Revista Geoconexões online

Qualidade do ar na cidade de Manaus: material particulado e suas relações com as queimadas

OLIVEIRA, Bruna Larissa Aires de[1]
SOUZA, Rodrigo Augusto Ferreira de[2]
ANDREOLI, Rita Valéria[3]

Recebido (Received): 12/12/2023 Aceito (Accepted): 02/02/2024

Como citar este artigo: OLIVEIRA, B.L.A.; SOUZA, R.A.F.; ANDREOLI, R.V. Qualidade do ar na cidade de Manaus: material particulado e suas relações com as queimadas **Geoconexões online**, v.4, n.2, Edição Especial, p.108-118, 2024 (Dossiê: Saúde, Ambiente e Desenvolvimento).

RESUMO: A Amazônia tem enfrentado incêndios florestais com emissões de poluentes para a atmosfera, impactando na qualidade do ar e na saúde humana. Manaus se destaca como uma importante área de estudo para avaliar o impacto das queimadas na qualidade do ar. A regulamentação brasileira recomenda o limiar máximo de 25 µg/m3 (em 24h) para o Material Particulado fino (MP2.5), para que o ar seja considerado de boa qualidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade temporal do MP2.5 na atmosfera de Manaus, durante o período de 2003 a 2021, a fim de verificar se os níveis de poluição do ar estavam dentro dos limites recomendados. Os dados foram avaliados utilizando análises de diagramas de caixa, considerando o período total do estudo como referência, para avaliar dois períodos de distanciamento social para o combate a COVID-19. Os resultados mostram que o MP2.5 apresenta um ciclo anual bem definido, com concentrações menores do que 25µg/m^3 no período chuvoso. No período seco, as concentrações de MP2.5 atingem valores superiores ao máximo recomendado. Durante isolamento social foi possível observar uma diminuição na concentração média mensal, que pode estar associada à diminuição das atividades industriais e a redução na mobilidade urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Material particulado; queimadas; Amazônia.

AIR QUALITY IN THE CITY OF MANAUS: PARTICULATE MATTER AND ITS RELATIONSHIP WITH WILDFIRES

ABSTRACT: The Amazon has been facing forest fires resulting in emissions of pollutants into the atmosphere, impacting air quality and human health. Manaus stands out as a crucial area of study to assess the influence of these fires on air quality. Brazilian regulations recommend a maximum threshold of 25 µg/m³ (in 24 hours) for Fine Particulate Matter (PM2.5) to categorize air as of good quality. Thus, this study aimed to investigate the temporal variability of PM2.5 in the atmosphere of Manaus from 2003 to 2021, to determine if the air pollution levels were within the recommended limits. Data were evaluated using box plot analyses, considering the entire study period as a reference, to assess two periods of social distancing aimed at combating COVID-19. The results indicate that PM2.5 demonstrates a well-defined annual cycle, with concentrations lower than 25 µg/m³ during the rainy season. In the dry season, PM2.5 concentrations exceed the recommended maximum. During periods of social isolation, there was an observed decrease in the average monthly concentration, likely associated with reduced industrial activities and decreased urban mobility.

KEYWORDS: Particulate matter; wildfires; Amazon.

[1] Graduanda em Meteorologia na UEA. E-mail: blao.mtr18@uea.edu.br
[2] Graduado em Física, Doutor em Meteorologia e atua como professor de Meteorologia na UEA.. E-mail: rafsouza@uea.edu.br. Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0838-3723
[3] Graduada em Física, Doutora em Meteorologia e atua como professora de Meteorologia na UEA.. E-mail: rasouza@uea.edu.br. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5531-0733

INTRODUÇÃO

A Amazônia tem enfrentado nos últimos anos secas severas que afetaram grandes áreas, aumentando o risco de incêndios florestais, mortalidade de árvores e emissões de gases e material particulado para a atmosfera (Jolly et al., 2015; Panisset et al., 2018; Aragão et al., 2018). As secas severas que ocorreram nas últimas décadas foram consideradas as mais severas nos últimos 100 anos na região (Marengo et al., 2011; Anderson et al., 2018). A ocorrência de surtos de queimadas aumentou e alcançou um total de 231.720 focos, com anomalias positivas de queimadas em relação ao período de 1998 a 2015, afetando uma área de 363.245 km² (Aragão et al., 2018).

Consequentemente, este cenário de incêndios florestais cada vez mais frequentes e severos, principalmente durante o período de ocorrência de eventos climáticos extremos, são responsáveis por emissões significativas de gases traço e material particulado (aerossóis) para a atmosfera, os quais desempenham um importante papel na química atmosférica, impactando na qualidade do ar e na saúde humana em escala global, regional e local (Andreae et al., 2004, 2012; Artaxo et al., 2005; Longo et al., 2009). Em escala global, as emissões das queimadas contribuem para o aumento da concentração de gases de efeito estufa e material particulado na atmosfera, entre outros efeitos no clima do planeta. Estudos têm mostrado que em uma escala regional, as queimadas de grandes áreas na Amazônia modulam a variabilidade interanual da emissão de gases de efeito estufa, bem como de material particulado fino (MP2.5) para a atmosfera (Artaxo et al., 2005; Andreae et al., 2012; Ribeiro et al., 2018). Em escala local geram a degradação da floresta, mortalidade da fauna silvestre, redução da atividade dos microrganismos, redução da matéria orgânica, erosão do solo, redução de nutrientes do solo e alteração do microclima local, entre outros problemas.

Como observado por diferentes estudos, as queimadas têm ocasionado uma série de impactos ambientais negativos (Brando et al., 2014; Silva et al., 2018), na saúde (Arbex et al., 2004; de Oliveira Alves et al., 2017) e econômicos (Brown et al., 2006). Particularmente na Amazônia, as queimadas são responsáveis por 20% das emissões totais globais de material particulado e 64% das emissões totais do Brasil, dominando os impactos regionais sobre a qualidade do ar e exercendo uma série de efeitos diretos e indiretos no clima, no funcionamento do ecossistema amazônico e sobre a saúde da população (Reddington et al., 2015; Liu et al., 2016). Estudos realizados em algumas cidades da região amazônica mostraram que há aumento nos atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias associados à exposição ao material particulado da queima de biomassa, evidenciando que as

queimadas na região são um importante problema de saúde pública (Carmo et al., 2010; Ignotti et al., 2010; Andrade et al., 2012; Alves et al., 2015, de Oliveira Alves et al., 2017).

Dentro deste contexto, a cidade de Manaus se destaca como uma importante área de estudo para analisar e compreender o nível de poluição atmosférica na área urbana, além do impacto das queimadas da região na qualidade do ar. A capital do estado do Amazonas está localizada na porção central da Amazônia, rodeada por recorrentes incêndios florestais, predominantemente no período seco do ano, possui mais de 2 milhões de habitantes e projeção de crescimento rápido e contínuo da população nas próximas décadas. Ressalta-se ainda a oportunidade de usar os dados da estação de monitoramento da qualidade do ar (MP2.5), instalada na Escola Superior de Tecnologia, da Universidade do Estado do Amazonas (EST/UEA), em Manaus. Assim, tem-se uma oportunidade única de estudar os impactos da poluição urbana e das queimadas na qualidade do ar da cidade de Manaus, com base no que determina o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Esta é a primeira iniciativa de realizar o monitoramento contínuo do MP2.5, 24h por dia, na cidade de Manaus. Atualmente, o CONAMA recomenda o uso de um limiar máximo de 25 μg/m³ (valor médio em 24h) para que o ar atmosférico seja considerado de boa qualidade, isto é, não nocivo à saúde. No entanto, o CONAMA não havia regulamentado o monitoramento do MP2.5 no Brasil, até 2018. Finalmente, em 19 de novembro de 2018, o CONAMA publica a Resolução n. 491, que trata dos limiares de poluentes atmosféricos recomendados para o Brasil, dentre eles o MP2.5. A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece o MP2.5 como um dos poluentes mais perigosos para a saúde humana. Por ser tão pequeno e leve, o tempo de residência dessas partículas em suspensão na atmosfera é maior, quando comparado com outras partículas de maior diâmetro. Assim, o MP2.5 tem maior chance de atingir o sistema respiratório mais profundamente, penetrando nos pulmões e no sistema circulatório das pessoas, causando mal à saúde da população.

Diante do exposto, o melhor entendimento dos níveis de concentração do MP2.5 na cidade de Manaus é fundamental para fomentar iniciativas locais de redução dos impactos negativos da poluição urbana e das queimadas sobre a qualidade do ar. Portanto, o presente estudo busca avaliar os níveis de qualidade do ar em Manaus, a partir das concentrações de material particulado fino (MP2.5) coletadas na EST/UEA, além de avaliar a sua relação com as queimadas da região. Além do interesse científico, os resultados auxiliarão no desenvolvimento de ações de políticas públicas de gestão de qualidade do ar que visem a prevenção, o combate e redução das emissões na Região Metropolitana de Manaus (RMM).

DESENVOLVIMENTO

Este trabalho possui as seguintes áreas de estudo: a) a Região Metropolitana de Manaus (RMM), para as análises de ocorrência de queimadas; e b) a cidade de Manaus (AM), para as análises sobre os níveis de qualidade do ar (MP2.5), com base no que determina o CONAMA. Com relação aos dados utilizados, citam-se: a) os focos de queimadas, identificados por satélites ambientais; e b) as concentrações de MP2.5, medidas e estimadas em superfície, sobre a área urbana da cidade de Manaus.

No caso dos dados sobre as queimadas na região de estudo, o sensoriamento remoto tem sido utilizado como uma ferramenta essencial para a detecção e monitoramento dos focos de queimadas, com vantagens de obter informações de áreas extensas e remotas, facilitando as atividades de planejamento de prevenção, controle e mitigação dos danos das queimadas (Batista, 2004; Granemann e Carneiro, 2009). Os dados de focos de queimadas são oriundos do Sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo do satélite AQUA, com resolução espacial de 1km por 1km e resolução temporal diária, o qual tem sido utilizado como referência para a detecção e quantificação dos focos de queimadas desde o início dos anos 2000 (Morisette et al., 2005). Os dados estão disponíveis na plataforma on-line do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, que monitora os focos de queimadas continuamente na América do Sul. Os dados do satélite AQUA disponíveis para serem utilizados neste trabalho cobrem o período de 2003 a 2022.

As concentrações de MP2.5 foram registradas por uma estação de monitoramento de qualidade do ar instalada na Escola Superior de Tecnologia (EST) da UEA. Detalhes técnicos sobre a estação de qualidade do ar podem ser encontrados no endereço eletrônico do fabricante, PurpleAir (https://www.purpleair.com). Pelo fato da estação de MP2.5 ter sido instalada a partir de agosto de 2019, as análises foram realizadas para o período de dados disponíveis (08/2019 a 08/2022). Com relação aos dados estimados de MP2.5, utilizou-se dados de qualidade do ar do Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), o qual oferece informações de um modelo numérico de previsão de qualidade do ar para diferentes gases traço na atmosfera e material particulado. Para o MP2.5, por exemplo, as previsões são produzidas a cada intervalo de 3h, com análises às 0h e 12h UTC, com resolução espacial de 40km por 40km. Detalhes técnicos sobre o modelo CAMS podem ser encontrados em Eskes et al. (2020).

A metodologia desenvolvida pode ser dividida em três diferentes etapas. Inicialmente foram feitas análises das séries temporais de MP2.5 (observada e estimada) e dos focos de queimadas, a partir da análise exploratória de dados que incluiu cálculos de médias e diagramas de caixa, a fim de avaliar o comportamento temporal dessas duas variáveis. O diagrama de

caixa é um tipo de gráfico que exibe as distribuições do valor mínimo, 1º quartil, mediana, 3º quartil, valor máximo (sem outliers) e outliers (Wilks, 2006). Usando esses 5 valores, o diagrama de caixa essencialmente apresenta um esboço rápido da distribuição dos dados (Wilks, 2006). Em seguida, foi realizada a avaliação qualitativa entre o comportamento anual do MP2.5 e os focos de queimadas na RMM em diferentes períodos. Por fim, foi avaliado o efeito do isolamento social, devido à pandemia da covid-19 em Manaus, nos níveis de concentração de MP2.5, em relação às concentrações encontradas antes da pandemia.

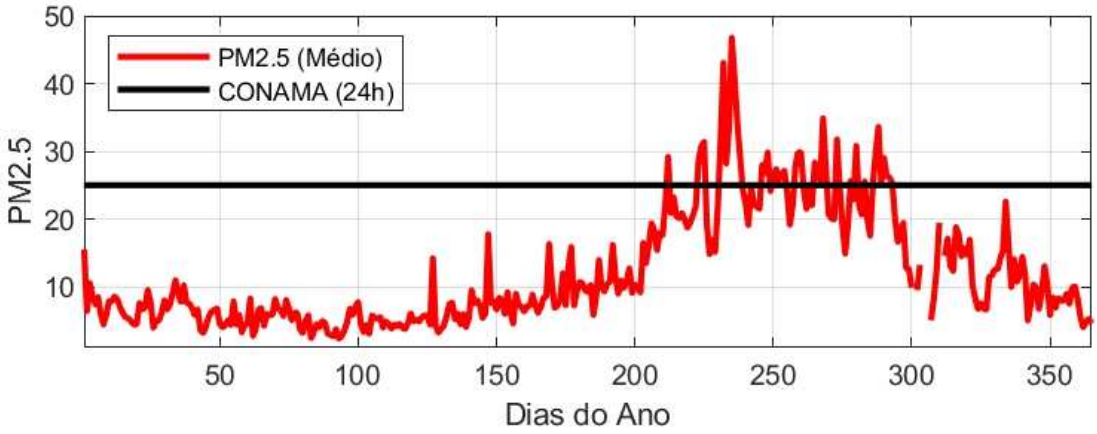
VARIABILIDADE DAS CONCENTRAÇÕES DE MP2.5: OBSERVADAS E ESTIMADAS

Inicialmente, foram analisadas as concentrações de Material Particulado fino (MP2.5) registradas localmente na estação de monitoramento da qualidade do ar, localizada na Escola Superior de Tecnologia (EST), da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), no bairro Parque 10, Zona Centro Sul da cidade de Manaus, para o período de 2019 a 2022.

A Figura 1 apresenta a concentração média de MP2.5 para os quatro (4) anos de dados observados, na qual é possível perceber o comportamento anual médio bem definido do MP2.5. A variação sazonal é caracterizada por menores concentrações de MP2.5 no período de dezembro a maio, que corresponde ao período chuvoso da região e maiores valores no período de agosto a novembro (período seco da região). Além disso, é possível observar na figura o liminar de 25μg/m^3, que representa o limite superior de referência do CONAMA (Resolução 491, de 2018), para nível de qualidade do ar classificado como “bom”. Assim, pode-se notar que no período chuvoso, as concentrações de MP2.5 não ultrapassam o limiar do CONAMA, mostrando que na maior parte do ano a qualidade do ar em Manaus, nas proximidades da EST, é boa. Todavia, durante o período seco (entre os dias 200 e 300 do ano) é possível notar que os níveis de MP2.5 aumentam e atingem níveis maiores do que os recomentados pelo CONAMA, com os maiores valores acontecendo nos meses de setembro e outubro. Assim, com a diminuição das chuvas no período seco a atmosfera da cidade de Manaus tende a ficar mais poluída, com a poluição produzida localmente na cidade, por atividades antrópicas, somada possivelmente aos efeitos das queimadas, muito comuns neste mesmo período.

Quando se faz a comparação do dado observado com o dado estimado pelo modelo numérico de qualidade do ar é possível observar um comportamento sazonal similar. A Figura 2 apresenta uma média da concentração de dados observados da estação de qualidade do ar (PurpleAir), localizada na EST/UEA, para a cidade de Manaus, juntamente à concentração média de dados estimados do modelo numérico de qualidade do ar do Centro Europeu (CAMS), para a cidade de Manaus e seus entornos.

Figura 1 - Concentrações diárias médias de MP2.5 (24h), para os 365 dias do ano, observadas na estação de monitoramento, localizada na Escola Superior de Tecnologia (EST) da UEA, para o período de 2019 a 2022.

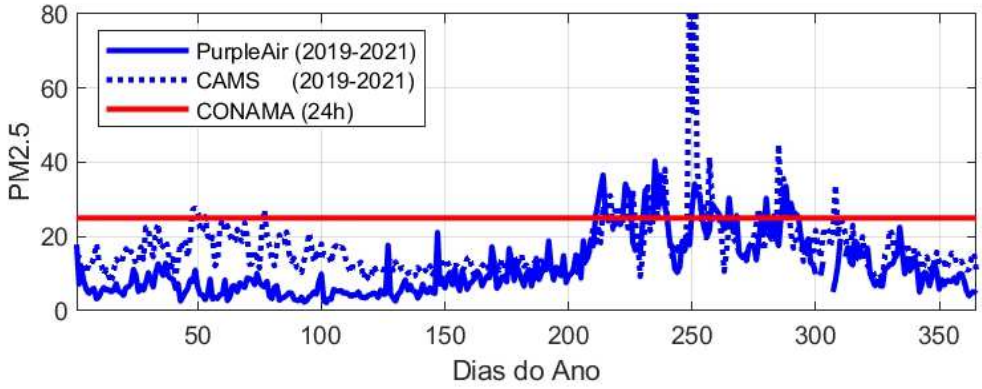


Fonte: o próprio autor.

Ambas para o período de 2019 a 2021. Há uma concordância entre os conjuntos de dados, com uma sazonalidade marcante entre as estações seca e chuvosa da região. Todavia, vale ressaltar que diferenças entre a magnitude dos dados entre os conjuntos de dados ocorrem, uma vez que representam diferentes resoluções espaciais dentro da cidade de Manaus. Os dados do modelo (CAMS), são referentes a uma determinada área que cobre a região de Manaus e ainda seus entornos. Como mencionado na seção anterior, a resolução dos dados de modelo representa uma área de grade de 0,75 por 0,75 grau, havendo possibilidade de sofrer influência pela poluição das áreas adjacentes. Em contrapartida a isso, os dados coletados pela estação de superfície, são dados pontuais, provindos da estação fixada na EST/UEA, referentes apenas a uma área dentro da cidade de Manaus.

Além disso, o modelo é capaz de estimar maiores concentrações de MP2.5 no período chuvoso da região em relação aos dados observados, por possuir maior cobertura espacial, sofrendo mais influência de eventuais queimadas que ocorram na região metropolitana de Manaus, além do transporte horizontal de material particulado e fumaça que pode ocorrer. No período seco, as concentrações são maiores, enquanto a diferença de magnitude entre os dados observados e estimados diminui. No entanto, elevados valores de concentrações médias de MP2.5 estimadas pelo modelo podem ocorrer, como é o caso do dia 250 do ano, que deve estar associado a um evento isolado de queimadas, que pode ter ocorrido neste período.

Figura 2 – Concentrações médias de MP2.5 observadas (PurpleAir) e estimadas (CAMS) para a cidade de Manaus e seus entornos, para o período de 2019 a 2021.

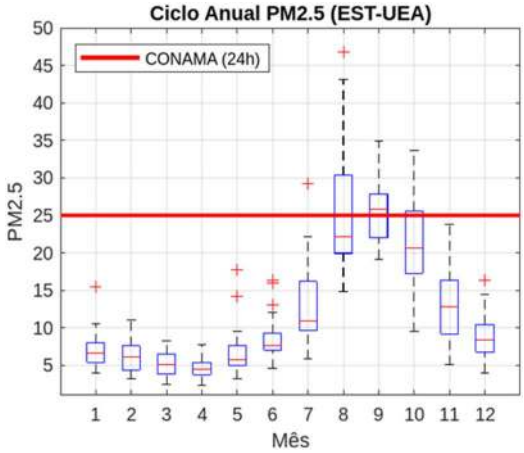


Fonte: o próprio autor.

CICLO ANUAL DE MP2.5 E QUEIMADAS

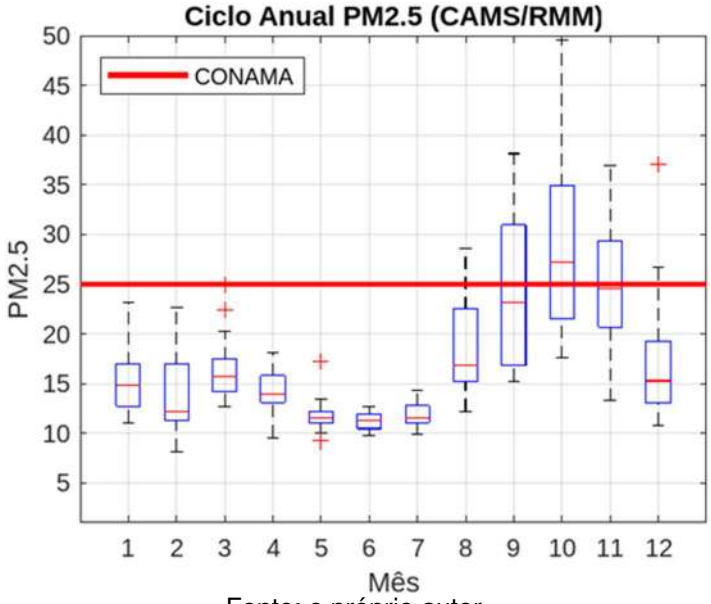
Os resultados a seguir apresentam ciclo anual das concentrações de MP2.5 e dos focos de queimadas para a área de estudo. As Figuras 3 e 4 apresentam o diagrama de caixa (boxplot) do ciclo anual das concentrações diárias de MP2.5 para os dados observados (2019 a 2022) e estimados pelo modelo CAMS (2003-2021), respectivamente. Pode-se perceber que esse ciclo anual é bem definido, pois entre os meses de dezembro a julho (período chuvoso e transição chuvoso-seco) há uma menor variabilidade dos dados médios de MP2.5, os quais estão abaixo do liminar do CONAMA para que o ar seja considerado de boa qualidade. Para os meses de agosto a novembro (período seco e transição seco-chuvoso), as concentrações de MP2.5 tendem a aumentar, ao longo da estação seca, atingindo as máximas concentrações de MP2.5 no pico do período seco. Isso acontece por conta dos eventos de queimadas mais frequentes na região, que acabam impactando na qualidade do ar, por conta do lançamento particulado e gases na atmosfera, como ilustrado na Figura 5.

Figura 3 – Diagrama de caixa do ciclo anual da concentração de MP2.5, para os 4 anos (2019-2022) de dados observados na estação de qualidade do ar da EST/UEA, localizada no município de Manaus.



Fonte: o próprio autor.

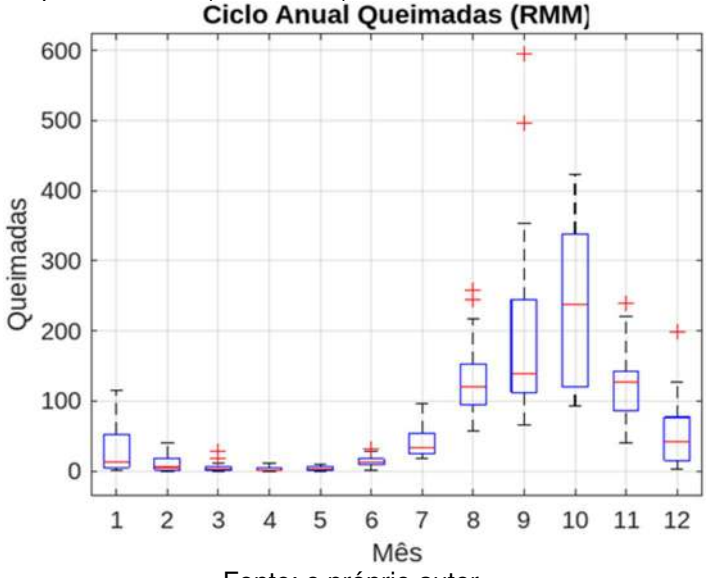
Figura 4 – Diagrama de caixa do ciclo anual da concentração de MP2.5 estimada pelo CAMS, para 18 anos (2003-2021) de dados sobre a cidade de Manaus e seu entorno.



Fonte: o próprio autor.

A Figura 5 apresenta o diagrama de caixa do ciclo anual das queimadas na Região Metropolitana de Manaus (RMM), para o período de 2003 a 2021. É possível uma boa concordância com o ciclo anual das concentrações de MP2.5 na região, mostrando que, de forma geral, as queimadas na região são responsáveis pelos níveis elevados de MP2.5 no período seco do ano sobre a cidade de Manaus, principalmente entre os meses de agosto a outubro, consistente com os resultados encontrados por Ribeiro et al. (2018).

Figura 5 – Diagrama de caixa do ciclo anual do número de focos de queimadas no município de Manaus, para 18 anos (2003-2021) de dados do sensor MODIS/AQUA.



Fonte: o próprio autor.

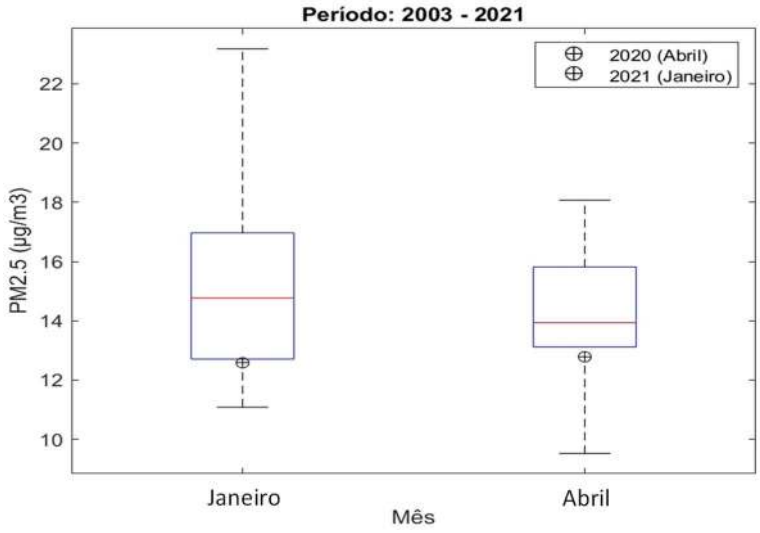
QUALIDADE DO AR DURANTE A COVID-19: ESTUDOS DE CASOS

A qualidade do ar também foi avaliada para dois períodos distintos de distanciamento social para o combate a covid-19. O primeiro estudo de caso relacionado ao período do Decreto n. 42.061, de 16 de março de 2020, relativo ao isolamento social, decretado no início da pandemia em Manaus. Já o segundo estudo de caso, relacionado ao período que marcou a falta de oxigênio na cidade de Manaus, ocorrido em janeiro de 2021.

A Figura 6 apresenta o diagrama de caixa para os meses de janeiro e abril na cidade de Manaus, juntamente às concentrações de MP2.5 observadas nos meses de janeiro de 2021 e abril de 2020. De forma geral foi possível observar nos dois períodos estudados uma concentração média do MP2.5 na atmosfera dentro dos limiares recomendados pelo CONAMA para uma boa qualidade do ar, uma vez que os períodos estudados correspondem à estação chuvosa da região. Todavia, nos eventos de isolamento social foi possível observar uma diminuição na concentração média mensal, que pode estar associada à diminuição das atividades industriais e a redução na mobilidade urbana.

Esses resultados sugerem a necessidade de ampliar o monitoramento sistemático da qualidade do ar na região. Além disso, os resultados podem auxiliar no desenvolvimento de ações de políticas públicas de gestão de qualidade do ar que visem a prevenção, o combate e redução das emissões na área urbana de Manaus, em particular no período de queimadas da região.

Figura 6 – Diagrama de caixa para os meses de janeiro e abril de 2021 e 2020, respectivamente. Com destaque para dois eventos importantes que impactaram na qualidade do ar de Manaus: a) falta de oxigênio na cidade de Manaus em janeiro de 2021; b) Decreto 42.061, de 16/03/2020, relativo ao isolamento social decretado no início da pandemia em Manaus.



Fonte: o próprio autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, as concentrações de MP2.5 na atmosfera de Manaus estão dentro dos limiares recomendados pelo CONAMA, na maior parte do ano. É notório que o aumento das queimadas na região contribui para a degradação da qualidade do ar, principalmente no período seco da região, quando as concentrações de MP2.5 atingem valores superiores aos recomendados pelo CONAMA. Com relação aos eventos de isolamento social foi possível observar uma diminuição na concentração média mensal, que deve estar associada à diminuição das atividades industriais e a redução na mobilidade urbana. A queda na concentração de PM2.5 durante o período de isolamento social na pandemia da covid-19 mostrou uma oportunidade clara para a sociedade de buscar alternativas de mudança do atual modelo de produção e consumo para um modelo de desenvolvimento mais sustentável.

REFERÊNCIAS

DE OLIVEIRA ALVES, Nilmara et al. Biomass burning in the Amazon region: Aerosol source apportionment and associated health risk assessment. Atmospheric Environment, v. 120, p. 277-285, 2015. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.059

ANDERSON, Liana Oighenstein et al. Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 373, n. 1760, p. 20170411, 2018. https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0411

ANDREAE, M. O. et al. Carbon monoxide and related trace gases and aerosols over the Amazon Basin during the wet and dry seasons. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 12, n. 13, p. 6041-6065, 2012.https://doi.org/10.5194/acp-12-6041-2012

ANDREAE, Meinrat O. et al. Smoking rain clouds over the Amazon. Science, v. 303, n. 5662, p. 1337-1342, 2004.https://doi.org/10.1126/science.1092779

ARAGÃO, Luiz EOC et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. Nature Communications, v. 9, n. 1, p. 536, 2018. https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y

ARBEX, Marcos Abdo et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 30, p. 158-175, 2004. https://doi.org/10.1590/S1806-37132004000200015

ARTAXO, Paulo et al. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. Acta Amazônica, v. 35, p. 185-196, 2005. https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200008

BATISTA, Antonio Carlos. Detecção de incêndios florestais por satélites. Floresta, v. 34, n. 2, 2004. https://doi.org/10.5380/rf.v34i2.2402

BRANDO, Paulo Monteiro et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 111, n. 17, p. 6347-6352, 2014. https://doi.org/10.1073/pnas.1305499111

BROWN, I. Foster et al. Monitoring fires in southwestern Amazonia rain forests. EOS, Transactions American Geophysical Union, v. 87, n. 26, p. 253-259, 2006. https://doi.org/10.1029/2006EO260001

CARMO, Cleber Nascimento do et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. Revista Panamericana de Salud Pública, v. 27, n. 1, p. 10-16, 2010. https://doi.org/10.1590/S1020-49892010000100002

DE OLIVEIRA ALVES, Nilmara et al. Biomass burning in the Amazon region causes DNA damage and cell death in human lung cells. Scientific reports, v. 7, n. 1, p. 10937, 2017. https://doi.org/10.1038/s41598-017-11024-3

ESKES, H. J. et al. Upgrade verification note for the CAMS real-time global atmospheric composition service: Evaluation of the e-suite for the CAMS 47R1 upgrade of October 2020. 2021.

GRANEMANN, Daniel Carvalho; CARNEIRO, Gerson Luiz. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. Revista de engenharia e tecnologia, v. 1, n. 1, p. Páginas 55-62, 2009.

IGNOTTI, Eliane et al. Impactos na saúde humana de partículas emitidas por queimadas na Amazônia brasileira. Revista de Saúde Pública, v. 44, n. 1, p. 121-130, 2010.

JOLLY, W. Matt et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. Nature Communications, v. 6, n. 1, p. 7537, 2015. https://doi.org/10.1038/ncomms8537

LIU, Zifei et al. Health and environmental impacts of smoke from vegetation fires: A review. Journal of Environmental Protection, v. 7, p. 1860-1885, 2016. https://doi.org/10.4236/jep.2016.712148

LONGO, Karla Maria et al. Biomass burning in Amazonia: Emissions, long-range transport of smoke and its regional and remote impacts. Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, v. 186, p. 207-232, 2009. https://doi.org/10.1029/2008GM000847

MARENGO, Jose A. et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. Geophysical Research Letters, v. 38, n. 12, 2011. https://doi.org/10.1029/2011GL047436

MORISETTE, Jeffrey T. et al. Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms. Earth Interactions, v. 9, n. 9, p. 1-25, 2005. https://doi.org/10.1175/EI141.1

PANISSET, Jéssica S. et al. Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. International Journal of Climatology, v. 38, n. 2, p. 1096-1104, 2018. https://doi.org/10.1002/joc.5224

REDDINGTON, C. L. et al. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. Nature Geoscience, v. 8, n. 10, p. 768-771, 2015. https://doi.org/10.1038/ngeo2535

RIBEIRO, Igor Oliveira et al. Biomass burning and carbon monoxide patterns in Brazil during the extreme drought years of 2005, 2010, and 2015. Environmental Pollution, v. 243, p. 1008-1014, 2018. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.022

SILVA, Sonaira Souza et al. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. Forest Ecology and Management, v. 424, p. 312-322, 2018. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.041