

Análise da poluição do ar em mojuí dos campos, município do oeste do Pará

Analysis of air pollution in mojuí dos campos, west Pará municipality

Adriane Dos Santos Raiol¹; Ana Carla dos Santos Gomes²; RSarah Suely Alves Batalha³;
Fellype Siqueira Barroso⁴; Edson Agnaldo Imbelloni Martins⁵; Domingas de Oliveira Almeida⁶;
Glauce Vitor da Silva⁷.

DOI: <https://10.52719/bjas.v6i1.6508>

Resumo

A poluição atmosférica é ocasionada por causas naturais e por atividades antrópicas, afeta o equilíbrio climático, o meio ambiente e a saúde humana. Efeitos adversos da poluição do ar já podem ser percebidos em qualquer época do ano. Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar os níveis de material particulado Pm_{2,5} e Pm₁₀ e as condições meteorológicas em Mojuí dos Campos, município localizado na região Oeste do Estado do Pará. Os dados foram coletados a partir de campanhas experimentais do Projeto Rede Piloto de Inovação no Monitoramento da Qualidade do Ar na Região do Oeste do Pará: Cuidadores do Ar, nos meses de dezembro de 2022 e de março de 2023. Constatou-se que os maiores valores de material particulado ocorreram no mês de março (Pm_{2,5} 993.5 µg/m³ e Pm₁₀ 1821,20 µg/m³), foi observado um decréscimo de 1,9 °C nos dados da temperatura do ar, a umidade relativa apresentou valores médios entre 40% e 80%. Espera-se que o estudo realizado contribua para o conhecimento sobre a qualidade do ar na região e possa auxiliar na criação de políticas públicas.

Palavras-chave: Amazônia. PM_{2,5}. PM₁₀. Poluição Atmosférica.

Abstract

¹Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. E-mail: adrianeraiol99@gmail.com.

² Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. E-mail: anacarlasg02@gmail.com.

³ Escola de Ensino Técnico do Estado do Pará Francisco Coimbra Lobato. E-mail: sarah.batalha@docente.sectet.pa.gov.br.

⁴ Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. E-mail: fellypecsiqueira@gmail.com.

⁵ Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. E-mail: edson21imbelloni@gmail.com.

⁶ Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. E-mail: 99domingas@gmail.com.

⁷ Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. E-mail: glauce.silva@ufopa.edu.br.

Atmospheric pollution is caused by natural causes and human activities, affecting the climate balance, the environment and human health. Adverse effects of air pollution can be noticed at any time of year. Therefore, this work aims to analyze the levels of particulate matter Pm_{2.5} and Pm₁₀ and the meteorological conditions in Mojuí dos Campos, a municipality located in the western region of the State of Pará. The data were collected from experimental campaigns of the Rede Piloto Project of Innovation in Air Quality Monitoring in the Western Region of Pará: Air Caregivers, in the months of December 2022 and March 2023. It was found that the highest values of particulate matter occurred in the month of March (Pm_{2.5} 993.50 µg/m³ and Pm₁₀ 1821.20 µg/m³), a decrease of 1.9 °C was observed in air temperature data, relative humidity presented average values between 40% and 80%. It is expected that the study carried out will contribute to knowledge about air quality in the region and can assist in the creation of public policies.

Keywords: Amazon. PM2.5. PM10. Atmospheric Pollution.

Introdução

A região amazônica tem sofrido significativas mudanças no padrão climáticos nas últimas décadas. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas Ar5 (IPCC, 2013), impactos provenientes de eventos climáticos extremos, como secas e incêndios florestais, expõem a vulnerabilidade acerca da variabilidade climática atual. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2021), as emissões de gases de efeito estufa estão causando mudanças no clima sem precedentes em escala e velocidade. As mudanças climáticas estão associadas a diversos fatores, tais como o aumento das quantidades de gases de efeito estufa na atmosfera, as mudanças no uso e cobertura da terra, o uso insustentável de recursos naturais, desmatamento, poluição, perda de biodiversidade e os eventos climáticos extremos (IPCC, 2022).

Segundo Zhu et al. (2019), as mudanças climáticas podem acrescer a regularidade e a intensidade de eventos extremos, como ondas de calor, secas e incêndios florestais, o que ocasiona em uma maior concentração de poluentes atmosféricos, como o ozônio e o material particulado. De acordo com Drumm et al., (2014), a poluição atmosférica pode ser definida como a presença na atmosfera de substâncias, em quantidade capaz de alterar sua composição e equilíbrio.

Segundo a Conama (2018) poluentes atmosféricos são qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde. Dentre os principais poluentes, destacam-se os gases e material

particulado oriundos, principalmente de fontes antrópicas, como os veículos automotores, as indústrias e a incineração de resíduos (Gomes, 2009) e os gases como dióxido de carbono (CO₂) e metano resultantes de fatores antropogênicos, que são extremamente prejudiciais a saúde humana e influenciam diretamente as alterações na temperatura mundial (Moreira et al., 2015).

A crescente circulação de veículos e as atividades industriais são fatores que contribuem fortemente para o aumento da poluição atmosférica (Cesar et al., 2013). Atividades humanas como a urbanização, a criação de gado e a expansão agrícola afetam a cobertura florestal da Amazônia (Ometto et al., 2011 & Mertens et al., 2002) derivadas do desmatamento e de processos de degradação da biomassa florestal por meio de queimadas e da extração madeireira (Cochrane, 2009), além da queima de biomassa florestal, uma prática costumeira e antiga no país e se caracteriza como um dos principais contribuintes mundiais para a emissão de gases de efeito estufa (Souza et al., 2017).

O desmatamento ocasiona um aumento na emissão de gases do efeito estufa, fator agravante para a qualidade do ar, o aquecimento global e as mudanças climáticas (Baccini et al., 2017), uma vez que a retirada de árvores desgovernada reduz a amplitude de absorção de poluentes atmosféricos, aumentando suas concentrações no ar e afetando a saúde humana e o meio ambiente (Dantas et al., 2016). Além disso, os incêndios florestais ocasionados pelo uso do fogo em sistemas agrícolas, recorrentes na região amazônica, afetam diretamente qualidade do ar (Gonçalvez et al., 2012).

O fogo na Amazônia brasileira cresce a cada ano, atingindo uma área equivalente a dez vezes a extensão da Costa Rica (Carmo et al., 2010). O estado do Pará é um dos estados brasileiros mais afetados pelas queimadas provocadas principalmente pelo desmatamento (Fearnside, 2015).

Neste processo, os gases e particulados emitidos podem ter efeitos negativos na saúde da população local e na qualidade do ar regional (Alves et al., 2017). De acordo com Andrade et al. (2021), as queimadas em 2019 foram responsáveis por mais de 800 milhões de toneladas de emissões de carbono, além de gerar altos níveis de material particulado. As partículas decorrentes das queimadas representam cerca de 60% do material particulado emitido para a atmosfera (Hacon et al., 1995).

Queiroz et al. (2007) definem material particulado como uma mistura de partículas sólidas e gotas líquidas presentes na atmosfera. O material particulado é classificado de acordo com seu diâmetro: partículas com até 30 µm de diâmetro; partículas com diâmetro inferior a 10

μm (Pm_{10} ou fração inalável); partículas com diâmetro inferior a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{Pm}_{2,5}$ ou fina); e com diâmetro menor que $10 \mu\text{m}$ ($\text{Pm}_{0,1}$ ou ultrafina). Fatores variados influenciam diretamente na qualidade do ar, tais como a intensidade e a distribuição dos poluentes na atmosfera, a topografia, as formas de ocupação do solo, bem como pelas condições meteorológicas vigentes (França et al., 2019), como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade e a direção dos ventos e a precipitação (Carvalho et al., 2004; Lyra et al., 2006; Waldheim et al., 2006, & Guerra et al., 2011).

Lyra et al. (2006) atestaram que a elevação da temperatura, o aumento da velocidade do vento e a ascendência da altura da camada de mistura influenciam na diminuição da concentração de poluentes. A compreensão dos principais elementos que contribuem para a presença de poluentes na atmosfera se torna útil no auxílio de medidas de controle da poluição do ar. Logo, o trabalho tem por objetivo analisar os níveis 3 de material particulado $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} e as condições meteorológicas em Mojuí dos Campos nos meses de dezembro de 2022 e de março de 2023.

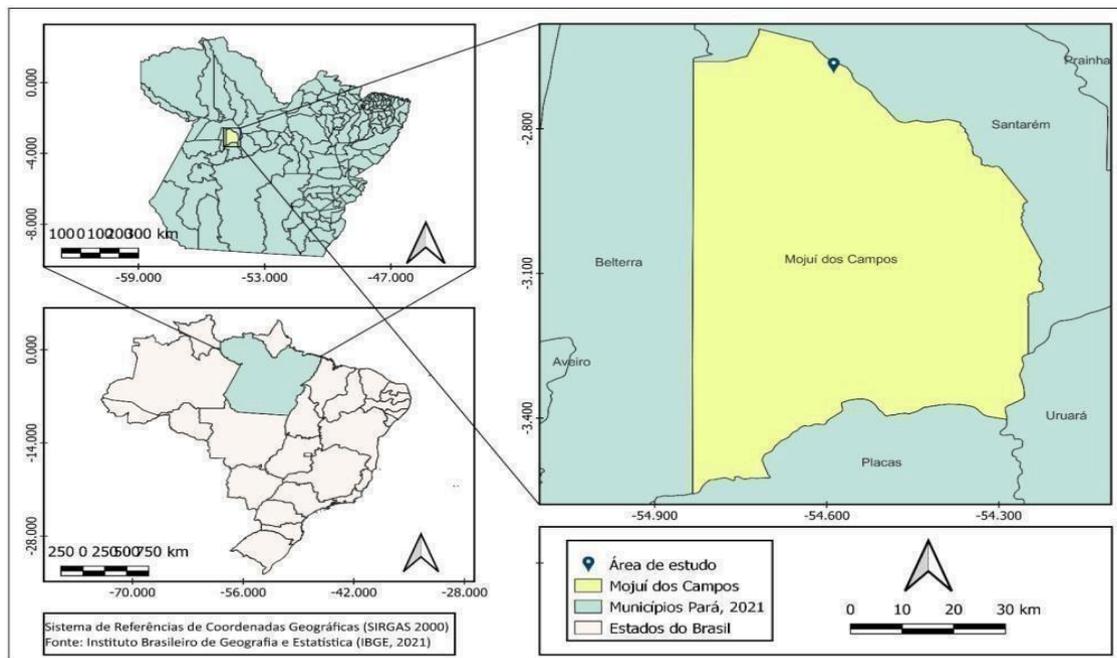
Material e Métodos

O presente estudo teve enfoque no Norte do Brasil, o município de Mojuí dos Campos, localizado no oeste do estado do Pará, com uma população de 27.534 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2021), possui um clima predominantemente tropical quente e úmido, do tipo Am conforme a classificação climática instituída por Köppen e Geiger (1928), as temperaturas são elevadas e conta com médias anuais em torno de 30°C , com alta umidade do ar em quase todo o ano, um índice pluviométrico médio anual em torno de 2.000 mm (Fapespa, 2022), com os meses mais chuvosos em fevereiro, março e abril, sendo julho e dezembro considerados meses de transição (Souza et al., 2004).

Mojuí dos Campos (Figura1) é o mais recente município do Estado do Pará, sendo o 144º município paraense, com uma área territorial de 4.988,236 km^2 , o que corresponde a 0,40% da área total do território paraense, com vegetação de formações pioneiras que estão em regiões pedologicamente instáveis, vinculadas aos processos de acumulação fluvio/lacustre na áreas central e floresta ombrófila densa, que apresenta períodos de chuvas intensas e constantes e uma vegetação de folhas extensas encontrada na parte sul do município e em terras baixas, solos do tipo latossolo encontrado em todo o município, argissolo encontrado na parte nordeste e neossolo em pequena proporção na parte oeste (Fapespa, 2022).

No Município passam as Bacias dos Rios Moju e Curuá-Una que formam juntas toda a malha hídrica existente na chamada "Região do Planalto", composta por inúmeros igarapés e rios de pequeno porte, o acesso a Mojui dos Campos dá-se pela PA-431, facilitado por duas rodovias paralelas: a BR-163 (Santarém/Cuiabá) e PA 370 (Santarém/Curuá-Una), sendo o transporte terrestre o único acesso à cidade (Fapespa, 2022).

Figura 1
Mapa da localização do município de estudo



Fonte: Autores (2023).

Foram utilizados dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), material particulado $\text{Pm}_{2,5}$ e Pm_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), disponibilizados pelo kit de monitoramento da qualidade do ar do projeto Cuidadores do Ar nos meses de dezembro de 2022 e de março de 2023.

O kit (Figura2) é de baixo custo e é composto por um Arduino Uno, um Sensor SDS011 para realizar as medidas de concentrações de material particulado, um Sensor AM2302 para medir temperatura e umidade relativa do ar, um Sensor MQ135 para verificar a presença de gases tóxicos no ambiente, um tubo de metal para a passagem de ar e por fim um cartão de memória onde ficam armazenados os dados coletados. Trabalhos como o de Dibari et al. (2013), para o monitoramento da qualidade de ar no ambiente urbano, Oprea et al. (2013), para o monitoramento de diversas variáveis físicas para uso acadêmico e Kanda et al. (2011), para o monitoramento da agricultura, fizeram o uso de sensores de baixo custo.

Devido ao tamanho e à complexidade do funcionamento, as estações de monitoramento da qualidade do ar requerem elevados recursos financeiros e técnicos para seu funcionamento (Pataki & Oliveira, 2021). O microcontrolador Arduino, em conjunto com sensores compatíveis, representa uma das tecnologias que tornam possível o desenvolvimento de protótipos que satisfaçam as demandas de baixo custo. O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, baseada em hardware e software que se caracterizam pela facilidade de uso (Arduino, 2017) de forma que se pode adaptá-lo a um projeto específico por meio da utilização de sensores que são conectados ao Arduino e incorporam funcionalidades a ele, como os sensores para variáveis ambientais (temperatura e umidade) ou para detecção de gases poluentes.

De acordo com uma pesquisa feita por Budde et al. (2018), onde foi feita a avaliação do potencial e as limitações de sensores de baixo custo no monitoramento da qualidade do ar, verificou que o SDS011 é capaz de registrar com alta precisão as dinâmicas de poeiras finas ao longo do tempo. Faria et al. (2014) desenvolveu um sistema open-source para coleta e armazenamento de dados de temperatura e umidade relativa do ar utilizando o sensor AM2302. A validação foi feita verificando a correlação entre os valores de máximos e mínimos do sistema de baixo custo e um sistema convencional.

Na comparação dos dados obtidos pelo sistema de baixo custo e pelo sistema convencional, os coeficientes para temperatura máxima e mínima indicaram correlação do tipo muito forte para o sistema de baixo custo, assim como a umidade relativa em que os resultados de correlação também foram do tipo forte e muito forte validando, portanto, o uso do sistema desenvolvido quanto ao seu funcionamento. No estudo feito por Stefan, Ferreira e Sousa (2020) foi utilizado o sensor MQ-135 para a detecção de gases tóxicos, com resultados demonstrando que o uso do sensor fornece medições similares às aquelas obtidas a partir de medidores comerciais, tanto em ambientes abertos quanto em locais fechados.

Figura 2
Composição do kit de monitoramento do ar.



Fonte: Autores (2023).

O estudo tem caráter exploratório e utilizou a estatística descritiva que nos permite organizar, resumir e descrever o conjunto de dados, que pode incluir, resultados de frequência (quantidade), medidas de tendência central como a média ou moda, ou uma medida de variação, como o desvio padrão (Hair et al., 2005).

Resultados e Discussão

Os dados da estatística descritivas, relacionadas aos dados de material particulados e variáveis meteorológicas para o município podem ser observadas nas tabelas 1 e 2. No mês de dezembro (Tabela 1), o valor máximo de $Pm_{2,5}$ foi de $596,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o desvio padrão de $10,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para o Pm_{10} o valor máximo e a média mensal foi de $650,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $10,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, com um desvio padrão de $12,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A temperatura do ar apresentou uma máxima de $41,8^\circ\text{C}$ no dia 16 e uma mínima de $23,6^\circ\text{C}$ no dia 14, com média mensal de $30,2^\circ\text{C}$ e uma amplitude térmica de $18,2^\circ\text{C}$. A umidade relativa apresentando máxima de $84,90\%$ e mínima de $40,10\%$. Trabalhos como o de Pilato et al. (2018) e de Capucho et al. (2021) já avaliaram as variáveis meteorológicas no município.

Tabela 1

Estatística descritiva das variáveis para o mês de dezembro.

Descritivas	MP_{2,5} (µg/m³)	MP₁₀ (µg/m³)	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa (%)
Mínimo	0,01	0,20	23,6	40,10
Mediana	3,00	7,20	28,90	75,20
Desvio Padrão	10,26	12,85	4,19	11,68
Média	3,71	10,04	30,28	70,21
Máximo	596,00	650,20	41,8	84,90

Fonte: Autores (2023).

No mês de março (Tabela 2), o máximo de Pm_{2,5} foi de 993,50 µg/m³ e o desvio padrão de 17,01 µg/m³. Para o Pm₁₀ o valor máximo observado foi de 1821,20 µg/m³, com um desvio padrão de 21,66 µg/m³. A temperatura máxima foi 39,9°C ocorrendo no dia 02, com uma mínima de 23,9°C nos dias 25 e 26, média mensal de 29,22°C e amplitude térmica de 16°C, com a umidade relativa apresentando máxima de 84,75% e mínima de 40,15%. O mês de março é conhecido climatologicamente como o mais chuvoso da região Amazônica, cuja variabilidade pluviométrica associa-se com a ZCIT sobre o Atlântico equatorial sul (Sousa et al., 2004, & Amanjás & Braga, 2012) e também com a ZCAS formando bandas de convecção na porção centro-sul da Amazônia (Carvalho et al., 2004).

Tabela 2

Estatística descritiva das variáveis para o mês de março

Descritivas	MP_{2,5} (µg/m³)	MP₁₀ (µg/m³)	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa (%)
--------------------	--	---	-----------------------------------	-------------------------------------

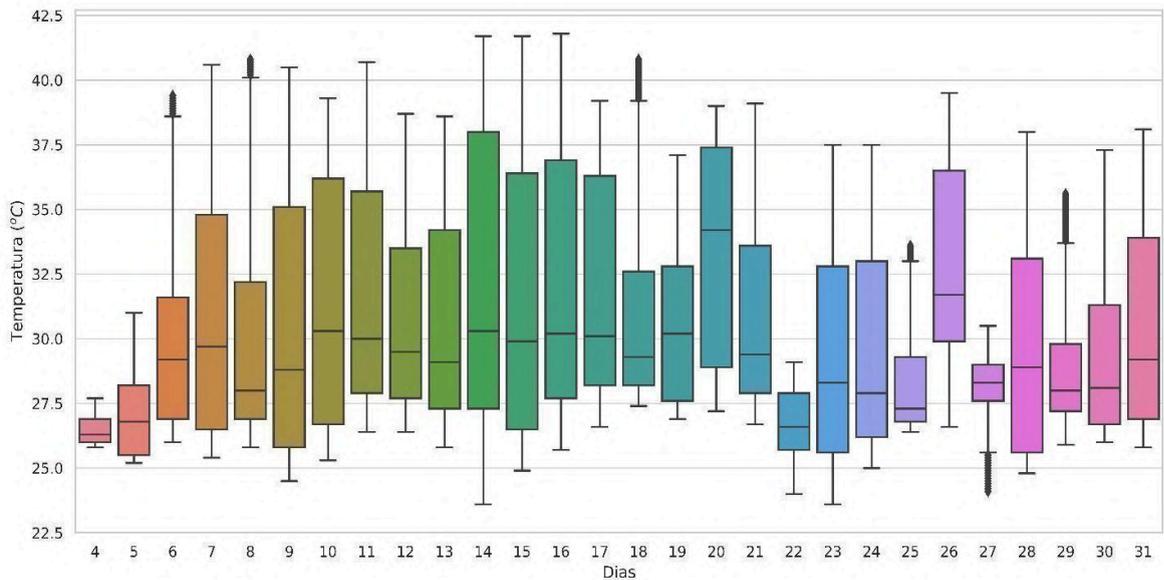
Mínimo	0,03	0,10	23,9	40,15
Mediana	3,10	8,30	28,30	75,90
Desvio Padrão	17,01	21,66	2,95	8,70
Média	5,61	7,82	29,22	72,03
Máximo	993,50	1821,20	39,9	84,75

Fonte: Autores (2023).

A coleta de dados durante o mês de dezembro de 2022 ocorreu por 28 dias, devido a uma interrupção no equipamento de monitoramento causada por problemas no cartão de memória para armazenamento de dados. Essa situação comprometeu a precisão dos dados coletados, resultando na falta de registro das informações durante os primeiros 3 dias do mês.

Na figura 3, constata-se que os valores mais elevados da temperatura do ar de dezembro foram superiores a 40°C em 7 dos 28 dias observados, com o máximo no dia 16 (41,8°C), valor considerado elevado para o período, que devido a redução da nebulosidade na região, os perfis térmicos apresentam valores máximos de 32,9°C (Silva et al., 2018). Essa elevação pode estar associada a mudança na superfície do solo na região de estudo. Segundo Bunn et al. (2015), o aumento da temperatura do ar está ocorrendo em função das mudanças climáticas devido as ações humanas. O mês apresentou média mensal de 30,28°C, e desvio padrão de 4,21°C. O menor valor foi de 23,6°C, e ocorreu nos dias 14 e 23, corroborando com o Inpe (2007) que diz que as temperaturas mínimas na região amazônica no mês de dezembro variam entre 20 e 24°C. A variabilidade se apresentou de forma bem perceptível durante todo o mês, com os valores entre os intervalos de 25 a 40°C, valores considerados altos para o mês que podem estar relacionada a intensidade de sistemas atuantes na região como o El Niño (Ambrizzi, 2003), além das mudanças na força da Alta Subtropical do Atlântico Norte, na posição da ZCIT e na força dos ventos sobre o oceano Atlântico Tropical (Foley et al., 2002).

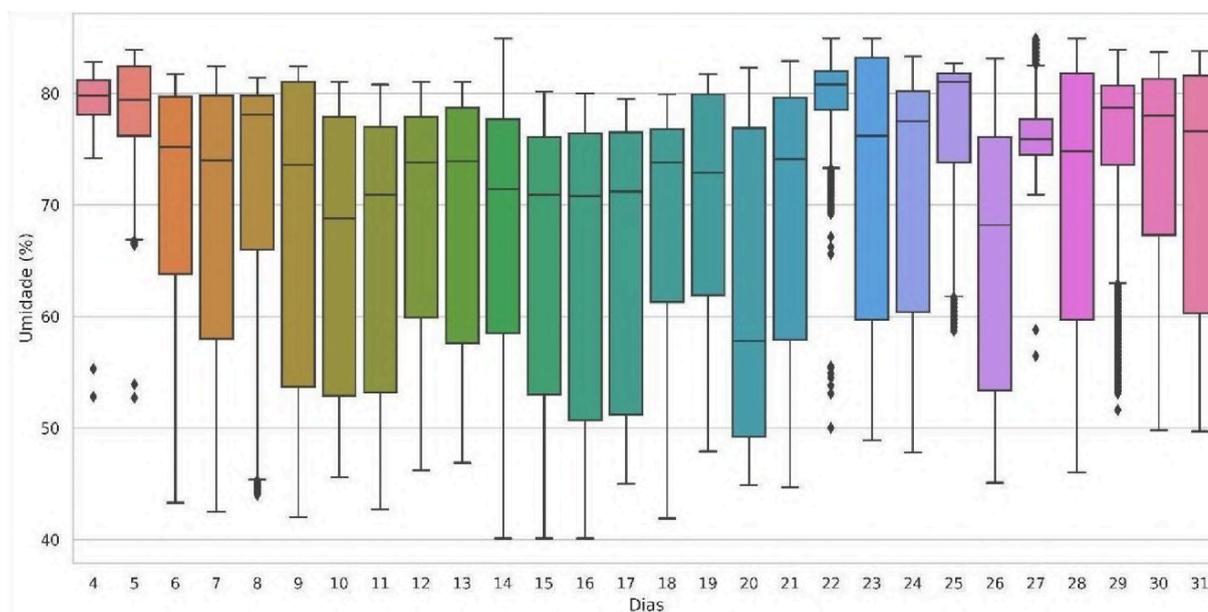
Figura 3
Comportamento diário da temperatura do ar para o mês de dezembro.



Fonte: Autores (2023).

Observando a figura 4, verifica-se que o maior valor de umidade relativa do ar em dezembro encontra-se no dia 14 (84,90%), assim como o menor valor (40,10%), ambos os valores fora do padrão considerado seguro, uma vez que segundo a Organização Mundial da Saúde (Organização Mundial da Saúde [OMS], 2018), o índice considerado ideal da umidade do ar para a saúde é entre 50% e 80%, e quando fica inferior a esses valores, que pode vim a ocorrer em algumas épocas do ano e em certas regiões (Boylestad et al., 2009), aumenta os efeitos de doenças respiratórias e demais complicações que estão associadas a baixa umidade relativa, como alergias, sangramentos nasais, ressecamento de pele e irritação nos olhos (Pinto et al., 2008). A média mensal do mês foi de 70,21%, mediana apresentando valor de 75,20% e a presença de *outliers*.

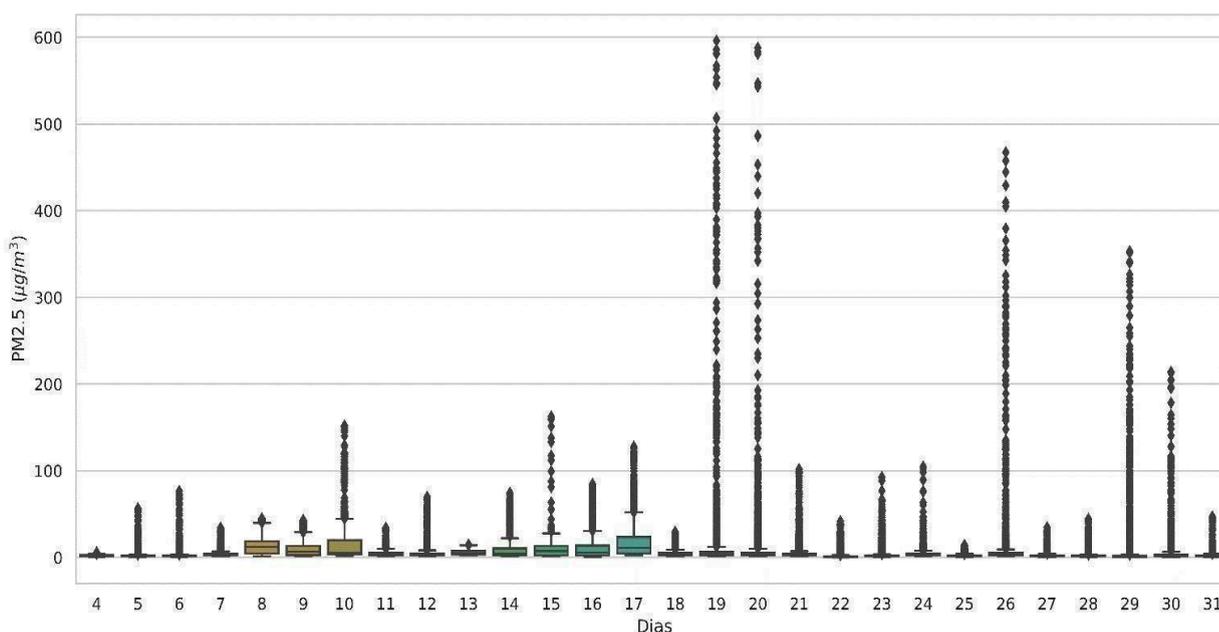
Figura 4
Comportamento diário da umidade relativa do ar para o mês de dezembro.



Fonte: Autores (2023).

Analisando as informações adquiridas através da figura 5, é possível observar graficamente que alguns dias apresentam concentrações de partículas discrepantes dos demais, como observado no dia 19 e 20, onde os níveis de Pm_{2,5} chegam a 596 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no dia 26 a 490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e no dia 29 a 375 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Uma hipótese levantada para justificar esses dias com valores elevados é a ocorrência de queimadas no local ou próximo do equipamento de monitoramento, que segundo o Inpe (2019) as queimadas são frequentes em regiões rurais da Amazônia para a limpeza de terras para agricultura e pecuária. Os demais valores podem estar associados ao fluxo de veículos, uma vez que a intensidade do tráfego próximo às residências aumenta a concentração de Pm_{2,5} no ambiente (Roosbroeck et al., 2008).

Figura 5
Comportamento diário de material particulado $PM_{2,5}$ para o mês de dezembro.

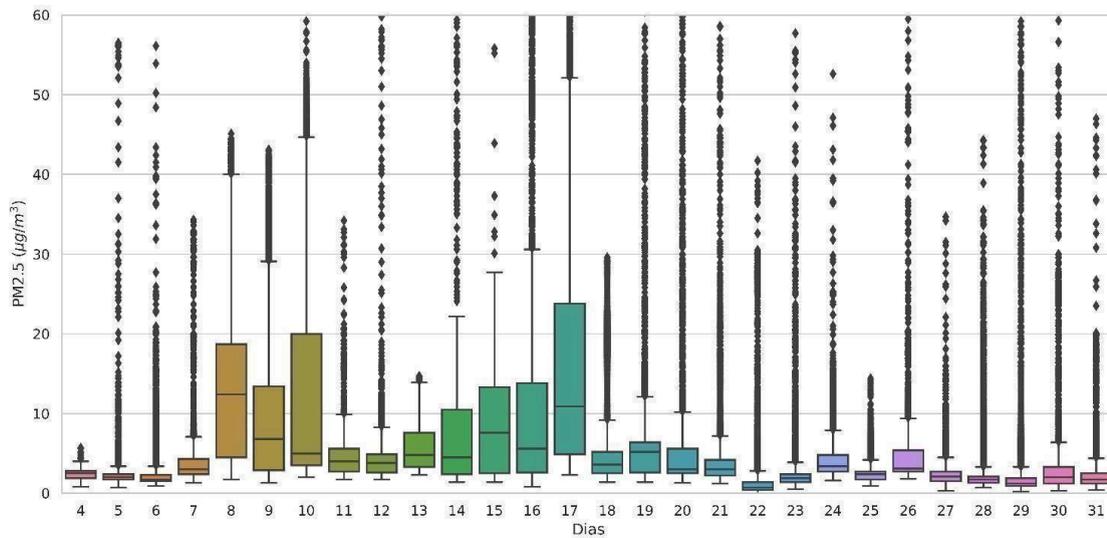


Fonte: Autores (2023).

Na figura 6 foi realizado um corte em $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para uma melhor visualização da variabilidade nos níveis de $Pm_{2,5}$ diários ao longo dos dias no mês de dezembro. O gráfico revelou que a mediana dos níveis de $Pm_{2,5}$ foi de $3,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com um desvio padrão de $10,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Observou-se que os níveis do particulado com maior variabilidade ocorreram nos dias 08, 09 e 10 e no período de 14 a 17, os níveis mais elevados aconteceram nas datas 8 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 9 ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 10 ($44 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 15 ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 16 ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e 17 ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ultrapassando o limite máximo de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração média diários considerado seguro pela Organização Mundial da Saúde (Oms, 2018). Os demais dias exibiram valores semelhantes, mantendo-se inferior a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, um sinal de que os níveis de poluição estão relativamente baixos e que a exposição a partículas finas nocivas está reduzida (OMS, 2018).

Figura 6

Comportamento diário de material particulado $PM_{2,5}$ com filtro em $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o mês de dezembro.

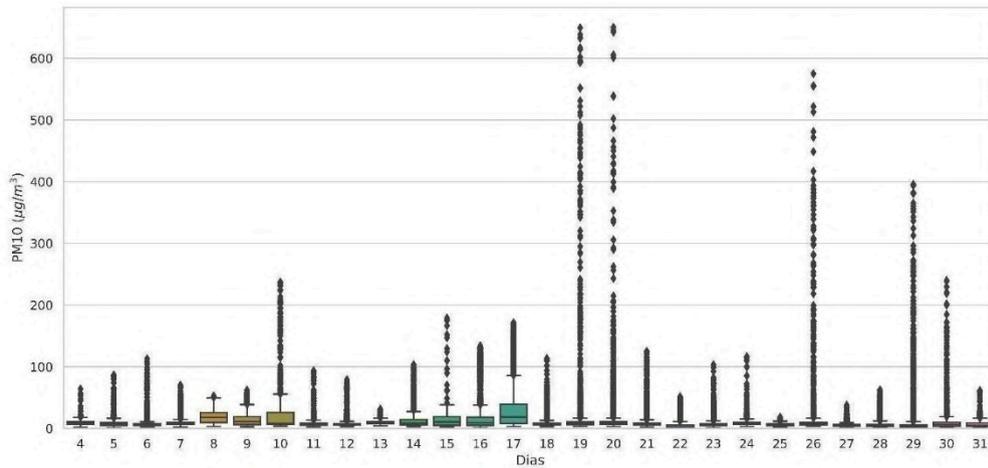


Fonte: Autores (2023).

Na figura 7 é possível observar que a maior concentração do Pm_{10} ocorreu nos dias 19 e 20, ultrapassando o valor de $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em ambos os dias. Destacando-se também os dias 10, 26, 29 e 30 os quais apresentam concentrações acima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esses valores elevados podem ser consequência de queimadas na área, que 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, além de atividades de construção civil no local ou próximo a ele (Ministério do Meio Ambiente, 2020).

Figura 7

Comportamento diário de material particulado PM_{10} para o mês de dezembro.

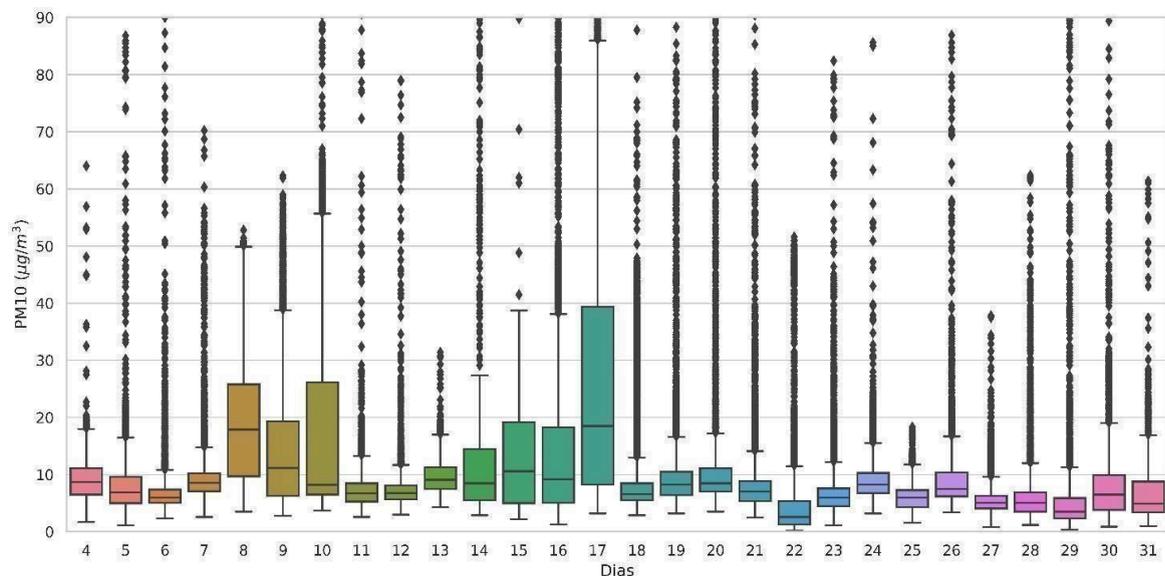


Fonte: Autores (2023).

Na Figura 8 com o filtro em $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verifica-se que em três dias ocorreram ultrapassagens do padrão diário de qualidade do ar para Pm_{10} determinados pela Organização Mundial de Saúde (Oms, 2018) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente nos dias 8 ($50,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 10 ($56,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e no dia 17 (acima de $80,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Os dias com uma maior variabilidade ocorreram em 08 a 10 e no período de 14 a 17.

Figura 8

Comportamento diário de material particulado PM_{10} com filtro em $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o mês de dezembro.

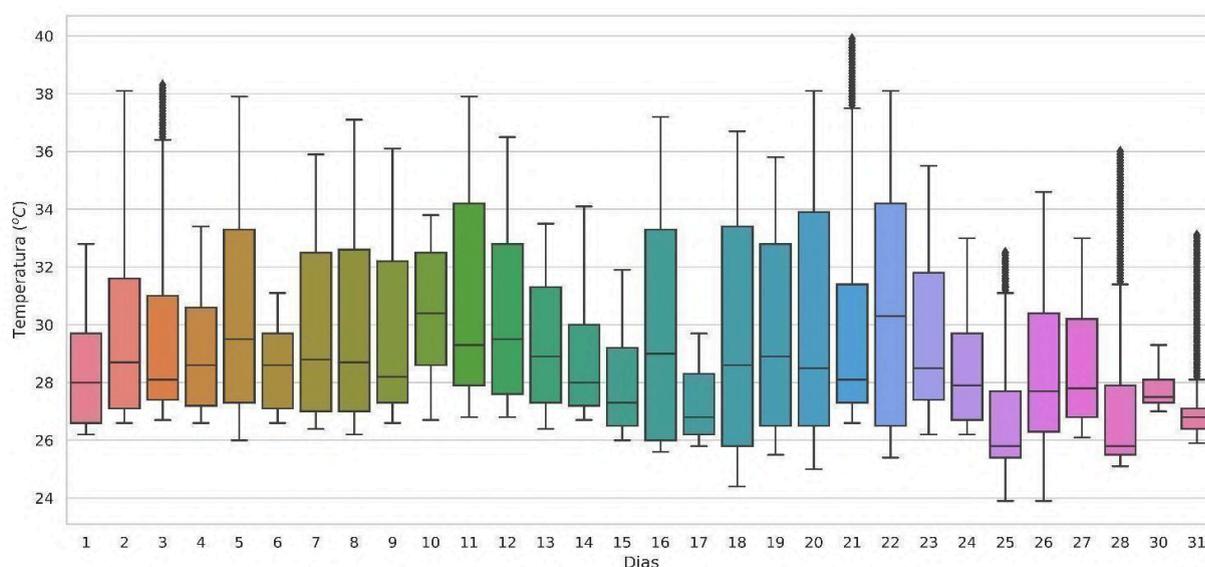


Fonte: Autores (2023).

Analisando a figura 9, verifica-se que a temperatura máxima do ar foi igual ou superior a 35°C na maior parte dos dias observados, com sua máxima acontecendo no dia 20 (39,9°C), essa elevação de temperatura no período considerado chuvoso na Amazônia, possa ter influência do desmatamento, resultante das mudanças de uso e ocupação da terra (Liao et al., 2018), exploração da madeira (Sá, 2007) decorrente da expansão do agronegócio (Oliveira & Silva, 2021) e do avanço da agricultura de subsistência (Maciel et al., 2018), além do aumento de episódios de incêndios florestais (Cardil et al., 2020) influenciado pelo desmatamento (Li et al., 2016). A média mensal foi de 29,22°C, com um desvio padrão de 2,95°C. A temperatura mínima foi de 23,9°C em dois dias observados (25 e 26), a variabilidade se apresentou de forma bem perceptível durante todo o mês, com os valores entre os intervalos de 25 a 35°.

Figura 9

Comportamento diário da temperatura do ar para o mês de março.

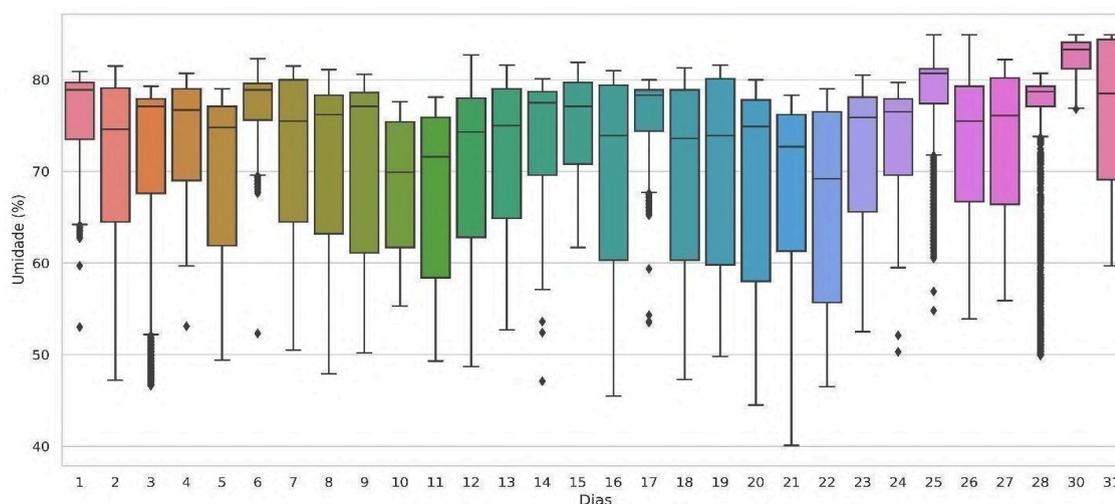


Fonte: Autores (2023).

Observando a figura 10, verifica-se que o maior valor de umidade relativa do ar em março encontra-se no dia 25 (84,75%), essa elevação pode estar associada à ocorrência de incêndios em florestas e pastagens (Torres et al., 2009, & Ribeiro et al., 2011) e o menor valor no dia 21 (40,15%), considerado intervalo de atenção (entre 20 e 40%), que requer medidas de prevenção à problemas de saúde devido à baixa umidade relativa (Pinto et al., 2008).

Figura 10

Comportamento diário da umidade relativa do ar para o mês de março.

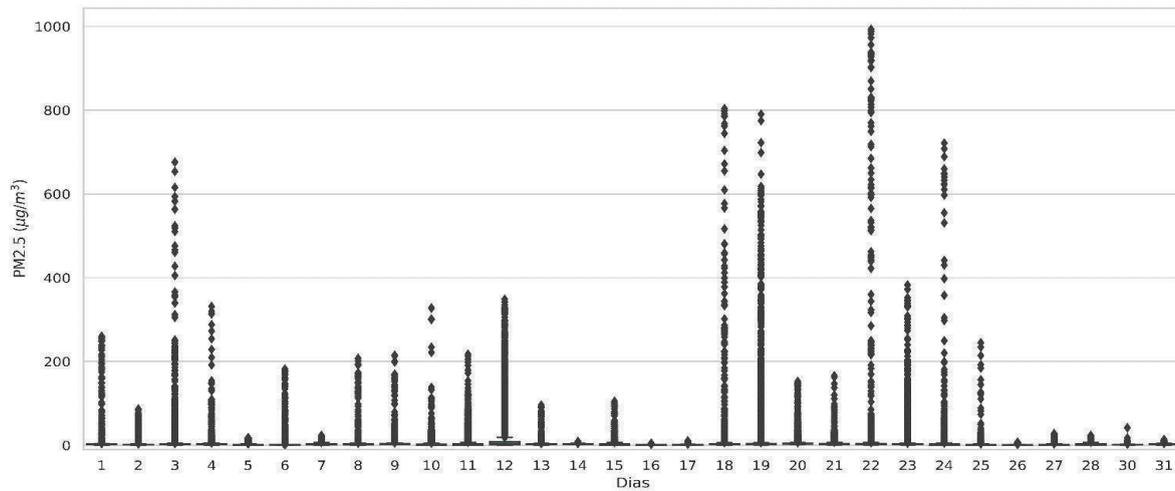


Fonte: Autores (2023).

Na figura 11, é possível observar através de dados discrepantes que a maior concentração do Pm_{2,5} ocorreu no dia 22 (993,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), destacando 18 e 19 em que os níveis foram de 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e nos dias 3 e 24 que marcaram concentrações acima de 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. As possíveis fontes de poluição no local onde está instalado o equipamento de monitoramento ou próximo a ele que possam ter influenciado para essa elevação nos valores podem ser a queima de biomassa e a suspensão de poeira do solo (Braga et al., 2002), bem como as condições de vento no local, visto que a direção e a velocidade do vento é considerada uma das principais condições meteorológicas que afetam a concentração de poluentes atmosféricos em determinadas regiões (Chen et al., 2018, & Csavina et al., 2014). O Pm_{2,5} são provedores de doenças de alto risco também pelo maior grau de emissão ser oriundo de escapamento de veículos, produto da combustão incompleta dos motores de combustão (Wong et al., 2019), que ao ser inalados, podem penetrar na corrente sanguínea, ocasionando problemas de saúde como problemas respiratórios, falta de ar, desconforto e dor no peito, tosse forte e chiado, entre outras (Kim et al., 2015).

Figura 11

Comportamento diário de material particulado $PM_{2,5}$ para o mês de março.

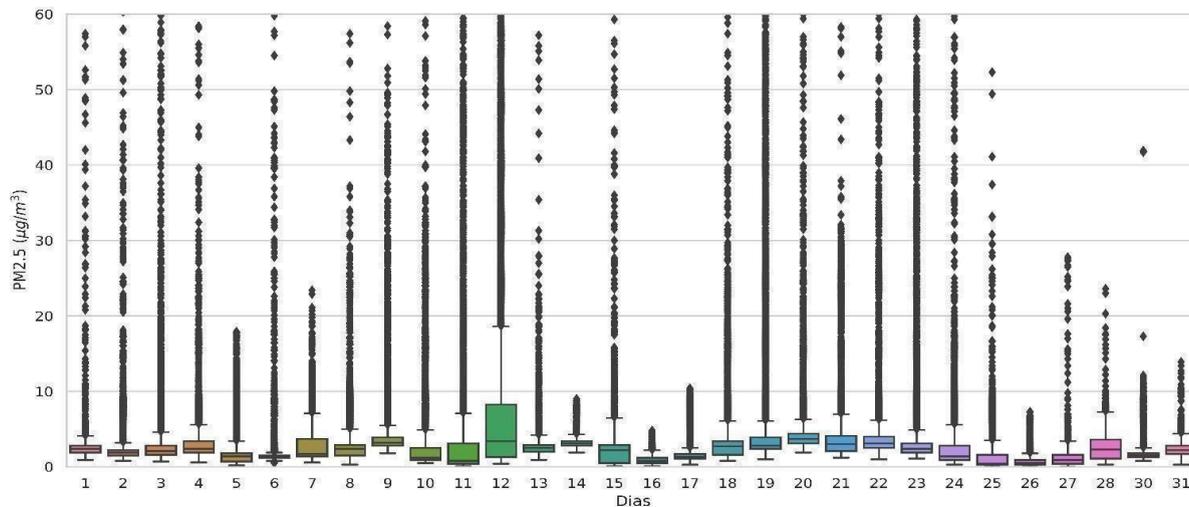


Fonte: Autores (2023).

Na Figura 12 com o filtro em $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verifica-se que, dos 31 dias analisados 30 permaneceram abaixo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no nível de concentração de $Pm_{2,5}$, exceto pelo dia 12, no qual os níveis do particulado chegaram a $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não excedendo o limite considerado seguro pela Organização Mundial da Saúde, em que o ar deve ter concentração de $Pm_{2,5}$ no valor médio diário de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uma possível razão para esses valores, seja a ocorrência de abundante precipitação, com base no que foi apontado por Costa e Loureiro (2000) onde o mês de março é o mais chuvoso e a precipitação faz com que a atmosfera seja limpa, diminuindo a concentração do poluente de forma efetiva (Guerra & Miranda, 2010).

Figura 12

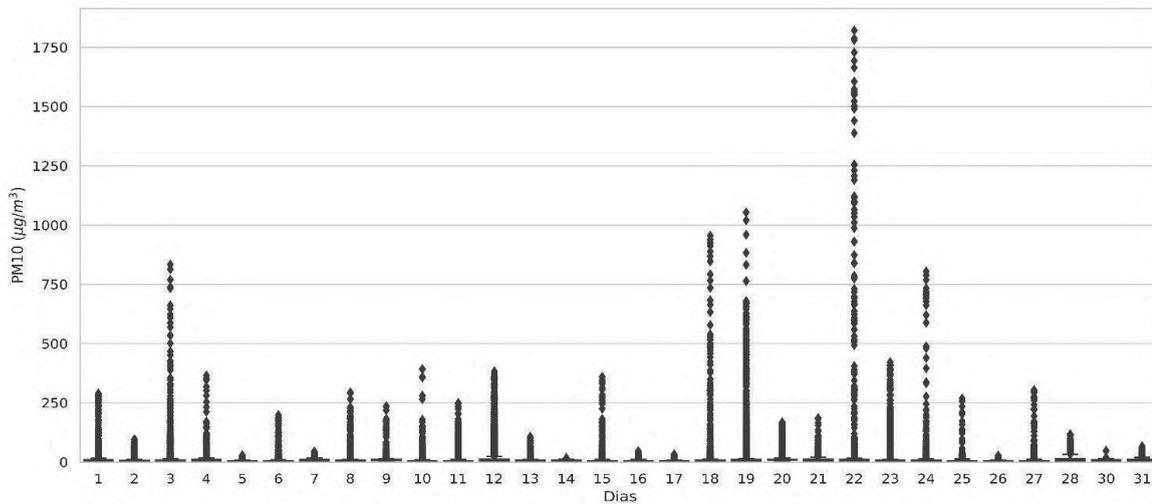
Comportamento diário de material particulado $PM_{2,5}$ com filtro em $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o mês de março.



Fonte: Autores (2023).

Na figura 13, é possível observar muitos pontos fora da caixa do diagrama. Analisando e demonstrando graficamente os dados, nota-se dias apresentando concentrações de partículas mais elevadas que os demais, como observado no dia 22, em que os níveis de Pm_{10} chegaram a $1821,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, destaque para os dias 3, 18, 19 e 24 com valores acima de $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esses valores sobressalentes, possam ter influência de fatores locais como queima de biomassa, suspensão de poeira do solo, veículos automotores (Cançado et al., 2006) ou 11 pela influência dos ventos, que segundo Resende (2007) podem atuar negativamente no transporte de partículas de um local poluído para áreas limpas.

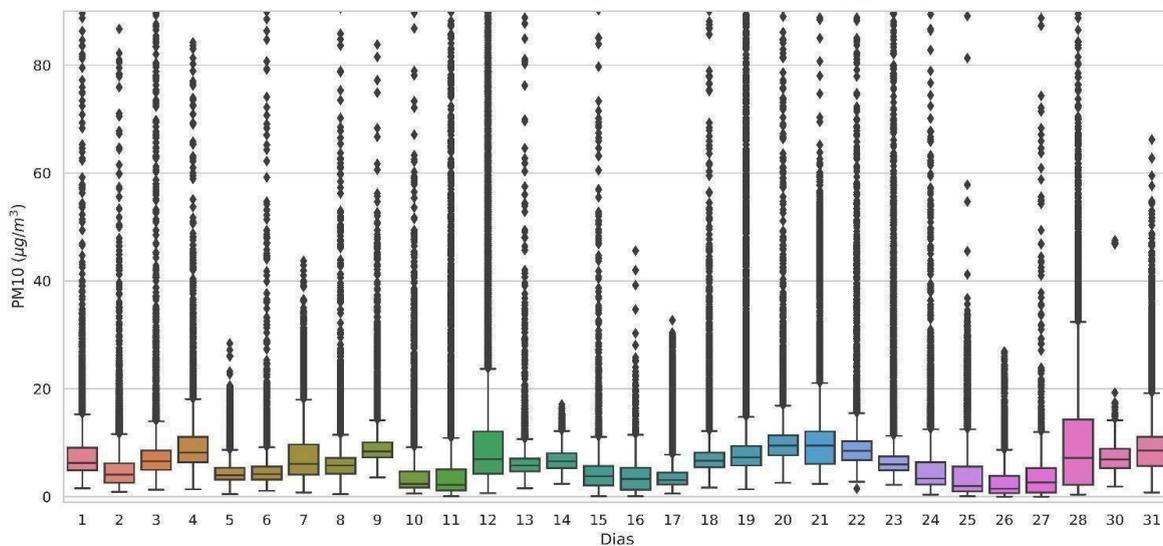
Figura 13
Comportamento diário de material particulado PM_{10} para o mês de março.



Fonte: Autores (2023).

Ao analisar a figura 14, nota-se que a mediana para Pm_{10} foi de $8,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com um desvio padrão de $21,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Observou-se que os níveis de Pm_{10} foram mais elevados nos dias 12 ($23\mu\text{g}/\text{m}^3$), 21 ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e 28 ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), permanecendo abaixo do limite considerado seguro para saúde. Os demais dias exibiram valores similares, mantendo-se inferior a $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentando uma variabilidade bem definida durante todo o mês, com maiores ocorrências de valores no intervalo de 0 a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 14
Comportamento diário de material particulado PM_{10} com filtro em $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o mês de março.



Fonte: Autores (2023).

Conclusão

Conclui-se que ao comparar os períodos analisados, ocorreu um aumento na concentração de material particulado entre os meses estudados ($397,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o $\text{Pm}_{2,5}$ e $1,171 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Pm_{10}). Diminuição na média mensal da temperatura do ar de $1,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Entre os meses, foi observado uma constância nos níveis de umidade relativa do ar. O estudo realizado destaca a importância do monitoramento da poluição do ar, pois foi possível verificar valores mais elevados do que é recomendado pela legislação vigente. Espera-se que os resultados encontrados possam contribuir no avanço para um melhor conhecimento da poluição do ar na região e auxiliar na elaboração de políticas públicas.

Referências

- Alves, L. M, Almeida, A. F, Vieira, L. C. G, & Aragão, L. (2017). Diversidade e dinâmica da vegetação em áreas de cerrado na região de Belém, Pará, Brasil. *Revista de Geografia*, 34(3), 46-63.
- Amanajás, J. C., & Braga, C. C. (2012). Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(4), 423-434.
- Ambrizzi, T. (2003). *El nino/oscilações sul e teleconexões atmosféricas no hemisfério austral*. Tese (Livre Docência). Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Andrade, M. D. et al. (2021). Emissões de aerossóis e gases traços de cerrado e incêndios florestais na bacia amazônica. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(1), 447-472.
- Ângelo, H., & SÁ, S. P. P., (2007). O desflorestamento na Amazônia brasileira. *Ciência Florestal*, 17(3).
- Arduino, C. C. (2017). ArduinoUno: documentation. Cc: Arduino. <https://store.Arduino.cc/Arduino-uno-rev3>.

Arvalho, L. M. V., Jones, C., & Liebmann, B. (2004). The South Atlantic Convergence

Zone: Intensity, form persistence and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17, 88–108.

Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., & Houghton, R. A

(2017). As florestas tropicais são uma fonte líquida de carbono com base em medições acima do solo de ganhos e perdas. *Science*, 358(6360), 230-234.

Boylestad, R. L. E., & Nashelsky, L. (2009). *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*

(8a ed. pp. 672). São Paulo: Pearson.

Braga, A., Pereira, L. A. A., & Saldiva, P. H. N. (2002). Poluição atmosférica e seus

efeitos na saúde humana. In *Anais do Evento Sustentabilidade na Geração e uso de Energia*. São Paulo: Unicamp.

Budde, M. et al. (2018). Suitability of the Low-Cost SDS011 Particle Sensor for Urban

PM-Monitoring. *Scientific Research Abstracts*, 8, 11.

Bunn, C. et al. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of

Arabica and robusta coffee. *Climatic Change*, Berlin, 129(1), 89-101.

Cançado, J. E. D., Braga, A., Pereira, L. A. A., Arbex, M. A., Saldiva, P. H.N., Santos,

U. E. P. (2006). Clinical repercussions of exposure to atmospheric pollution. *J. Bras Pneumol.* 32(Suppl 2):S5-S11.

Capucho, H. L. V., Silva, Á. F. da, Rebêlo, A. G. de M., Pauletto, D., & Silva, A. R.

(2021). Phenology of *Dipteryx odorata* and *Dipteryx punctata* in agroforestry systems in the Eastern Amazon. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian - Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 64.

Cardil, A. et al. (2020). Recent deforestation drove the spike in Amazonian fires.

Environmental Research Letters, 15(12), 1-5.

Carmo, C. N. D. et al. (2010). Associação entre material particulado de queimadase

doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Revista Panamericana de Salud Pública*, São Paulo, 27, 10-16.

Carvalho, V. S. B., Mello, R., Cavalcanti, P. M. P. S., Cataldi, M., & Pimentel, L. C. G.

(2004). Avaliação da concentração do ozônio e de seus precursores na RMRJ e correlação deste com variáveis meteorológicas durante o ano de 2002. In *Anais do décimo terceiro Congresso Brasileiro de Meteorologia*.

Cesar, G. C. A., Nascimento, C. F. L., & Carvalho, A. J. (2013). Associação entre

exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, 47(6), 120912.

Chen, Z. et al. (2018). Understanding meteorological influences on PM_{2.5} concentrations across China: a temporal and spatial perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 18, 5343- 5358.

Cochrane, M. A., & Barber, C. P. (2009). Climate change, human land use and future fires in the Amazon. *Global Biogeochemical Cycles*, 15, 601–612.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2018). *Resolução Conama nº 491*, de 19 de novembro de 2018.

Costa, J. P. R., & Loureiro, R. S. (2000). Variabilidade média mensal de variáveis meteorológicas em Caxiuanã: área de floresta tropical da Amazônia. In *Anais do décimo primeiro Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET)*.

Csavina, J. et al. (2014). Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. *Science of the Total Environment*, 487, 82-90.

Silva, L. P. da, Soares, W. B., Mello, K. K. S., Martorano, L. G. (2018). *Perfis térmicos climatológicos em Santarém e Belterra comparados aos de Belém e Manaus para subsidiar estratégias na cadeia agrícola produtiva na Amazônia* (Caderno de resumos expandidos, 18). Santarém, Pará: Centro Universitário Luterano de Santarém.

Dantas, G. et al. (2016). Efeitos da mudança do uso da terra nos níveis de poluentes atmosféricos em uma área de rápida urbanização da Amazônia brasileira.

Dibari, C. et al. (2013). A low cost Mobile Network System for monitoring climate and air quality of urban areas at high resolution: A preliminary application in Florence (IT) metropolitan area. *Geophysical Research Abstracts* 15, EGU2013-8184.

Drumm, F. C., Gerhardt, A. E., Fernandes, G. D., Chagas, P., Sucolotti, M. S., & Kemerich, P. D. C. (2014). Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. *REGET*, 18(1), 66-78.

Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. (2022). *Estatísticas Municipal, Mojui dos Campos*. <https://tinyurl.com/4je22sws>.

Faria, W. C., Martins, F. B., Gomes, E. L. B., & Freitas, C. H. (n. d.). *Sistema Open-Source para Coleta e Armazenamento de Dados Meteorológicos*. <http://tinyurl.com/pdeocr7>.

Fearnside, P. M. (2015). Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. *Megadiversidade*, 11(1-2), 163-172.

Foley, J. A. (2002). El Niño: Southern Oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(79), 1-79.

- França, A. L. F. et al. (2019). Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar (p. 136). Brasília. DF: Ministério do Meio Ambiente.
- Gomes, E. P. (2009). *Levantamento das principais fontes de emissões atmosféricas na cidade de Manaus*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Manaus, Brasil.
- Gomes, V. L., Mariano, R. L., & Caldeira, C. L. (2019). Material particulado atmosférico: fontes de emissão, composição química e efeitos na saúde humana. *Revista Geonorte*, 40(1), 273-288.
- Gonçalves, K. et al. (2012). As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. *Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro*, 17(6).
- Guerra, F. P., & Miranda, R. M. (2011) Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP. In *Anais do segundo Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*.
- Guyon, P. et al. (2005). Airborne measurements of trace gas and aerosol particle emissions from biomass burning in Amazonia. *Atmos Chem Phys*.
- Hacon, S. et al. (1995). Atmospheric mercury and trace elements in the region of Alta Floresta in the Amazon basin. *Water Air Soil Pollut*.

Hair Junior, J. F. et al. (2005). *Fundamentos de métodos de pesquisa em administração*.

Porto Alegre: Bookman.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Estimativas da população residente com dados de referência*.

<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/mojui-dos-campos.html>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2019). *Banco de dados de queimadas*.

<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>.

IPCC (2022). Resumo para formuladores de políticas. In H. O. Pörtner et al. (Eds.).

Mudanças Climáticas 2022: impactos, adaptação e vulnerabilidade. Cambridge University Press.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil. (2007). "*Mudanças Climáticas*".

<https://www.inpe.br/climaespacial> IPCC. IPCC Fifth Assessment Report (AR5) - The physical science basis. IPCC (2013). doi:10.1017/CBO9781107415324.004

Kanda, K, Kameoka, T, Saitoh, K, & Sugano, R. (2011). Field monitoring system using agri-Server. *SICE Annual Conference*. Tokio, Japan.

Kim, Ki-Hyun, Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, 74, 136-143.

- Köppen, W., & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag JustusPerthes.
- Li, Y. et al. (2016). Potential and actual impacts of deforestation and afforestation on land surface temperature. *JGR Atmospheres*, 121(24), 14372-14386.
- Liao, W., Rigden, A. J., & Li, D. (2018). Attribution of local temperature response to deforestation. *JGR Biogeosciences*, 123(5), 1572-1587.
- Lyra, D. G. P. (2006). A influência da meteorologia na dispersão dos poluentes atmosféricos da Região Metropolitana de Salvador. In *Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia*.
- Maciel, R. C. G. et al. (2018). Family farming, land use and sustainability in the Amazon: Focusing on the educational dimension. *Creative Education*, 9, 99-114.
- Mertens, B., Pocard-Chapuis, R., Piketty, M. G., Lacques, A. E., & Venturieri, A. (2002). Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of São Felix do Xingu in South Para. *Agric. Econ.* 27, 269–294.
- Ministério do Meio Ambiente. (2020). *Poluentes Atmosféricos*. Brasília, DF: MMA.
<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidadedoar/poluentesatmosf%C3%A9ricos.html#Hidrocarbonetos>.

Moreira, D. M., Tirabassi, T., & Moraes, M. R. (2008). Meteorologia e Poluição Atmosférica. *Ambiente & Sociedade*. 11(1).

Moreira, J. K. R., Lima, A. C. M., Cardoso, B. A., & Vinagre, M. V. A. (2015). Avaliação da qualidade do ar através de parâmetros biológicos e visuais nos bairros de São Brás, Nazaré e cidade Velha, Belém (PA). *Educação Ambiental em Ação*, 53, 1-16.

Oliveira, R. C., & Silva, R. D. S. (2021). Increase of agribusiness in the Brazilian Amazon: development or inequality? *Earth*, 2, 1077- 1100.

Ometto, J. P., Aguiar, A. P. D., & Martinelli, L. A. (2011). Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges. *Carbon Manag.* 2, 575–585.

ONU. (2021). *Climate change*.

<https://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change>.

Oprea, M., & Miron, C. (2013). Applied Physics Project using the Arduino Platform. In *International conference on Information and Electronics Engineering*. Singapura.

Organização Mundial da Saúde. (2018). *Guidelines for air quality*. Retrieved.

<https://www.who.int/airpollution/guidelines/en>.

Organização Mundial da Saúde. (n. d.). *Ambient, air quality and health.*

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en>.

Pataki, A. H., & Oliveira, M. M. de. (2021, fev.). Estação de monitoramento da qualidade do ar. *Caderno Progressus, Curitiba, 1(1)*, 5-20.

<https://www.cadernosuninter.com/index.php/progressus/article/view/1676>.

Pilato, G. C., Martorano, L. G., Silva, L. K. X., Beldini, T. P., & Neves, K. A. L. (2018).

Padrões de alvos em sistema pecuário extensivo diagnosticados por termografia infravermelho no oeste do Pará. *Revista Agroecossistemas, 10(1)*, 55-72.

Pinto, H. S., Zullo-Jr., J., & Avila, A. M. H. (2008). *Umidade do ar: saúde no inverno.*

<http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidadedo-ar-saude-no-inverno.html>

Queiroz, P. G. M., Jacomino, V. M. F., & Menezes, M. A. B. C. (2007). Composição

Elementar do Material Particulado Presente no Aerossol Atmosférico do Município de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Química Nova, Belo Horizonte, 30(5)*, 1233-1239.

Resende, F. (2007). *Poluição atmosférica por emissão de material particulado:*

avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, Brasil.

Ribeiro, L., et al. (2011). Análise do perigo de incêndios florestais em um município da Amazônia mato-grossense, *Brasil. Floresta*, 41(2), 257-270.

Roosbroeck, S. V., Hoek, G., Meliefste, K., Janssen, N., & Brunekreef, B. (2008). Validity of residential traffic intensity as an estimate of long-term personal exposure to traffic-related air pollution among adults. *Environ Sci Technol*, 42, 1337-44.

Silva, F. A., & Vieira, C. A. (n. d.). *Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras.*

<https://scholar.archive.org/work/cp5pbrj5eneptnc2fzgx23ffwq/access/wayback/https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/download/180/pdf%2018>.

Solci, M. C., & Freitas, A. M. (2009). Caracterização do MP10 e do MP2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. *Química Nova*, 32(7), 1750-1754. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000700013&script=sci_arttext.

Souza, A. et al. (2017). Poluição atmosférica urbana a partir de dados de aerossóis MODIS: Efeito dos parâmetros meteorológicos. *Boletim Goiano de Geografia, Goiana*, 37(3), 466-483.

Souza, E. B., Kayano, M. T., & Ambrizzi, T. (2004). The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19(2), 113-122.

Stefan, I. A., Ferreira, P. I. L., & Sousa, A. S. de. (2020). Protótipo de medidor de gases poluentes usando tecnologia de baixo custo. *Revista Principia, João Pessoa*, 1(49), 31. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n49p31-42>.

Torres, F. T. P. et al. (2009). Relações entre incêndios em vegetação e elementos meteorológicos na cidade de Juiz de Fora, MG. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(4), 379-389.

Waldheim, P. V., Araujo, R. M. M., & Carvalho, V. S. B. (2006). Relação entre altas concentrações de partículas inaláveis e o condicionamento meteorológicos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro entre 2000 e 2005. *In Anais do décimo quarto Congresso Brasileiro de Meteorologia*.

Wong, Yee Ka et al. (2019, July). Estimating contributions of vehicular emissions to PM_{2.5} in a roadside environment: A multiple approach study. *Science of The Total Environment*, 672(1), 776-778.

Zhu, X., Li, M., Fan, Y., Li, X., & Fu, J. S. (2019). Impacts of climate change on air quality. *Environment International*, 126, 802-809.