



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E GEOCIÊNCIAS - IEG
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - PCeT**

DOMINGAS DE OLIVEIRA ALMEIDA

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR POR MEIO DE UM SENSOR DE
BAIXO CUSTO NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM/PA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Santarém – PA
2023**

DOMINGAS DE OLIVEIRA ALMEIDA

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR POR MEIO DE UM SENSOR DE
BAIXO CUSTO NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM/PA**

Trabalho de conclusão de curso – TCC apresentado ao Programa de Ciência e Tecnologia para obtenção do grau de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ana Carla dos Santos Gomes.

**Santarém – PA
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

A447m Almeida, Domingas de Oliveira
Monitoramento da qualidade do ar por meio de um sensor de baixo custo no município de Santarém/PA./ Domingas de Oliveira Almeida. - Santarém, 2023.
47 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientadora: Ana Carla dos Santos Gomes.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Programa de Ciência e Tecnologia, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

1. Poluição. 2. Material particulado. 3. Bairros. 4. Comunidades. I. Gomes, Ana Carla dos Santos Gomes, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 363.7392

DOMINGAS DE OLIVEIRA ALMEIDA

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR POR MEIO DE UM SENSOR DE
BAIXO CUSTO NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM/PA**

Trabalho de conclusão de curso – TCC apresentado ao Programa de Ciência e Tecnologia para obtenção do grau de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Carla dos Santos Gomes.

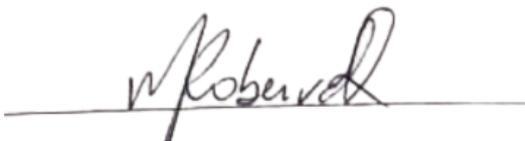
Conceito: 9,5

Data de Aprovação: 11/07/2023

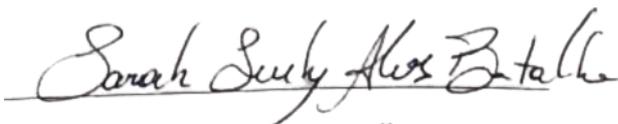
BANCA EXAMINADORA:



Dr^a. Ana Carla dos Santos Gomes- Orientadora.
Universidade Federal do Oeste do Pará



Dr. Manoel Roberval Pimentel Santos
Universidade Federal do Oeste do Pará



Dr^a Sarah Suely Alves Batalha
Escola de Ensino Técnico do Estado do Pará Francisco Coimbra Lobato

Aos meus pais, Domingos e Zelene, aos meus irmãos por todo o apoio incondicional para que eu pudesse alcançar a formação superior.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a minha família, em especial a meus pais, Domingos e Zelene e aos meus irmãos, Débora, Daniela, Daiana e João Neto, sou imensamente grata por confiarem em mim desde o início e me encorajarem a perseguir meus sonhos, por todo amor, compreensão e ajuda que obtive, sem vocês nada disso seria possível.

Agradeço imensamente a minha orientadora Ana Carla que desempenhou um papel fundamental nessa jornada, sua disponibilidade e apoio a me guiar pelos caminhos da pesquisa e do conhecimento foram essenciais, não só pela finalização desse trabalho, mas também por me ensinar lições que vou levar para meu crescimento pessoal e acadêmico, com toda certeza você foi um ser transformador em minha vida.

Agradeço ao meu namorado Peterson Vinícius por sempre apoiar minhas escolhas. Obrigada por acreditar em mim, por todo amor, compreensão e companheirismo e por celebrar cada conquista comigo.

Aos meus preciosos amigos Hevellym, Gabriel, Gabriele e Andreyana, vocês são uma bênção em minha vida, obrigada por toda ajuda que me deram. Todo apoio mútuo e presença constante foram essenciais durante toda a minha jornada acadêmica. Compartilhamos momentos de estudo, angústia e celebração, e tenho imensa gratidão por ter vivido esses momentos com vocês.

A todos os meus professores, em especial ao professor Lázaro pelos seus valiosos ensinamentos.

Ao projeto “Cuidadores do Ar” pela oportunidade de adquirir conhecimentos que contribuíram para a minha vida acadêmica.

A Universidade Federal do Oeste do Pará pela oportunidade da graduação de forma gratuita, pela educação de qualidade e por todas as experiências enriquecedoras ao longo desses anos.

Agradeço a todos que me ajudaram para a conclusão desse ciclo.

RESUMO

A poluição do ar é um dos problemas ambientais mais graves e amplamente discutidos do mundo moderno. Trata-se de uma mistura de partículas, gases e vapores nocivos que poluem a atmosfera e têm efeitos desastrosos na saúde humana e no meio ambiente. As mudanças climáticas afetam a vida de todos os habitantes do globo e até mesmo aqueles que vivem na floresta não estão isentos dessa influência. Diante disso este estudo tem como objetivo realizar o monitoramento da qualidade do ar, por meio das concentrações de Material Particulado fino ($PM_{2,5}$), detectado em um sensor de baixo custo, no município de Santarém (PA). Para este trabalho foram selecionados 5 pontos de coleta com dados do mês de novembro de 2022. Os resultados mostram que a comunidade Ramal dos Coelho apresentou o valor de $1.000 (\mu g/m^3)$ nos dias 26 e 27 – o maior valor registrado entre os 5 pontos discutidos, seguida da Vila de Alter do Chão e do bairro Maracanã, que registraram o valor aproximado de $650 (\mu g/m^3)$ nos dias 01, 02 e 11 de novembro respectivamente. No bairro Caranazal, o maior valor foi de aproximadamente $350 (\mu g/m^3)$ no dia 6 e, por último, a comunidade São Pedro apresentou o valor de $250 (\mu g/m^3)$ no dia 19. Além disso, o ponto que apresentou a maior ocorrência do particulado em análise foi o bairro Maracanã. Em conclusão, destaca-se a importância da coleta da qualidade do ar na região, tendo em vista que a partir de informações de um mês houve variações significativas nos níveis de $PM_{2,5}$ entre os diferentes locais, e também existem boas expectativas para o desenvolvimento de sensores comerciais de baixo custo visto que os resultados obtidos se mostraram promissores.

Palavras chaves: Poluição. Material Particulado. Bairros. Comunidades.

ABSTRACT

Air pollution is one of the most serious and widely discussed environmental problems in the modern world. It is a mixture of harmful particles, gases and vapors that pollute the atmosphere and cause disastrous effects on human health and the environment. Climate change affects the lives of all inhabitants of the globe and even those who live in the forest are not exempt from this influence. Therefore, this study aims to monitor air quality through the concentrations of fine particulate matter (PM_{2,5}), detected in a low-cost sensor in the municipality of Santarém (PA). For this work, 5 collection points were selected with data from the month of November 2022. The results show that the Ramal dos Coelhos community had a value of 1,000 (µg/m³) on the 26th and 27th days - the highest value recorded among the 5 discussed points, followed by Vila de Alter do Chão and Maracanã neighborhood, which registered an approximate value of 650 (µg/m³) on the 1th, 2th, and 11th days of november, respectively. In the Caranazal neighborhood, the highest value was approximately 350 (µg/m³) on the 6th day, and finally, the São Pedro community had a value of 250 (µg/m³) on the 19th. Furthermore, the location with the highest occurrence of the analyzed particulate matter was the Maracanã neighborhood. In conclusion, the importance of air quality monitoring in the region is emphasized, considering that significant variations in PM_{2,5} levels were observed among different locations based on one month of information. There are also promising prospects for the development of low-cost commercial sensors, given the encouraging results obtained.

Keywords: Pollution. Particulate Matter. Neighborhoods. Communities

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Tempo de residência e formas de remoção de partículas da atmosfera.....	21
Figura 2- Componentes do sensor SDS011.....	23
Figura 3- Sensor SDS011.....	23
Figura 4 - Elementos que compõem a placa Arduino.....	25
Figura 5 - Localização do município de Santarém (PA).....	26
Figura 6- Localização dos 25 kits de monitoramento do Projeto “Cuidadores do Ar” no município de Santarém (PA).....	27
Figura 7- Circuito esquemático elétrico do kit de monitoramento de qualidade do ar.....	28
Figura 8 - Kit de monitoramento da qualidade do ar com os sensores SDS011, MQ-135 e AM2302 em um Arduino Uno.....	29
Figura 9-Cartão de memória usado para obtenção dos dados no Kit de Monitoramento o Ar.....	30
Figura 10- Saída de dados do kit de monitoramento do ar.....	30
Figura 11- Estrutura de um boxplot.....	32
Figura 12- Pontos selecionados para análise estatística.....	33
Figura 13- Comportamento do PM _{2,5} no bairro Caranazal no mês de novembro de 2022.....	34
Figura 14- Comportamento do PM _{2,5} com filtro em 70 (µg/m ³) no bairro Caranazal no mês de novembro de 2022.....	34
Figura 15- Comportamento do PM _{2,5} no bairro Maracanã no mês de novembro de 2022.....	35
Figura 16- Comportamento do PM _{2,5} com filtro em 70 (µg/m ³) no bairro Maracanã no mês de novembro de 2022.....	35
Figura 17- Comportamento do PM _{2,5} na comunidade Ramal dos Coelhos no mês de novembro de 2022.....	36
Figura 18- Comportamento do PM _{2,5} com filtro em 70 (µg/m ³) na comunidade Ramal dos Coelhos no mês de novembro de 2022.....	36
Figura 19- Comportamento do PM _{2,5} na comunidade São Pedro no mês de novembro de 2022.....	37
Figura 20- Comportamento do PM _{2,5} com filtro em 70 (µg/m ³) na comunidade São Pedro no mês de novembro de 2022.....	37
Figura 21- Comportamento do PM _{2,5} na Vila de Alter do Chão no mês de novembro de 2022.....	39
Figura 22- Comportamento do PM _{2,5} com filtro de 70 (µg/m ³). na Vila de Alter do Chão no mês de novembro de 2022.....	39

Figura 23- Concentração do PM_{2,5} nos bairros selecionados no mês de novembro de 2022... 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número de estações de monitoramento da qualidade do ar para os estados.....	15
Tabela 2- Estrutura do índice da qualidade do ar.	19
Tabela 3- Características do sensor SDS011 utilizado para o monitoramento do PM _{2.5}	24
Tabela 4- Pontos onde localiza-se os kits de monitoramento do projeto.	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FMC	Fumaça
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	<i>Integrated Developmed Environment</i>
ISS	Instituto Saúde e Sustentabilidade
LCS	<i>Low-Cost Sensors</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OMS	Organização Mundial da Saúde
PM	<i>Particulate Matters</i>
PM ₁₀	Partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micrômetros
PM _{2,5}	Partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SDHC	<i>SD High Capacity</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa	16
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo Geral	16
1.2.2. Objetivos Específicos	16
1.3. Estrutura do Trabalho	17
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
2.1. Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil.....	18
2.2. Material Particulado	20
2.2.1. Partículas Inaláveis PM ₁₀ e PM _{2,5}	21
2.3. Sensores de Baixo Custo	22
2.3.1. Sensor SDS011	22
2.3.2. Trabalhos Relacionados.....	23
2.3.3. Arduino Uno	24
3. METODOLOGIA ABORDADA	26
3.1. Área de Estudo.....	26
3.2. Coleta de dados	26
3.2.1. Projeto Cuidadores do Ar	26
3.2.2. Estrutura do Kit de Monitoramento.....	28
3.2.3. Saída de dados	29
3.2.4. Tratamento dos dados.....	30
3.3. Estatística Descritiva	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
6. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021), poluição do ar é a contaminação do ambiente interno ou externo por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera. A qualidade do ar tem se tornado uma preocupação em várias partes do mundo, especialmente em países em desenvolvimento, onde os níveis de poluentes excedem os limites estabelecidos para garantir a qualidade do ar (PINTO *et al.*, 2014). A poluição atmosférica e as mudanças do clima são umas das maiores ameaças ambientais a saúde. Melhorar a qualidade do ar pode ajudar os esforços de mitigação da mudança do clima (WHO, 2021).

Ao longo dos anos, tem ocorrido um aumento na degradação da qualidade do ar na região amazônica devido ao crescimento industrial, aumento do transporte, ocorrência de queimadas e violações de barreiras de proteção ambiental (GOMES, 2020). O principal poluente do ar na região é o dióxido de enxofre (SO₂), seguido de óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas inaláveis¹ (PM_{2,5} e PM₁₀) (CARDOSO; FONSECA, 2016). Esses poluentes são responsáveis pelo aumento da poluição do ar na Amazônia, causando danos à biodiversidade e à qualidade do ar (DIAS *et al.*, 2016). Além disso, esse tipo de poluição tem sido associado a problemas de saúde, como doenças respiratórias, cardíacas e alergias (LIMA *et al.*, 2019).

A poluição do ar no ambiente urbano consiste em componentes gasosos e particulado. O primeiro inclui ozônio (O₃), compostos orgânicos voláteis (COVs), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (GLENCROSS *et al.*, 2020). O particulado é o poluente mais estudado e pode ter origem primária ou secundária. Ele varia em quantidade, tamanho, forma, área de superfície e composição química, dependendo do local onde são geradas e da fonte que os emite (LIMA *et al.*, 2019). Esse fenômeno ocorre devido à utilização de combustíveis fósseis, queima de biomassa, produção de amônia na agricultura e emissões provenientes de construções e pavimentação (TORRES, 2020).

Os gases como Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano (CH₄) provenientes de fatores antropogênicos são extremamente prejudiciais a saúde humana e influenciam diretamente as alterações na temperatura mundial (MOREIRA *et al.*, 2015). Assim, é crucial contar com um sistema de monitoramento da qualidade do ar, pois ele permite medir as concentrações de

¹Grupo de substâncias de poluentes constituídos de poeiras, fumaça e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa do seu pequeno tamanho. Padroniza-se o uso da sigla PM devido ao termo do inglês *Particulate Matters*. Essas partículas podem variar em tamanho, comumente referenciadas como PM₁₀ (partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micrômetros) e PM_{2,5} (partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros).

poluentes atmosféricos, fornece informações sobre as condições atuais do ar, cria um histórico de dados e capacita os responsáveis pelas tomadas de decisões (VORMITTAG *et al.*, 2021).

De acordo com Vormittag *et al.* (2021), o Brasil dispõe de 371 estações de monitoramento da qualidade do ar ativas, dentro de um total de 430 estações no país. As regiões Norte e Nordeste são pouco representadas neste monitoramento, apenas um estado em cada uma delas (Acre e Pernambuco), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Número de estações de monitoramento da qualidade do ar para os estados.

UFs Estações	Totais	Ativas	Região			
			Metropolitana	Interior	Públicas	Privadas
Acre (AC)	31	31	2	29	29	2
Distrito Federal (DF)	4	4	2	2	4	0
Espírito Santo (ES)	17	15	9	6	9	6
Goiás (GO)	2	2	2	0	2	0
Minas Gerais (MG)	32	32	13	19	0	32
Mato Grosso do Sul (MS)	4	3	0	3	0	3
Pernambuco (PE)	4	4	0	0	1	3
Paraná (PR)	18	16	9	7	16	0
Rio de Janeiro (RJ)	203	161	105	56	65	96
Rio Grande do Sul (RS)	22	13	8	5	2	11
São Paulo (SP)	93	90	41	49	90	0
TOTAL	430	371	191	176	218	153

Fonte: Adaptado de VORMITTAG *et al.* (2021).

Um sistema de referência de monitoramento, é a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), onde possui estações medidoras na Região metropolitana de São Paulo e no interior do litoral do estado, e estações móveis.

Grandes cidades em países desenvolvidos geralmente possuem uma rede de estações de monitoramento de referência que monitoram a qualidade do ar em tempo real. No entanto, os elevados custos de instalação e manutenção de estações de monitorização de referência resultam num monitoramento relativamente esparsos, que fornece dados precisos mas apenas em alguns locais, satisfazendo os requisitos legislativos mas não fornecendo informações sobre gradientes localizados de potencial importância para a proteção da saúde. Além disso, em cidades menores ou em regiões subdesenvolvidas, tais estações de monitoramento da qualidade do ar podem não existir (CASTELL *et al.*, 2017, p.294).

Para realizar o monitoramento, especialmente da concentração de material particulado, é necessário estações de medição que envolvem tecnologia avançada e complexa, resultando em um alto custo (SILVA *et al.*, 2021). Castell *et al.* (2017) afirmam que os

equipamentos são relativamente grandes, pesados e caros, com preços variando entre R\$27.700,00 (vinte e sete mil e setecentos reais) e R\$166.200,00 (cento e sessenta e seis mil e duzentos reais) por dispositivo. E também estão sujeitas a rotinas rígidas de manutenção e calibração de seus instrumentos.

1.1. Justificativa

Percebe-se que no Brasil ainda há uma lacuna significativa no que diz respeito ao monitoramento da qualidade do ar, especialmente na região Norte. Essa região enfrenta uma escassez de estações de monitoramento, considerando ainda a extensa área territorial e a presença de importantes centros urbanos (SILVA; VIEIRA, 2017). A adoção de sensores de baixo custo pode ser uma alternativa para reduzir a carência de dados do monitoramento da poluição do ar, além de possibilitar uma maior cobertura espacial, especialmente em áreas remotas onde o uso de equipamentos convencionais é mais complexo (CASTELL *et al.*, 2017). Tendo em vista a carência de monitoramento de dados da qualidade do ar na região norte do Brasil, em especial dados de material particulado $PM_{2,5}$, este estudo propõe analisar a coleta de dados através de um sensor de baixo custo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar o monitoramento da qualidade do ar, por meio das concentrações de Material Particulado fino ($PM_{2,5}$), detectado em um sensor de baixo custo, no município de Santarém – PA.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão de literatura relacionada ao monitoramento da qualidade do ar na região norte do Brasil;
- Avaliar a concentração de partículas inaláveis finas em cinco bairros e comunidades pertencentes à rede de monitoramento do projeto “Cuidadores do Ar”;
- Analisar as séries de dados a partir da linguagem de programação;

- Apresentar a caracterização das condições de qualidade do ar em pontos da área urbana e rural de Santarém, no período de transição climática.

1.3. Estrutura do Trabalho

Este trabalho segue a seguinte estrutura: No capítulo 1 são tratadas as considerações iniciais do presente estudo, com uma breve contextualização quanto o tema. O capítulo 2 contém uma revisão de literatura, destacando estudos relacionados ao tema abordado. No capítulo 3, é detalhada a metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho, incluindo as ferramentas utilizadas. O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões obtidas, enquanto o capítulo 5 traz as conclusões alcançadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Monitoramento da qualidade do ar no Brasil

As atividades humanas que liberam substâncias na atmosfera capazes, de afetar a qualidade do ar, têm suas raízes na descoberta do fogo pelos antigos seres humanos. As emissões provenientes da atividade humana foram amplificadas desde a época da Revolução Industrial, devido ao aumento da necessidade de fontes de energia e ao uso predominante de combustíveis fósseis. Os efeitos decorrentes de ações individuais ou de pequenos grupos, inicialmente são de difícil percepção, porém, tornam-se evidentes quando ocorrem em grandes aglomerações (SILVA; VIEIRA, 2017).

No Brasil, acredita-se que a administração da qualidade do ar teve início com a implementação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e as Resoluções nº5/1989 e nº3/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essas resoluções estabeleceram o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) visando direcionar e regular a poluição do ar no país, foram adotadas medidas normativas abrangentes. Essas medidas incluem a criação de critérios de referência para a qualidade do ar e as emissões provenientes de fontes poluentes, a implementação de políticas preventivas para evitar a degradação da qualidade do ar, a criação de uma rede nacional para monitorar a qualidade do ar e a elaboração de inventários detalhados das principais fontes e poluentes atmosféricos, responsável por supervisionar e melhorar a qualidade do ar no país.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (2012), a conscientização acerca da poluição atmosférica intensificou-se na década de 1970, uma época caracterizada por um notável crescimento econômico e industrial. Nesse período, as grandes cidades, como São Paulo, Cubatão e Porto Alegre, enfrentaram graves problemas de poluição do ar, evidenciando a necessidade de se adotar políticas públicas abrangentes sobre o assunto. Após vinte anos da edição do PRONAR, o Ministério do Meio Ambiente, ao realizar uma avaliação crítica acerca de seus resultados, concluiu que houve poucos ganhos na gestão da qualidade do ar no país decorrentes do programa (Brasil, 2009).

Em 19 de novembro de 2018 os padrões da qualidade do ar no país começaram a ser estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018, que revogou e substituiu a Resolução CONAMA nº 3/1990. De acordo com a referida Resolução, o padrão de qualidade do ar é um elemento essencial na gestão da qualidade do ar, definido como um nível de

concentração de um poluente específico na atmosfera, juntamente com um período de exposição, com o objetivo de proteger o meio ambiente e a saúde da população contra os efeitos prejudiciais da poluição do ar (MMA).

Os elementos especificados pela legislação ambiental como sujeitos a regulação são os seguintes: partículas em suspensão, fumaça, partículas respiráveis (PM₁₀ e PM_{2,5}), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio(O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e chumbo (Pb).

Desde 2013, a qualidade do ar tem sido avaliada por meio de um sistema de índices que são calculados para cada poluente medido. Esses índices representam valores adimensionais e, com base neles, o ar recebe uma classificação em termos de qualificação e uma cor correspondente. Essa classificação da qualidade do ar é apresentada na tabela 2:

Tabela 2: Estruturado do índice de qualidade do ar.

Qualidade	Índice	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂
		(µg/m ³) 24 horas	(µg/m ³) 24 horas	(µg/m ³) 24 horas	(ppm) 8 horas	(µg/m ³) 1 hora	(µg/m ³) 24 horas
N1 – Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 – Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 – 240	>20 – 40
N3 – Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 – 320	>40 – 365
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>365 – 800
N5 – Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: Adaptado da Companhia Estadual do Estado de São Paulo (CETESB, 2023).

Segundo Vormittag *et al.* (2021), em 2014, o Instituto Saúde e Sustentabilidade (ISS) realizou uma investigação sobre a situação da rede de monitoramento da qualidade do ar no país, com base no acesso às informações disponibilizadas nos websites dos órgãos ambientais estaduais. Os resultados revelaram que apenas 1,7% dos municípios possuíam monitoramento do ar, e essa cobertura era concentrada em 40% 11 de 27 das unidades federativas, a saber: Bahia, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe.

Conforme apontado, a ausência de padrões nacionais mais rigorosos representa uma questão preocupante em termos de saúde pública para a sociedade, exigindo ações

governamentais no sentido de estabelecer legislações atualizadas e em conformidade com os padrões internacionais (SILVA; VIEIRA, 2017).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2018), uma rede de monitoramento da qualidade do ar tem dois principais objetivos quando busca cumprir a legislação atual:

1. Avaliar a extensão da exposição da população aos poluentes presentes no ar, levando em conta os padrões de saúde pública; e
2. Acompanhar tendências de médio e longo prazo para verificar a eficácia dos programas de controle, avaliando a necessidade de aprimoramentos.

Além disso, as redes de monitoramento podem abranger outros propósitos e abordagens, de acordo com demandas específicas, com o objetivo de aprofundar a compreensão da situação local. Essas necessidades podem envolver a coleta de dados e informações relacionadas aos fatores que afetam a qualidade do ar, bem como os efeitos da concentração de poluentes em populações vulneráveis, na fauna, na vegetação, nas culturas agrícolas e nos materiais, entre outras variáveis relevantes.

Considerando os efeitos prejudiciais tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente, é crucial expandir o monitoramento da qualidade do ar para abranger uma variedade de áreas. É ideal que o projeto de uma rede de monitorização seja capaz de fornecer um alto volume de informações a um custo mínimo, evitando qualquer duplicação de dados (LACAVA, 2003). Essa abordagem ampla é essencial para coletar dados que possam auxiliar na formulação de medidas destinadas a reduzir os riscos relacionados à saúde e mitigar os impactos na natureza.

Sensores/monitores acessíveis de poluentes atmosféricos são tecnologias que têm o potencial de trazer uma transformação significativa na maneira como monitoramos a qualidade do ar. Essas tecnologias oferecem uma melhoria significativa na coleta de dados espaciais e temporais, o que permite responder a perguntas científicas e aplicar essas informações de forma útil (MORAWSKA *et al.*, 2018).

2.2. Material Particulado

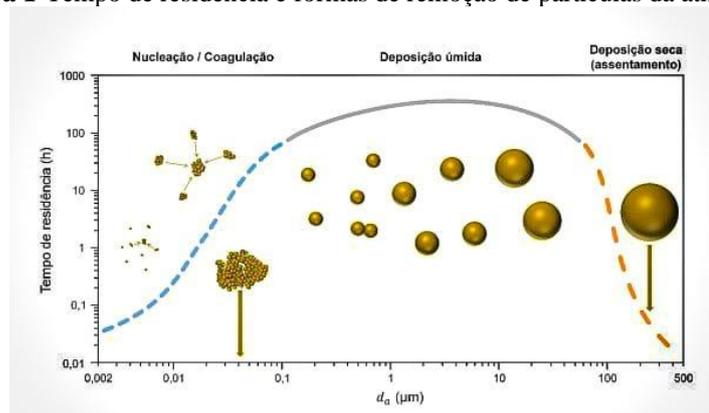
De acordo com a CETESB (2023), o termo "Material Particulado" engloba diferentes poluentes, como Material Particulado (PM), Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PM₁₀), Partículas Inaláveis Finas (PM_{2,5}) e Fumaça (FMC). Esses

poluentes consistem em uma variedade de substâncias sólidas e líquidas, como poeiras e fumaças, que permanecem suspensas na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho.

Como já discutida anteriormente as principais fontes de liberação de partículas para a atmosfera incluem veículos motorizados, processos industriais, queima de biomassa e ressuspensão de poeira do solo, entre outras. Além disso, o material particulado também pode se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), os quais são emitidos principalmente durante atividades de combustão. Esses gases passam por reações químicas no ar e se transformam em partículas.

Dentro dos parâmetros estabelecidos pela sedimentação por deposição seca e pela coagulação, apenas partículas com um tamanho específico serão adequadamente dispersas na atmosfera (Figura 1).

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



Fonte: (BRITO; ALMEIDA, 2018 p.1338, VanLoon; Duffy,2000).

A linha pontilhada azul indica o intervalo de tamanhos das partículas que serão eliminadas devido à coagulação, enquanto a linha pontilhada laranja, à direita, representa a remoção das partículas por meio do assentamento. A deposição úmida é o processo principal que remove essas partículas da atmosfera. (BRITO; ALMEIDA, 2018).

2.2.1. Partículas inaláveis (PM₁₀ e PM_{2,5})

A menor dimensão das partículas presentes no PM atmosférico é aproximadamente 0,002 μm , enquanto que as partículas maiores chegam a cerca de 100 μm como mostrado na figura 1.

O material particulado PM₁₀ são partículas que tem um tamanho aerodinâmico igual ou menor a 10 μm . Com base na distribuição de tamanhos na faixa de 0 a 10 μm , algumas

podem ficar presas na parte superior do sistema respiratório, enquanto outras podem penetrar mais profundamente, chegando aos alvéolos pulmonares. As últimas diretrizes da qualidade do ar OMS (2021) recomendam o limite de concentração de média anual de $15 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$; média de 24 horas: $45 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ para o PM_{10} .

O material particulado $\text{PM}_{2,5}$ podem ser resumidas como aquelas partículas com um tamanho aerodinâmico igual ou menor a $2,5 \text{ } \mu\text{m}$. Devido ao seu tamanho pequeno, elas conseguem penetrar profundamente no sistema respiratório, podendo alcançar os alvéolos pulmonares. As últimas diretrizes da qualidade do ar OMS (2021) recomendam o limite de concentração de média anual ($5 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) média de 24 horas: $15 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ para o $\text{PM}_{2,5}$.

2.3. Sensores de Baixo Custo

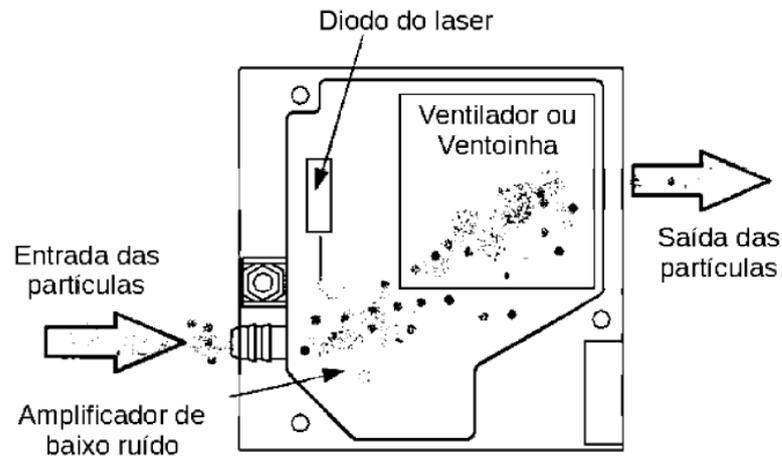
Os sensores de baixo custo, conhecidos como "*Low Cost Sensors (LCS)*", estão se tornando objetos de estudo cada vez mais importantes e têm despertado um interesse crescente por parte da comunidade científica. Especificamente na área de pesquisa sobre monitoramento da qualidade do ar, essas tecnologias têm sido alvo de investigações significativas (GAMBOA, 2021).

A maioria dos sensores de baixo custo consiste apenas no sensor em si, exigindo a integração de um microcontrolador como sistema de aquisição de dados (QIAN *et al.*, 2018).

2.3.1. Sensor SDS011

O Sensor SDS011 é empregado na detecção de Material Particulado $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} . Sua tecnologia baseia-se na teoria de difração de laser, na qual a distribuição de densidade das partículas é determinada por meio da análise dos padrões de distribuição da intensidade da luz (GENIKOMSAKIS *et al.*, 2018). O objetivo do dispositivo é coletar dados de forma portátil (Figura 2). Ele é composto por um controlador de placa única que inclui recursos de registro de dados, um módulo GPS e um sensor óptico PM comercial conhecido como *Laser* $\text{PM}_{2,5}$.

Figura 2: Componentes do sensor SDS011.



Fonte: (Traduzido de Genikomsakis *et al.* (2018)).

O sensor possui uma saída digital e é equipado com um ventilador interno, permitindo a medição da distribuição da densidade de partículas no intervalo de 0,3 a 10 μm (LIU *et al.*, 2018). O SDS011 é um Sensor de Qualidade do Ar recente desenvolvido pela Nova Fitness, uma *spin-off* da universidade de Jinan (em Shandong) na China, o mesmo mede $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} na faixa de 0,0 a 999,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e tem erro relativo máximo de $\pm 15\%$ a 25 $^{\circ}\text{C}$ e 50% de umidade relativa, segundo o fabricante. (Figura 3).

Figura 3- Sensor SDS011.



Fonte: aqicn.org.

Para (BADURA *et al.*, 2018) os sensores ópticos PM possuem uma vantagem adicional em relação ao baixo consumo de energia, uma vez que operam com uma tensão de alimentação de apenas 5 V e sua corrente de trabalho normalmente é inferior a 250 mA (Tabela 3). Além disso, esses sensores são relativamente pequenos e leves, permitindo coletar dados de saída com alta frequência. Devido a essas características, eles se tornam excelentes candidatos para a criação de redes de sensores amplamente distribuídas.

Tabela 3: Característica do sensor SDS011 utilizado para o monitoramento do PM_{2,5}.

Modelo do Sensor	SDS011
Fabricante	Nova Fitness
Preço aproximado (\$)	20
Dimensões (mm)	71x7x23
Peso aproximado	50
Tensão de alimentação (V)	5
Corrente de trabalho (mA)	220
Faixa de tamanho detectável (µm)	0,3 - 10
Caixas de tamanho	Não disponível
PM estimado x Concentração	PM _{2,5} e PM ₁₀
Faixa de concentração (µg/m³)	0-999,9

Fonte: Adaptado de (BADURA *et al.*, 2018).

2.3.2. Trabalhos Relacionados

Recentemente, notou-se um aumento significativo no interesse em pesquisas sobre a criação de Sistemas de Monitoramento de Poluentes do Ar (APMSs) portáteis e acessíveis, capazes de fornecer informações detalhadas sobre as emissões causadas pelo tráfego em regiões urbanas (GENIKOMSAKIS *et al.*, 2018).

O sensor SDS011 (Nova Fitness) tem sido amplamente utilizado em diversas partes do mundo. Segundo uma pesquisa feita por Budde *et al.* (2018), onde foi feita a avaliação do potencial e as limitações desse sensor de baixo custo no monitoramento da qualidade do ar urbano, verificou-se que o SDS011 é capaz de registrar com alta precisão as dinâmicas de poeiras finas ao longo do tempo. As leituras de PM_{2,5} também se mostraram promissoras, especialmente para detecção de PM de fundo. Além disso, o sensor demonstrou notável estabilidade considerando seu custo acessível.

De acordo com um estudo feito por Badura *et al.* (2018), para a avaliação de sensores de baixo custo para monitoramento ambiente (PM_{2,5}), onde houve uma avaliação comparativa envolvendo quatro tipos de sensores, PM SDS011 (Nova Fitness), ZH03A (Winsen), PMS7003 (Plantower) e OPC-N2 (Alphasense) e o analisador TEOM 1400a demonstrou que os sensores ópticos de PM geralmente seguem a tendência de mudanças de PM_{2,5} do ar atmosférico. No entanto observou-se que alguns picos temporários para os dados brutos de curto prazo. O Sensor SDS011 (Nova Fitness) e o PMS7003 (Plantower) foram os mais precisos em termos de reprodutibilidade entre as unidades. Recurso útil quando uma grande quantidade de sensores for utilizada.

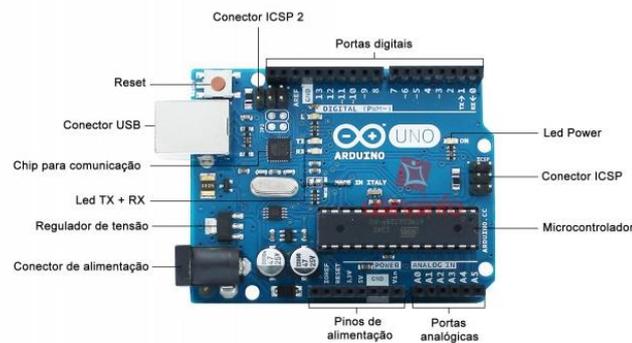
TAGLE *et al.* (2020), ao examinar o desempenho de um sensor de material particulado IoT de baixo custo (PM₁₀ e PM_{2,5}) no ambiente urbano de Santiago, Chile. Onde o

protótipo foi montado a partir do sensor SDS011 (PM₁₀ e PM_{2,5}), um sensor de temperatura e umidade relativa (BME280) e uma placa IoT (ESP8266/Node MCU). Os sensores em cada local foram operados em paralelo com monitores contínuos de qualidade do ar de referência (BAM 1020 e TEOM 1400) e um amostrador baseado em filtro (Partisol 2000i). Foi concluído que no geral, o protótipo avaliado apresentou desempenho adequado e pode ser potencialmente adequado para monitorar médias diárias de PM_{2,5} após correção para UR.

2.3.3. Arduino Uno

De um ponto de vista conceitual, o Arduino é uma plataforma de desenvolvimento eletrônico que permite a criação de protótipos. Essa plataforma é composta por uma placa que contém um microcontrolador chamado *atmega*, além de memória *flash* e portas analógicas e digitais (SOARES, 2018). A linguagem de programação utilizada para o Arduino é a C++, ele possui *hardware* e um ambiente de *software* que permite a programação desse dispositivo (Figura 4). Os sensores são conectados na placa o *Integrated Development Environment* (IDE) é para executar as rotinas na qual permite a execução da placa.

Figura 4 - Elementos que compõem a placa Arduino.



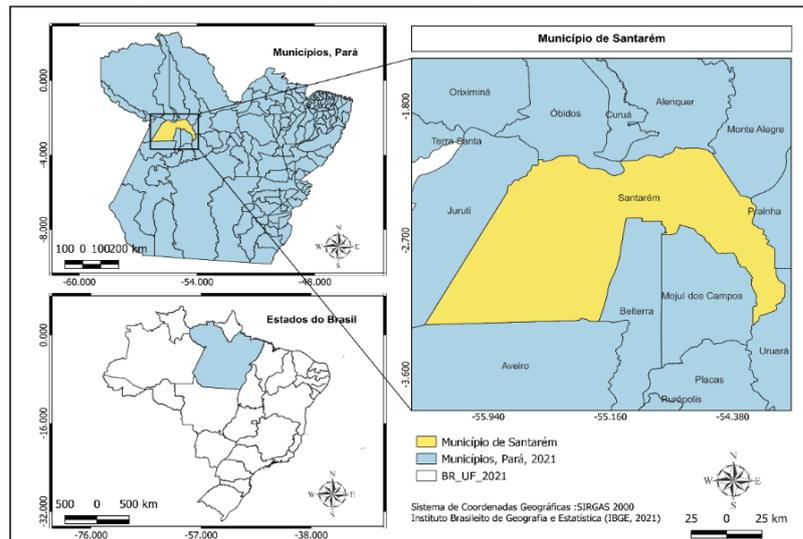
Fonte: equibancada.com.br

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

O município de Santarém (PA) tem uma área territorial de 17.898,389 km e população estimada de 331.937 pessoas, segundo o Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Com coordenadas -2.4397562189531024 (latitude) e -54.71731203509144 (longitude), a cidade pertence a Mesorregião do Baixo Amazonas e ficou conhecida como a “Pérola do Tapajós”. Santarém é o principal centro urbano financeiro, comercial e cultural do oeste do estado do Pará, seu clima é considerado quente e úmido (UCHOA, 2011) (Figura 5).

Figura 5 - Localização do município de Santarém (PA).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3.2. Coleta de dados

A coleta de dados foi feita através do kit de monitoramento do Projeto Rede Piloto de Inovação no Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Oeste do Pará - “Cuidadores do Ar”.

3.2.1. Projeto Cuidadores do Ar

A rede de monitoramento do projeto está localizada no município de Santarém (PA) e é composta por 25 pontos de coleta (Figura 6).

Figura 6- Localização dos 25 kits de monitoramento do Projeto “Cuidadores do Ar” no município de Santarém (PA).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os pontos estão significativamente afastados, alguns localizados na área urbana e outros em comunidades na região periurbana. Na tabela 4 constam os bairros e comunidades onde estão sendo realizadas as coletas.

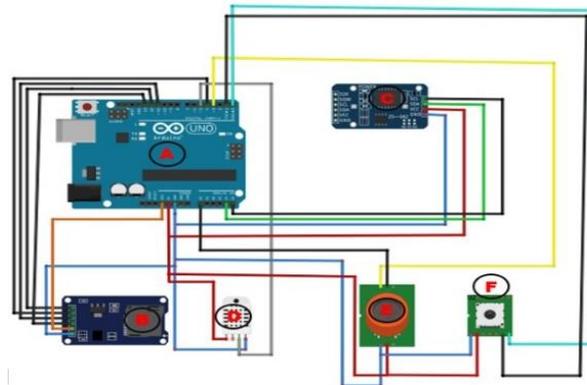
Tabela 4- Pontos onde localiza-se os kits de monitoramento do projeto.

Pontos	Bairro/Comunidade
1	Caranazal
2	Jardim Santarém
3	Alvorada
4	Maracanã
5	Ramal dos Coelho
6	São Pedro
7	Alter do Chão
8	Mojú dos Campos
9	São Cristóvão
10	Caranazal
11	Salvação
12	Santarenzinho
13	Interventoria
14	Amparo
15	Fátima
16	Interventoria
17	Nova Vitória
18	Alter do Chão
19	Santarenzinho
20	Maracanã 1
21	Jacundá - Alter do Chão
22	Cucurunã
23	Maracanã

3.2.2. Estrutura do Kit de monitoramento

Para facilitar a instalação dos sensores de baixo custo e outros componentes, foi utilizado um compartimento elétrico específico (Figura 7). Dentro desse compartimento, em uma das laterais externas, foram colocados o sensor AM2302 para medir temperatura e umidade, juntamente com o sensor MQ-135 para detectar gases tóxicos. Também foi inserido um tubo de plástico que permite um fluxo constante de ar para dentro do equipamento. No interior do compartimento, encontra-se o sensor de material particulado SDS011. Todos esses sensores foram conectados à plataforma de prototipagem Arduino Uno, que também está localizada dentro do compartimento, por meio de pequenos cabos condutores chamados *jumpers*.

Figura 7- Circuito esquemático elétrico do kit de monitoramento de qualidade do ar.



Fonte: Autores.

- A. Arduino Uno R3;
- B. Módulo de Cartão SD e Cartão de Memória;
- C. Real time clock RTC DS3231 com bateria 2032;
- D. Sensor de Umidade e Temperatura AM2302;
- E. Sensor de gás MQ-135;
- F. Sensor de Material Particulado SDS011

As variáveis identificadas na rede de monitoramento do projeto consistem em monitorar dados de gases tóxicos, material particulado $PM_{2,5}$ e PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), temperatura (

°C) e umidade relativa do ar (%) com os sensores SDS011, MQ-135 e AM2302 respectivamente, conectados em um Arduino uno como mostra a (figura 8).

Figura 8 - Kit de monitoramento da qualidade do ar com os sensores SDS011, MQ-135 e AM2302 em um Arduino Uno.



Fonte: Autores.

Os dados são obtidos através de um cartão de memória do tipo *SD High Capacity* (SDHC) com capacidade de armazenamento de 8GB e velocidade de leitura 20 *Megabytes* por segundo (figura 9).

Figura 9- Cartão de memória usado para obtenção dos dados no Kit de Monitoramento o Ar.



Fonte: autores.

3.2.3. Saída dos dados

A saída de dados dá-se em formato de texto (txt), na forma de dados brutos. A figura 10 mostra a estrutura dos dados do cartão SDHC do Kit de monitoramento. É importante ressaltar que a utilização de dados brutos em formato de texto requer etapas adicionais de processamento, como pré-processamento e limpeza dos registros, a fim de torná-los adequados para as análises específicas a serem realizadas. Essas etapas visam remover possíveis dados de inconsistências presentes nos dados brutos, garantindo assim a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos.

Figura 10- Saída de dados do kit de monitoramento do ar.

```

2022/11/1;7:5:22
Umidade: 77.1%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.20;P10: 14.10;
-----
2022/11/1;7:5:26
Umidade: 77.2%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.20;P10: 13.80;
-----
2022/11/1;7:5:30
Umidade: 77.2%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.10;P10: 13.90;
-----
2022/11/1;7:5:34
Umidade: 77.2%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.10;P10: 14.90;
-----
2022/11/1;7:5:38
Umidade: 77.2%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.30;P10: 15.70;
-----
2022/11/1;7:5:42
Umidade: 77.2%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.00;P10: 15.60;
-----
2022/11/1;7:5:46
Umidade: 77.3%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.80;P10: 14.90;
-----
2022/11/1;7:5:50
Umidade: 77.3%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.70;P10: 15.40;
-----
2022/11/1;7:5:55
Umidade: 77.3%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.70;P10: 15.50;
-----
2022/11/1;7:5:59
Umidade: 77.3%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.90;P10: 15.10;
-----
2022/11/1;7:6:3
Umidade: 77.2%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.60;P10: 13.70;
-----
2022/11/1;7:6:7
Umidade: 77.1%; Temperatura: 27.3°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.40;P10: 13.20;

```

Fonte: Autores (2023).

3.2.4. Tratamento dos dados

Para a elaboração dos gráficos foi feito o tratamento dos dados no *Python* versão 3.11. *Python* é uma linguagem de programação que compartilha características comuns a várias outras linguagens e é amplamente utilizada em aplicações do mundo real. Além disso, tem um *software* gratuito (YUILL; HALPIN, 2006).

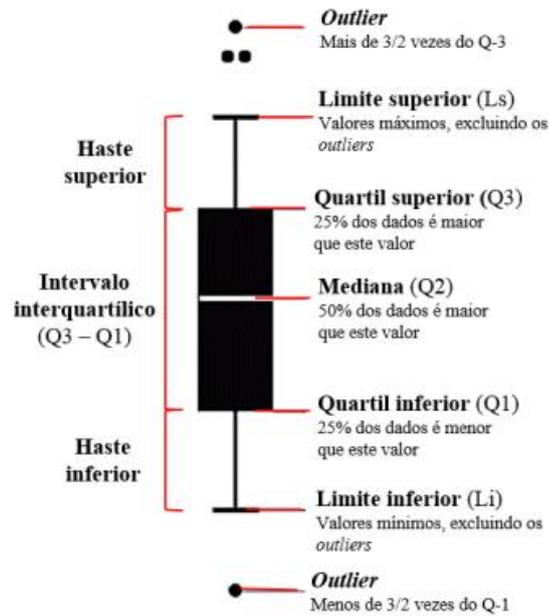
3.3. Estatística Descritiva

A análise descritiva foi feita usando a linguagem de programação *python* versão 3.11 para a elaboração dos *boxplots*. Gráficos de caixa são usados para exibir estatísticas resumidas de dados, como a mediana, o quartil, o mínimo e o máximo, em um formato visual. Eles são úteis para identificar tendências, detectar *outliers* (valores atípicos) e comparar distribuições de dados. Iniciando de um *boxplot* disposto verticalmente, tem-se (Figura 11):

- Eixo vertical - Apresenta os dados com valores numéricos;
- Eixo horizontal: Exibe a variável de interesse;
- Primeiro quartil (Q1): É uma medida estatística que indica o valor abaixo do qual se encontra aproximadamente 25% dos dados. Ele é representado pela linha inferior da caixa no gráfico do *boxplot*. O Q1 é também conhecido como quartil inferior ou 25º percentil.

- Mediana ou segundo quartil (Q2): Representa o valor central de um conjunto de dados. Ela divide a distribuição em duas partes iguais, com 50% dos valores abaixo e 50% acima dela. No gráfico do *boxplot*, a mediana é representada pela linha dentro da caixa;
- Terceiro quartil (Q3): Indica o valor abaixo do qual se encontra aproximadamente 75% dos dados. Ele é representado pela linha superior da caixa no gráfico do *boxplot*. O Q3 é também conhecido como quartil superior ou 75º percentil.
- Intervalo interquartílico (Q3 - Q1 ou IIQ): O intervalo interquartílico (IIQ) é uma medida estatística definida como a diferença entre o terceiro quartil (Q3) e o primeiro quartil (Q1). No gráfico do *boxplot*, o IIQ é representado pela largura da caixa. Ele se estende do Q1 ao Q3, correspondendo aos percentis 25º a 75º. O IIQ representa o intervalo que contém 50% dos dados em torno da mediana.
- O limite inferior, também conhecido como extremidade do "*whisker*" ou cerca inferior: é o valor mínimo do conjunto de dados. Ele é determinado multiplicando o IIQ (intervalo interquartílico) por 1,5 e subtraindo esse resultado do primeiro quartil (Q1). O limite inferior é usado para identificar os valores que estão dentro da faixa considerada "normal" e exclui os outliers e extremos que se encontram além desse limite.
- Limite superior, também conhecido como extremidade do "*whisker*" ou cerca superior: É o valor máximo do conjunto de dados. Ele é determinado multiplicando o IIQ (intervalo interquartílico) por 1,5 e somando esse resultado ao terceiro quartil (Q3). O limite superior é usado para identificar os valores que estão dentro da faixa considerada "normal" e exclui os *outliers* e extremos que se encontram além desse limite.
- *Outliers*, ou valores atípicos: São aqueles que estão localizados acima ou abaixo de 1,5 vezes o IIQ (intervalo interquartílico). Em outras palavras, são valores que se encontram além da faixa considerada normal, indicando uma possível discrepância em relação ao restante dos dados.
- Extremos: São valores que estão acima ou abaixo de 2,5 vezes o IIQ (intervalo interquartílico), ou seja, duas vezes e meia a amplitude do intervalo interquartílico. Esses valores representam pontos extremamente fora da faixa considerada normal, indicando discrepâncias significativas em relação aos demais dados.

Figura 11- Estrutura de um *boxplot*.



Fonte : (NETO *et al*, 2017).

Os *boxplots* são uma ferramenta útil na análise de dados de poluentes atmosféricos, pois ajudam a visualizar e compreender a distribuição dos níveis de poluentes em uma determinada área. Eles são uma ferramenta eficaz para entender a qualidade do ar em determinadas áreas e identificar padrões relevantes para estudos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram selecionados dados de material particulado ($PM_{2,5}$) de 5 pontos da rede de monitoramento (Figura 12). Optou-se pelo mês de novembro, pois pertence ao período de transição, apresentando desta forma características de ambos os períodos climáticos (chuvoso e menos chuvoso) da região.

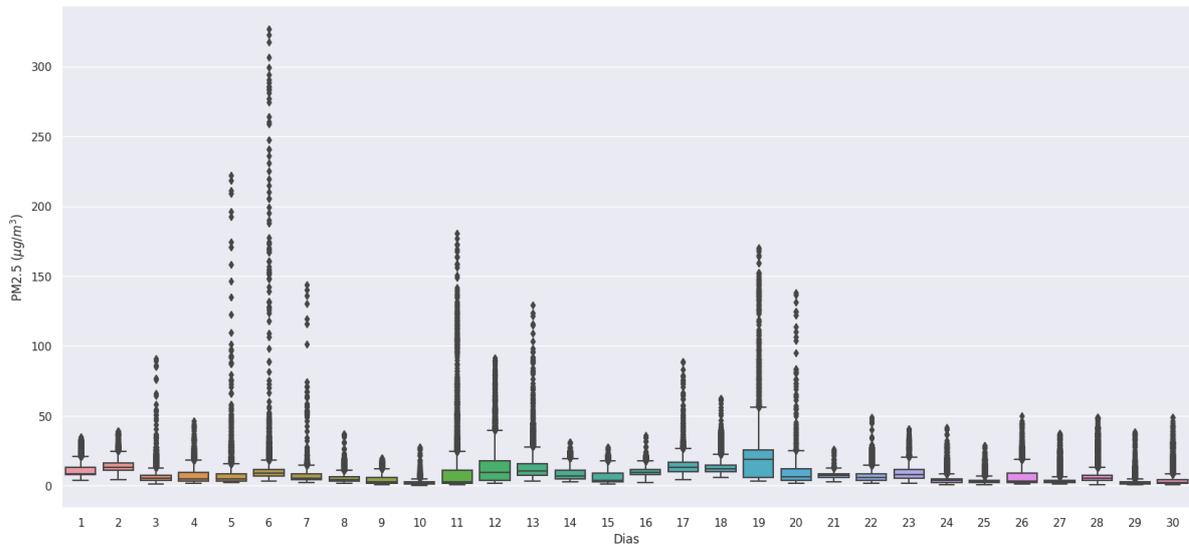
Figura 12- Pontos selecionados para análise estatística.



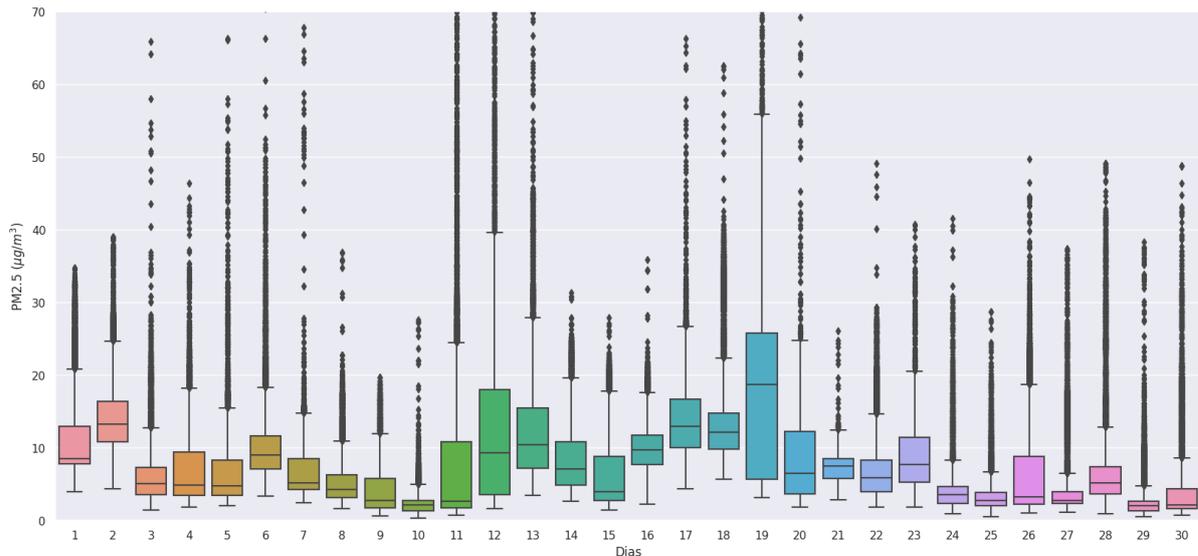
Fonte : Elaborado pelos autores (2023).

O bairro Caranazal é um dos 56 bairros da cidade de Santarém, representando aproximadamente 1,44% da população total, com cerca de 9.310 habitantes (OLIVEIRA, 2017). De acordo com Uchôa (2011), é um bairro populoso, com moradores de poder aquisitivo médio. Uma característica relevante dessa região é a presença de novas zonas comerciais, compostas por edifícios de alvenaria com telhados de barro e uso misto.

Ao analisar os dados mensais do material particulado $PM_{2,5}$ do bairro Caranazal, observa-se uma elevada variação, com a ocorrência de valores diários discrepantes. Notavelmente, o dia 6 registrou o maior valor, atingindo pouco mais de 350 ($\mu g/m^3$) (Figura 13). Para melhor visualização do tamanho das caixas no gráfico, foi aplicado um filtro de 70 ($\mu g/m^3$). Além disso, na Figura 14, é possível observar que os dias 19 e 29 apresentaram maior e menor variabilidade, respectivamente.

Figura 13- Comportamento do PM_{2,5} no bairro Caranazal no mês de novembro de 2022.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 14- Comportamento do PM_{2,5} com filtro em 70 (µg/m³) no bairro Caranazal no mês de novembro de 2022.

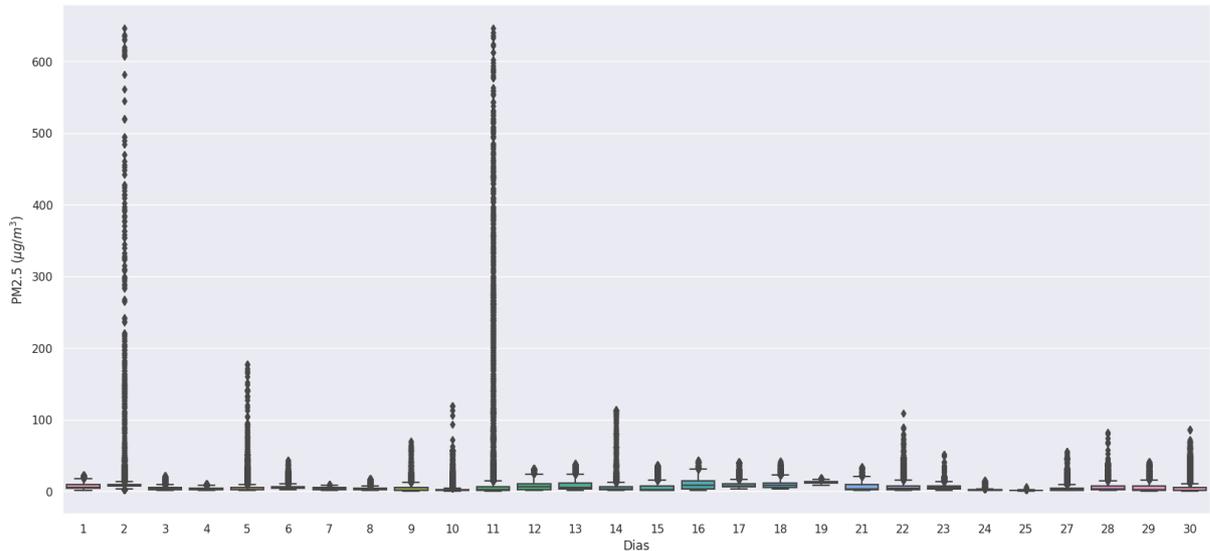
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O bairro Maracanã está localizado na grande área do Santarenzinho, situado entre as margens do Rio Tapajós, com coordenadas de latitude -2.4409585475177282 e longitude -54.7439559497543. O desenvolvimento desse bairro foi impulsionado pela construção do shopping Rio Tapajós. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o bairro é habitado por aproximadamente 3.695 mil pessoas, cerca de 1,20% da população de Santarém.

Ao analisar os dados monitorados, pode-se observar que as maiores concentrações de material particulado ocorreram no início do mês, nos dias 2 e 11, atingindo aproximadamente

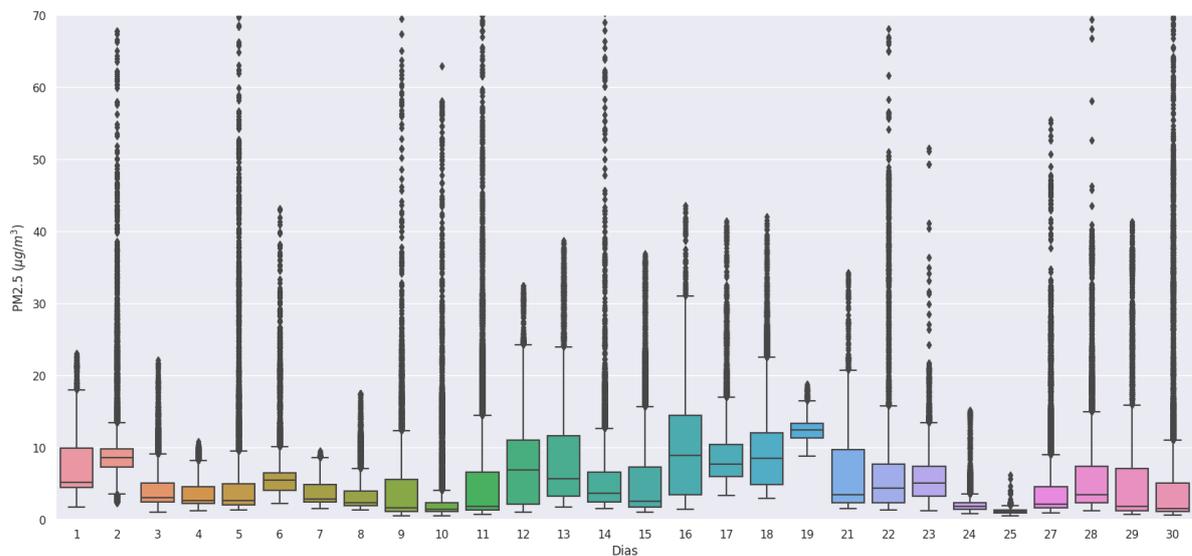
650 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 15). Aplicando um filtro de 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para melhor visualização, na Figura 16, destaca-se que os dias 16 e 25 apresentaram maior e menor variabilidade, respectivamente.

Figura 15- Comportamento do $\text{PM}_{2.5}$ no bairro Maracanã no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 16- Comportamento do $\text{PM}_{2.5}$ com filtro em 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no bairro Maracanã no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

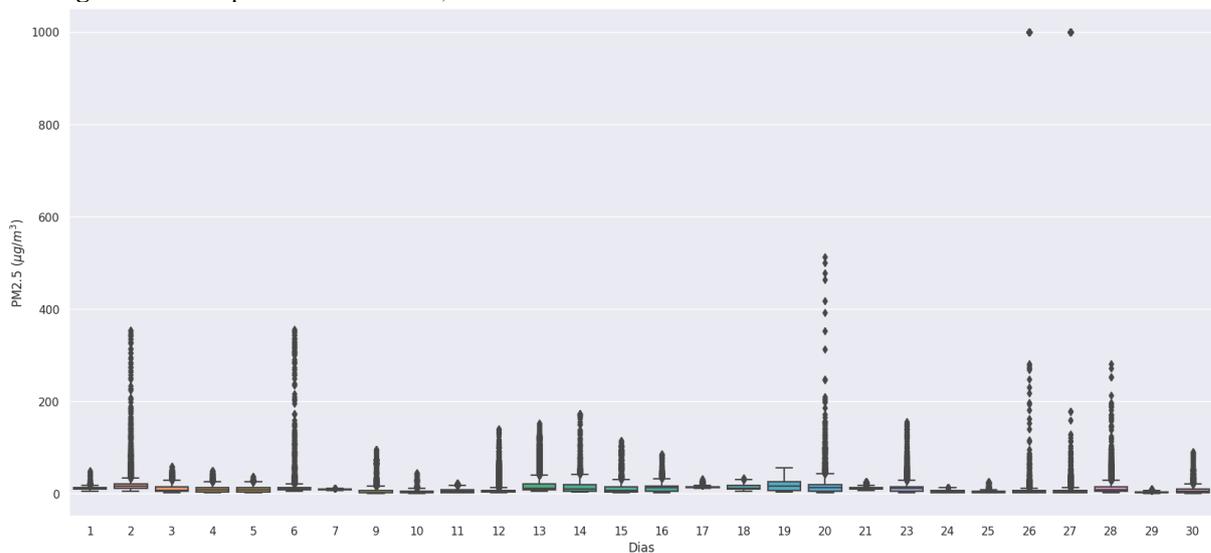
A comunidade Ramal dos Coelhos está situada nas coordenadas geográficas de latitude -2.462543881802721 e longitude -54.787798902981386. De acordo com os moradores, a comunidade existe há mais de 100 anos, mas foi oficializada como Ramal dos Coelhos há alguns anos, separando-se da comunidade Cucurunã. A comunidade é composta por aproximadamente 250 famílias, cuja principal fonte de renda provém das atividades agrícolas, pesca e produção de açaí.

Ao comparar com os pontos previamente mencionados, o monitoramento do $PM_{2,5}$ na comunidade Ramal dos Coelhos (Figura 17) apresenta menos valores discrepantes. No entanto, registrou-se uma concentração de $1.000 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ nos dias 26 e 27, sendo essa a maior concentração observada entre os cinco pontos discutidos neste trabalho. Uma hipótese levantada para justificar esse registro é a ocorrência de queimadas próximas ao local do equipamento de monitoramento.

De acordo com Silva (2013), o uso do fogo em áreas naturais e florestas é uma prática comum em regiões tropicais e subtropicais, especialmente nas áreas com uma estação seca mais pronunciada. Essa situação é observada em várias regiões do Brasil, principalmente na Amazônia.

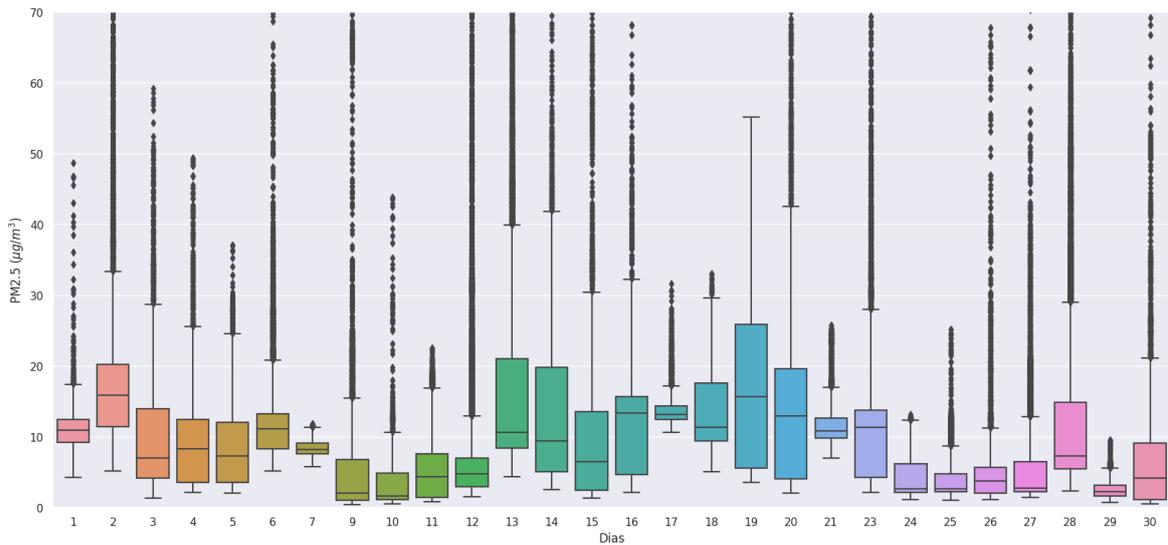
Ao observar a variação dos dados coletados, aplicando um filtro de $70 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ para melhor visualização (Figura 18), constata-se que, apesar de apresentar uma redução nos valores discrepantes em comparação aos outros pontos, houve uma elevada variabilidade nos dias 14, 19 e 20.

Figura 17- Comportamento do $PM_{2,5}$ na comunidade Ramal dos Coelhos no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 18- Comportamento do PM_{2,5} com filtro em 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na comunidade Ramal dos Coelhos no mês de novembro de 2022.

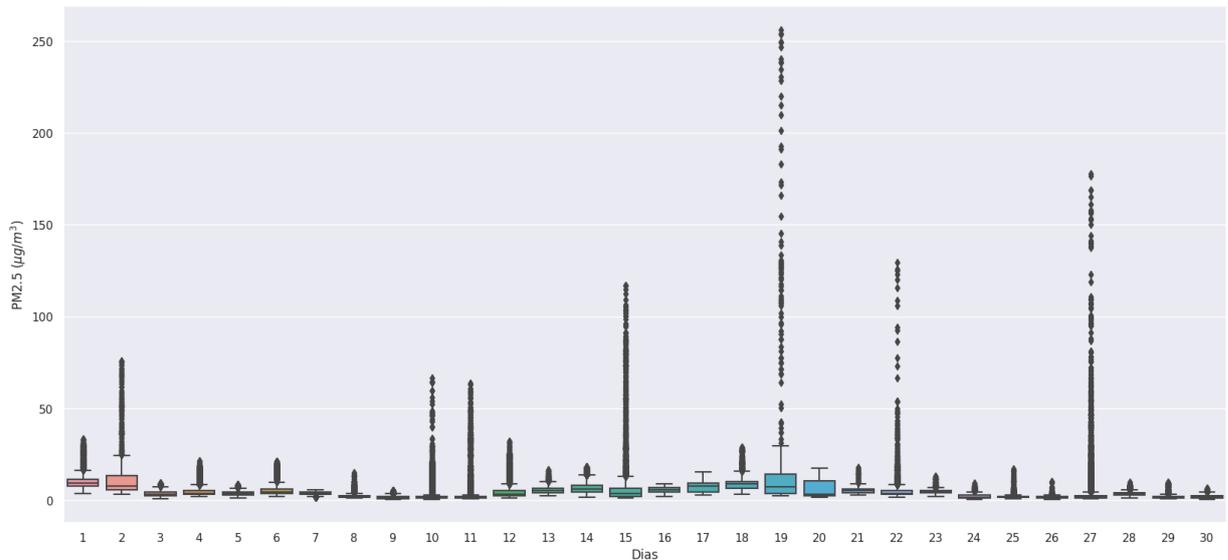


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A comunidade São Pedro, fundada em 20 de novembro de 1977, é composta por aproximadamente 90 famílias, cuja principal fonte de renda é a agricultura. Localizada próxima à Vila Alter do Chão, a cerca de 25 km de Santarém, o acesso é feito pela rodovia PA-457. As coordenadas geográficas do ponto onde está localizado o equipamento de monitoramento são - 2.5362080717167252 de latitude e -54.8778698679120823 de longitude.

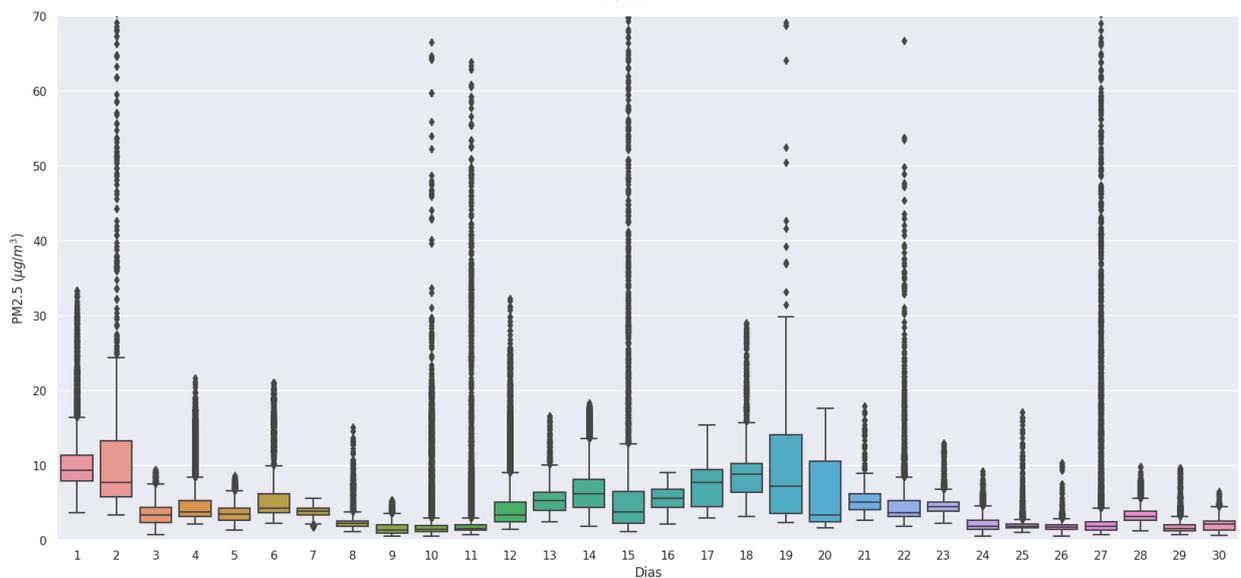
Na Figura 19, é possível observar que a maior concentração de partículas de PM_{2,5} ocorreu no dia 19, ultrapassando os 250 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Destacam-se também os dias 15, 22 e 27, nos quais foram registradas concentrações superiores a 100 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Na Figura 20, ao aplicar um filtro de 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), verifica-se que os dias 02, 06 e o período entre 12 e 22 apresentaram maior variabilidade nos dados coletados.

Figura 19- Comportamento do PM_{2,5} na comunidade São Pedro no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 20- Comportamento do PM_{2,5} com filtro em 70 (µg/m³) na comunidade São Pedro no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

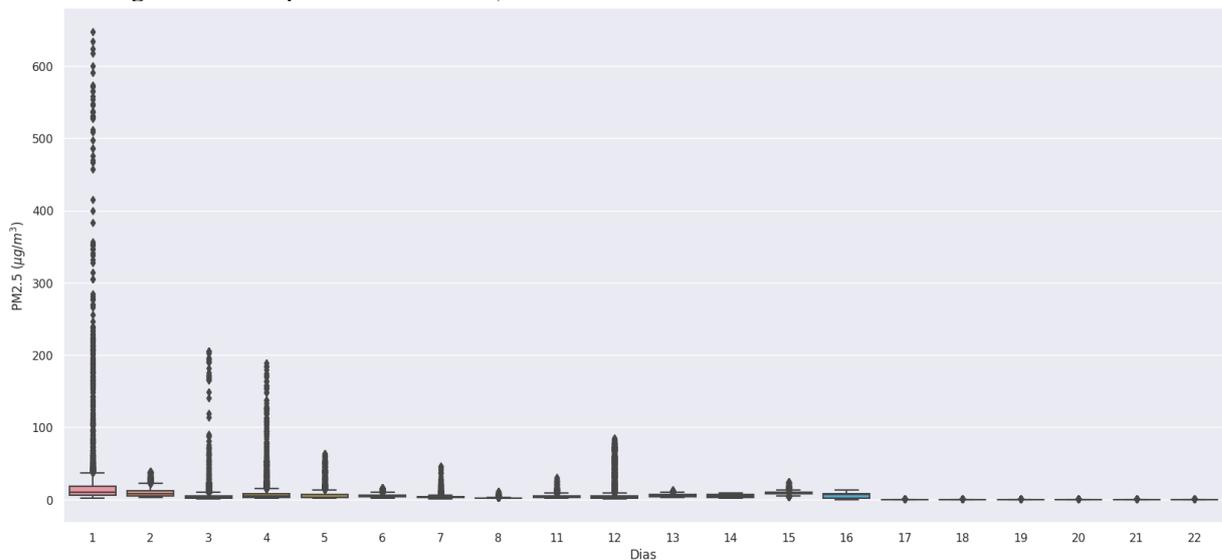
A Vila Alter do Chão está localizada às margens do Rio Tapajós, a 37 km do município de Santarém, com acesso pela via PA-457. É constituída por aproximadamente 6 mil habitantes, e sua principal fonte de renda é o turismo devido à sua popularidade entre os visitantes de Santarém, sendo conhecida como o "Caribe da Amazônia" (SILVA; GUIMARÃES, 2019)

A coleta de dados de PM_{2,5} em Alter do Chão durante o mês de novembro de 2022 ocorreu por 22 dias, devido a uma interrupção no equipamento de monitoramento causada pelo

entupimento do tubo de passagem de ar devido à presença de poeira e ninhos de insetos. Essa situação comprometeu a precisão dos dados coletados, resultando na falta de registro das informações durante os últimos 8 dias do mês.

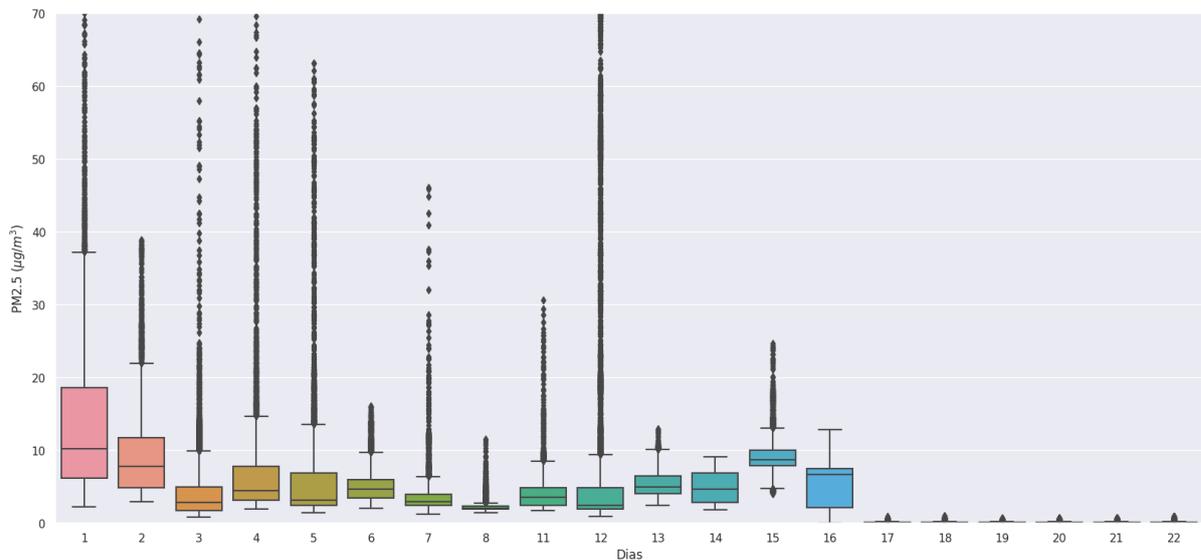
Em relação aos dados coletados, destaca-se o dia 01 como aquele com maior concentração, registrando um valor superior a 650 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (figura 21). Além disso, ao aplicar um filtro de 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), pode-se observar na Figura 22 a maior variabilidade nos dados, indicando flutuações significativas na concentração de partículas.

Figura 21- Comportamento do $\text{PM}_{2.5}$ na Vila de Alter do Chão no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 22- Comportamento do $\text{PM}_{2.5}$ com filtro de 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). na Vila de Alter do Chão no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De acordo com Reddington *et al* (2015), na Amazônia brasileira, os incêndios resultantes do desmatamento e da atividade humana, como agricultura e uso da terra, são as principais causas da concentração de poluentes atmosféricos. Essas práticas têm contribuído para a liberação de gases tóxicos e partículas finas, que poluem o ar e afetam a qualidade ambiental na Amazônia. A relação entre os incêndios e a presença de poluentes é amplamente reconhecida como um desafio significativo para a conservação da biodiversidade e a saúde dos ecossistemas. O material particulado presente nessa região tem a capacidade de se deslocar por longas distâncias, já que os ventos podem transportar a poluição para áreas distantes, afastadas das fontes de incêndio. (Barcellos *et al.*, 2019).

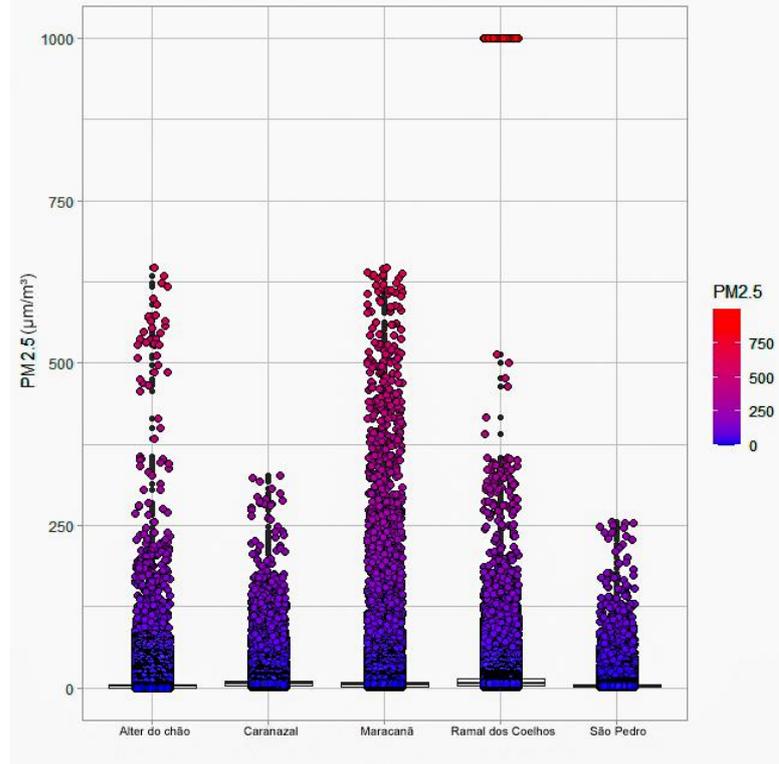
Para Castell *et al.* (2017) as perspectivas para os sensores comerciais de baixo custo são promissoras e já são capazes de oferecer informações relevantes sobre a qualidade do ar, dando indicações sobre a qualidade, classificando se está em bom estado, moderado ou altamente poluído. Essas informações são úteis em iniciativas que têm como objetivo conscientizar ou envolver a comunidade local por meio do monitoramento da qualidade do ar.

Ao utilizar sensores de baixo custo, é possível coletar dados em tempo real, permitindo uma análise mais precisa e atualizada da qualidade do ar em determinadas áreas. Isso possibilita uma abordagem mais proativa na mitigação da poluição atmosférica e na proteção da saúde pública. Pois, é possível analisar uma diferença significativa de concentração do poluente em estudo nos 5 pontos de coleta. No entanto, é importante ressaltar que os sensores comerciais de baixo custo podem apresentar algumas limitações em termos de precisão e confiabilidade quando comparados a instrumentos de monitoramento de alta precisão. Levando em conta o fato de que o SDS011 possui um custo bastante acessível e apresenta resultados satisfatórios na avaliação de desempenho, podemos concluir que ele possui um potencial significativo para ser utilizado (LIU *et al.*, 2019). A contínua evolução desses sensores, juntamente com o avanço da tecnologia, tem o potencial de expandir ainda mais sua aplicabilidade e eficácia na avaliação da qualidade do ar.

Ao comparar as concentrações nas cinco localidades, (figura 23), nota-se que a maior ocorrência de $PM_{2,5}$ aconteceu no bairro do Maracanã, no entanto a concentração mais elevada foi constatada na comunidade Ramal dos Coelho. O que sinaliza que a região monitorada apresenta diferentes fontes de poluição atmosférica. Ressalta-se que os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 491/2018, classifica o poluente $MP_{2,5}$ ($\mu g/m^3$) com qualidade péssima para concentrações superiores a 125 ($\mu g/m^3$), valor observado em diversos dias em todas as localidades mostradas.

Segundo a CETESB, (2023) o efeito à saúde da qualidade do ar classificada como péssima indica que toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares, além de aumentar o risco de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis. De acordo com Rocha (2022), as crianças e os idosos são os grupos mais vulneráveis à exposição à poluição atmosférica e sofrem os maiores impactos.

Figura 23- Concentração do $PM_{2.5}$ nos bairros selecionados no mês de novembro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos revelaram variações significativas nos níveis de $PM_{2,5}$ entre os locais estudados, ressaltando a heterogeneidade da poluição do ar nos locais. Esses resultados ressaltam a importância de estabelecer uma rede de monitoramento da qualidade do ar na região. Através dessa rede é possível verificar como está a qualidade do ar na região de estudo. Essas informações são cruciais para compreender os padrões de poluição e seus efeitos na saúde pública e no meio ambiente. A implementação de uma rede de monitoramento oferece dados valiosos para embasar medidas de controle da poluição, direcionando esforços e recursos para áreas com maior necessidade. Além disso, ao empregar sensores de baixo custo, é possível obter dados em tempo real, o que viabiliza uma análise mais precisa e atualizada da qualidade do ar em áreas específicas. Os resultados obtidos podem ser utilizados para conscientizar a população sobre os riscos da poluição do ar e promover a adoção de medidas individuais e coletivas para melhorar a qualidade do ar e proteger a saúde, visando a redução dos níveis de poluentes atmosféricos.

6. REFERÊNCIAS

BARCELLOS, C; XAVIER, D; HACON, S; ARTAXO, P; GRACIE, R; MAGALHÃES, M. et al. **Queimadas na Amazônia e seus impactos na saúde: A incidência de doenças respiratórias no sul da Amazônia aumentou significativamente nos últimos meses.** Informe técnico do Observatório de Clima e Saúde. Observatório de Clima e Saúde Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei n.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. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Acesso em: 5 de junho 2023.

Brito, G.S.F ; Sodré, F.F ; Almeida, F.V. O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Revista Virtual de Química**.10 (5), 1335-1354, 2018. Disponível em : <https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Brito-3/publication/328919041_Impact_of_Particiulate_Matter_on_Air_Quality/links/5c389d57299bf12be3bfcad6/Impact-of-Particulate-Matter-on-Air-Quality.pdf> Acesso em : 15 de junho de 2023.

BUDDE, M; LAQUAI, B; MULLER, T; STREIBL, N. Suitability of the Low-Cost SDS011 Particle Sensor for Urban PM-Monitoring. **ResearchGate**, 18 nov. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/MatthiasBudde/publication/325416608_Suitability_of_the_Low-Cost_SDS011_Particle_Sensor_for_Urban_PM-Monitoring/links/5b164b2d4585151f91fb7868/Suitability-of-the-Low-Cost-SDS011-Particle-Sensor-for-Urban-PM-Monitoring.pdf>. Acesso em: 18 de novembro de 2022.

CARDOSO, A. C; LOPES, R. M; FONSECA, A. G. C. Caracterização do ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 245-254, 2016.

CASTELL, N; DAUGE, F. R; SCHNEIDER, P; VOGT, M; LERNER, U; FISHBAIN, B; BRODAY, D; BARTONOVA, A. Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?. **Environment International**, v. 99, p. 293-302, 2017. ISSN 0160-4120. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>. Acesso em: 17 de maio de 2023.

CONAMA- RESOLUÇÃO N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018, Do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. « Dispõe sobre padrões de qualidade do ar ». Revoga a Resolução Conama nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução Conama nº 05/1989. Disponível em :<http://www.dca.iag.usp.br/material/fornaro/ACA410/Resolucao_CONAMA_491_2018.pdf> Acesso em 16 de junho de 2023.

CONAMA-. RESOLUÇÃO N.º 003 de 28 de junho de 1990, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. « Dispõe sobre os padrões da qualidade do ar ». Publicada no D.O.U, de 22/08/90, Seção I, Págs. 15.937 a 15.939. Disponível em :< https://www.ufjf.br/baccan/files/2012/11/Resolucao_003_CONAMA_de_1990-Padrees-de-qualidade-do-ar.pdf>. Acesso em 15 de junho de 2023.

Dias, E. R., et al. "Poluição atmosférica na Amazônia: uma revisão bibliográfica." **Revista de Sustentabilidade**, vol.6, n.2,2016.

DONALDSON, K; STONE, V; CLOUTER, A; MACNEE, W. Ultrafine particles: a review of their properties, mechanisms of lung injury, and health implications. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 58, n. 3, p. 211-216, 2001. DOI: 10.1136/oem.58.3.211.

FREITAS, M. Caracterização de sensores e abrigos meteorológicos de baixo custo. **Repositório Digital**. Disponível em: http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/6278/1/Paulo%20Henrique%20Soares_2018.pdf. Acesso em: 29 de novembro de 2022.

GAMBOA, Vanessa Schwarstzhaupt. Sistema para avaliação de desempenho e calibração de sensores de gases de baixo custo aplicados ao monitoramento da qualidade do ar. Porto Alegre. 2021. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

GENIKOMSAKIS, K. N; GALATOULAS, N.-F; DALLAS, P. I; CANDANEDO IBARRA, L. M. MARGARITIS, D. IOAKIMIDIS, C. S. Development and On-Field Testing of Low-Cost Portable System for Monitoring PM_{2,5} Concentrations. **Sensors**, v. 18, p. 1056, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s18041056>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

GESSAL, O.I.Y; LUMENTA, A.S.M; SUGIARSO, B.A. KOLABORASI APLIKASI ANDROID DENGAN SENSOR MQ-135 MELAHIRKAN DETEKTOR POLUTAN UDARA. **Jurnal Teknik Informatika**. Disponível em: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/informatika/article/view/23983>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

GLENCROSS, D. A; REN HO, T; CAMINA, N.; HAWRYLOWICZ, C. M; PFEFFER, P. E. Air pollution and its effects on the immune system. **Scielo**. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0891584919315217?casa_token=7V_3-krkxloAAAAA:D1ACmVQdouaBJREuAmFyLcfYIK4Mx2MlkbL_6-6b3ThH97HLP_LLAKrazoW0nquf5Ma9TOMkKIc%3E. Acesso em: 23 de dezembro de 2022.

GÓES, J. M; ROCHA, E. G; PEREIRA, A. M. Monitoramento da qualidade do ar na região nordeste do Brasil: Conhecimento atual e lacunas de informação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 381-392, 2018.

GOMES, D. A. Impactos da poluição na Amazônia: uma análise ambiental. **Revista Terra Verde**, v. 6, n. 1, p. 8-15, 2020.

Health Organization, 2021. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

IEMA. Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2021). Qualidade do Ar. Disponível em : <https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/legislacao>>. Acesso em : 18 de junho de 2023.

IGNOTTI, E; HACON, S. S; JUNGER, W. L; MOURÃO, D; LONGO, K; FREITAS, S; ARTAXO, P; LEON, A. C. M. P. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 133-146, 2021. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/csp/a/KSZQ8NPcWXrqTVvPwTZDydp/?lang=en>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

JUNIOR, O. A.; SOUZA, L. S.; VICENTIN, A. T.; FRARE, A. L.; SANTOS, L. H. Avaliação da precisão de medição do sensor de temperatura e umidade relativa do ar AM2302. *In: Jornacitec Botucatu*, IV Jornada de Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/IVJTC/IVJTC/paper/view/275>. Acesso em: 19 de novembro de 2022.

LACAVAL, C.I.V. Avaliação da Qualidade do Ar. Disponível em: <http://www.ambiental.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA-_cap_2__QUAL_AR.pdf> Acesso em: 18 de junho de 2023.

Lidia Morawska, Phong K. Thai, Xiaoting Liu, Akwasi Asumadu-Sakyi, Godwin Ayoko, Alena Bartonova, Andrea Bedini, Fahe Chai, Bryce Christensen, Matthew Dunbabin, Jian Gao, Gayle S.W. Hagler, Rohan Jayaratne, Prashant Kumar, Alexis K.H. Lau, Peter K.K. Louie, Mandana Mazaheri, Zhi Ning, Nunzio Motta, Ben Mullins, Md Mahmudur Rahman, Zoran Ristovski, Mahnaz Shafiei, Dian Tjondronegoro, Dane Westerdahl, Ron Williams. Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? *Environment International*, Volume 116, 2018, Pages 286-299, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.018>.

LIMA, A. L. R.; SILVA, V. S. Micro Sensor para Monitoramento da Qualidade do Ar. *Revistas uneb*. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/gestecimc/article/view/1940/1354>. Acesso em: 17 de novembro de 2022.

Liu, H.-Y ; Schneider, P ; Haugen, R ; Vogt, M. Performance Assessment of a Low-Cost PM2.5 Sensor for a near Four-Month Period in Oslo, Norway. *Atmosphere* 2019, 10, 41. <https://doi.org/10.3390/atmos10020041>.

Marek Badura, Piotr Batog, Anetta Drzeniecka-Osiadacz, Piotr Modzel, "Evaluation of Low-Cost Sensors for Ambient PM2.5 Monitoring", *Journal of Sensors*, vol. 2018, Article ID 5096540, 16 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5096540>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

MENDONÇA, S. P.; SOUZA, D. D. Monitoramento da qualidade do ar na Região Norte e Nordeste do Brasil: Oportunidades e desafios. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, n. 2, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc03022020>.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2019). Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/mma-guia-tecnico-qualidade-do-ar-pdf>> Acesso em : 20 de junho de 2023.

NETO, J.; SANTOS, C.; TORRES, E.; ESTRELA, C. Boxplots: Um Recurso Gráfico Para Análise e Interpretação de Dados Quantitativos. Disponível em: <[file:///C:/Users/99dom/Downloads/1132-Texto%20Principal-6472-2-10-20170512%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/99dom/Downloads/1132-Texto%20Principal-6472-2-10-20170512%20(1).pdf)> Acesso em: 10 de junho de 2023.

OLIVEIRA, J. C.; COSTA, S. S. da; MEIRA, R. C. de S. Percepção dos moradores sobre a gestão dos resíduos sólidos no bairro Caranazal, no município de Santarém - PA, Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, 8., 2017, Belém. *Anais [...]*. Belém: UFPA, 2017.

p. 1-19. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/III-061.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

Organização Mundial da Saúde. Air pollution. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em: 10 janeiro 2023.

PINTO, J. P; DROPRINCHINSKI MARTINS, L; SABINO, F. C; RODRIGUES AMADO, I; SOLCIA, M. C. Caracterização de MP2,5 e MP10 em Ar Ambiente de Estacionamento Fechado de Estabelecimento Comercial em Londrina-Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 493-499, 2017.

QIAN, D.; PANG, Z.; O'NEILL, Z. Evaluation of low-cost Particulate Matter (PM) Sensors: a preliminary investigation. **Conference ASHRAE 2018 Annual Conference**, At Houston, TX. June, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323431811_Evaluation_of_Low-cost_Part particulate_Matter_PM_Sensors_A_Preliminary_Investigation. Acesso em 24 de dezembro de 2022.

Qualidade do ar. **CETESB**, São Paulo. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>

Reddington, C; Butt, E;Ridley, D. *et al.* Air quality and human health improvements from reductions in defoe restation-related fire in Brazil. **Nature Geosci** 8, 768–771 (2015).

ROCHA, R; SANT'ANNA, A. *Winds of fire and smoke:* Air pollution and health in the Brazilian Amazon. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X21003375?casa_token=tIrrIZJkxlUAAAAA:PmAakEdqeGUh0RvMTrzAyVhlyzNUmgHRx0f7dsCxxvrsf7Czd8ZXHOUHxVal7SU8erTGeHePrHkz7Q#b0175. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

SANTOS, H; FIALHO, M; REIS, K; OLIVEIRA, R. **Relação entre Poluentes Atmosféricos e suas Consequências a Saúde.** Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20190312105045.pdf. Acesso em: Acesso em 24 de dezembro de 2022.

SILVA, F. A; VIEIRA, C. A. **Aspectos da poluição atmosférica:** uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/cp5pbrj5eneptnc2fzgx23ffwq/access/wayback/https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/download/180/pdf%20180>. Acesso em: 10 de novembro de 2022.

SILVA, G.V; GUIMARÃES, J.L.C. A Importância do Turismo para o Desenvolvimento Econômico Local: Um estudo em Alter do Chão (Caribe Amazônico), Santarém, Pará, Brasil.Dialnet. vol.12, 2019. ISSN-e 1988-5261. Disponível em:< <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746131>>. Acesso em 28 de junho de 2023.

SILVA, S. S; MELO, A. W. F; SILVESTRE, O; DUARTE, A; DANTAS, T; VALADARES, P. H. S; BROWN, F. **Importância do monitoramento da qualidade do ar na Amazônia para a saúde pública e o meio ambiente:** o caso do Estado do Acre, Brasil, 2020. Nota Técnica.

Sousa Uchôa, P. W. **Estudo de variações termo higrométricas de cidade equatorial devido ao processo de urbanização:** o caso de Santarém-PA. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Belém, 2017.

STEFAN, I. I; FERREIRA, L. I. P; SOUSA, S. A. Protótipo de Medidor de gases Poluentes Usando Tecnologia de Baixo Custo. **Revista Principia**. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/3872>. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

Tagle, M; Rojas, F; Reyes, F. et al. Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile. *Environ Monit Assess* 192, 171 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8118-4>. Acesso em: 10 de junho de 2023.

TORRES, L. M; PINHEIRO, C. D. P. S; AZEVEDO, S. D; RODRIGUES, P. R. S; SANDIM, D. P. R. **Poluição atmosférica em cidades brasileiras**: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. Disponível em: <http://www.sapientiae.com.br/index.php/naturae/article/view/CBPC26746441.2020.001.0003/54>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

UCHÔA, P.W.S. Estudo de Variações Termo - Higrométricas de Cidade Equatorial Devido ao Processo de Urbanização: O Caso de Santarém-PA. 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/340/1/Dissertacao_EtudodeVariacoesTermo-higrometricas.pdf>. Acesso em 10 de junho de 2023.

URRUTIA-PEREIRA, M; RIZZO, L. V; CHONG-NETO, H. J; SOLÉ, D. Impacto da exposição à fumaça da queima de biomassa na Floresta Amazônica na saúde humana: Estudo de caso em comunidades ribeirinhas. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 22, n. 4, p. 817-828, 2019.

VORMITTAG, E. M. P. A. A; CIRQUEIRA, S. S. R; WICHER NETO, H; SALDIVAIV, P. H. N. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil: tópicos relacionados à saúde da população. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 40, n. 139, p. 391-401, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/fbCFjRbBRhf4M5F6xQVrbfR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

Vormittag, E. da M. P. A. de A., Cirqueira, S. S. R., Wicher Neto, H., & Saldiva, P. H. N.. (2021). Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. *Estudos Avançados*, 35(102), 7–30. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002>

WHO. World Health Organization. **WHO global air quality guidelines**: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, 2021. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.

YUILL,S; HALPIN,H. Python. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=1f2ee3831eebfc97bfafd514ca2abb7e2c5c86bb>>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

