade do ar de Posto da Mata (BA). **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 1, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/589>. Acesso em: 3 fev. 2025.

RÊGO, M. Poluição e risco para saúde: saiba as principais doenças relacionadas ao ambiente poluído. **Ministério da educação**, Brasília 14 ago. 2024, 17:53. Disponível em: <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/comunicacao/noticias/poluicao-e-risco-para-saude-saiba-as-principais-doencas-relacionadas-ao-ambiente-poluido>. Acesso em: 29 nov. 2024.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2020.

SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Emissão veicular**. São Paulo: CETESB, [2024?]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>. Acesso em: 22 out. 2024.

SILVA, E. A.; BRAGA, M.; VILAGRA, S. M. B. W.; MIRANDA, J. A.; MIRANDA, F. H. F.; PORROZZI, R. Influência da qualidade do ar dentro das Políticas Públicas de Saúde. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 5, n. 1esp, p. 56, 2018. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/2430>. Acesso em: 23 out. 2024.

VALENTINI, S.; BARNABA, F.; BERNARDONI, V.; CALZOLAI, G.; COSTABILE, F.; DI LIBERTO, L.; FORELLO, A. C.; GOBBI, G. P.; GUALTIERI, M.; LUCARELLI, F.; NAVA, S.; PETRALIA, E.; VALLI, G.; WIEDENSOHLER, A.; VECCHI, R. Classifying aerosol particles through the combination of optical and physical-chemical properties: Results from a wintertime campaign in Rome (Italy). **Atmospheric Research**, v. 235, p. 104799, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169809519310282>. Acesso em: 6 fev. 2025.

VORMITTAG, E.M.P.A.A.; CIRQUEIRA, S.S.R.; NETO, H.W.; SALDIVA, P.H.N. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35,

n. 102, p. 7-30, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/fbCFjRbBRhf4M5F6xQVrbfR/>. Acesso em: 28 jan. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **How air pollution is destroying our health**. [S. l.]: WHO, [2018?]. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>. Acesso em: 22 out. 2024.