

# ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR NA CIDADE DE PONTA GROSSA - PR: APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS R E OPENAIR

Data de aceite: 01/04/2024

### Leonardo José Rossoni Quadros

Bolsista voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil  
<https://lattes.cnpq.br/1231757699312321>

### Yara de Souza Tadano

Docente no DAMAT. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil  
<https://lattes.cnpq.br/1411041491592598>

**RESUMO:** O material particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros ( $MP_{2,5}$ ) é um poluente atmosférico que pode provocar doenças respiratórias e circulatórias na população. Seus mecanismos de ação no corpo humano ainda foram pouco desvendados e medidas já vêm sendo tomadas para diminuir a exposição deste poluente à população. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de dados de qualidade do ar, com foco no  $MP_{2,5}$ , da cidade de Ponta Grossa, Paraná, utilizando a ferramenta estatística R e o pacote *OpenAir*. Os dados diários, de outubro de 2016 até abril de 2018, foram aplicados em diversas funções do pacote *OpenAir* e os gráficos e valores

obtidos foram utilizados para determinar, de modo geral, a qualidade do ar da cidade paranaense. O presente estudo constatou que a cidade apresentou considerável melhora no decorrer do tempo observado e identificou como, possivelmente, as principais fontes de emissão de  $MP_{2,5}$ , a combustão veicular e doméstica.

**PALAVRAS-CHAVE:** material particulado; qualidade do ar; saúde; *OpenAir*.

### ANALYSIS OF AIR QUALITY DATA IN THE CITY OF PONTA GROSSA - PR: APPLICATION OF R AND OPENAIR TOOLS

**ABSTRACT:** The particulate matter with an aerodynamic diameter equal or less than 2.5 micrometers ( $PM_{2,5}$ ) is an atmospheric pollutant that can lead to respiratory and circulatory diseases in the population.  $PM_{2,5}$ 's action mechanisms in the human body are still poorly understood and measures have already been taken to lessen this pollutant's exposure to the population. The objective of this work was to make a statistical analysis of the air quality data, focused on  $PM_{2,5}$ , in the city of Ponta Grossa, Paraná, utilizing the statistical tool R and the *OpenAir* package. Daily data, from october 2016 to

april 2018, were fed to many OpenAir functions and the graphs and values obtained were utilized to generally determine the air quality in the city. The present study concluded that the city has shown improvement in air quality at that timespan and the main sources of emissions were, possibly, car and residential combustion processes.

**KEYWORDS:** particulate matter; air quality; health; OpenAir.

## INTRODUÇÃO

A inalação de  $MP_{2,5}$  pode acarretar diversos problemas respiratórios e circulatórios. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA, 2023) apresenta uma lista destes problemas, incluindo ataques cardíacos não fatais, arritmia cardíaca, asma e função pulmonar diminuída. Estes efeitos são variáveis de organismo para organismo e de acordo com a concentração de  $MP_{2,5}$  no ar inalado.

Como Enstrom (2005) situa para os EUA, as diretrizes de qualidade do ar feitas sob estudos de coorte poderiam apresentar resultados diferentes para diferentes locais do país. O mesmo se aplica ao Brasil e ao mundo, pois em cada localidade podem ser observadas composições de  $MP_{2,5}$  diferentes, além de diferentes estilos de vida de cada população, o que dificulta ainda mais a criação de padrões (diretrizes) para a qualidade do ar.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão responsável por estabelecer diretrizes de qualidade do ar. Em 2018, com a resolução n. 491, a CONAMA estabeleceu um padrão de qualidade do ar para o  $MP_{2,5}$ . A primeira meta estabelece uma média diária de  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . O ponto final da resolução ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de média diária e  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de média anual) encontra-se desatualizado em relação à última diretriz da Organização Mundial da Saúde (OMS), ainda que seja compreensível tal fato, visto que a Resolução 491/2018 foi publicada 3 anos antes.

Este trabalho realizou uma análise dos dados de qualidade do ar referentes a cidade de Ponta Grossa (PR) entre os meses de outubro de 2016 e abril de 2018. A análise tem como objetivo explorar a ferramenta R e o pacote *OpenAir* para análises de qualidade do ar, assim como expor as principais fontes de emissão do poluente  $MP_{2,5}$  na cidade. Além disso, o trabalho busca identificar se as concentrações medidas em Ponta Grossa (PR) apresentaram piora na qualidade de vida da população através da correlação entre as concentrações do poluente e as internações por doenças respiratórias e circulatórias.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão apresentadas as principais características do  $MP_{2,5}$ . O  $MP_{2,5}$  pode ser primário (emissão direta na atmosfera) ou secundário (formação por reações químicas enquanto em suspensão) e sua composição é diversa, podendo apresentar aerossóis de nitrato, sulfato e outros. Suas fontes de emissão são das mais variadas – desde escapamentos de carro e fornalhas metalúrgicas até a própria neblina.

Além disso, o diâmetro aerodinâmico do material particulado influencia seu tempo de meia vida na atmosfera, fazendo com que partículas permaneçam em suspensão durante mais tempo que outras. Quanto mais próximo de  $1 \mu\text{m}$  for o diâmetro aerodinâmico, maior será o tempo que a partícula permanecerá em suspensão.

Vale salientar que existe uma problemática com relação ao material particulado 2,5-10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5-10}$ ), visto que estes compreendem as partículas que residem na atmosfera por maior tempo. A remoção do  $\text{MP}_{2,5-10}$  da atmosfera ocorre principalmente por meio da deposição úmida (processo que envolve chuva, neblina ou afins), visto que os demais processos são insignificantes (BRITO et al., 2018).

Logo, vê-se que regiões muito secas, com baixos índices pluviométricos, sofrem com uma maior acumulação de material particulado, tornando-se um risco ainda maior para a população. Além disso, em regiões metropolitanas com alta densidade de prédios, os processos de advecção e convecção que contribuem para o deslocamento do material particulado é dificultado, aumentando a concentração local de  $\text{MP}_{2,5}$ .

## METODOLOGIA

Para analisar os dados de qualidade do ar da cidade de Ponta Grossa foram realizados dois procedimentos, a coleta dos dados e a escolha da abordagem para a análise.

Os dados de concentração de  $\text{MP}_{2,5}$  foram obtidos por Nishida (2018), sendo que foi utilizado um impactador *Harvard*, equipamento manual que utiliza filtros para coletar o poluente e aferir a massa total observada pela diferença de peso entre o filtro com e sem material acumulado. A concentração foi calculada pela massa do poluente identificada no filtro ( $\mu\text{g}$ ) multiplicado por mil sobre o produto entre a vazão de ar passante pelo filtro (L/min) e o período de coleta (min) (POLEZER, 2015). A concentração final é dada em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Os dados atmosféricos, como temperatura, pressão e umidade relativa do ar foram obtidos com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e os dados de internação coletados do site do DATASUS, referentes aos dados do Sistema Único de Saúde (SUS) (SILVA, 2019).

Os dados foram coletados na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) no centro da cidade de Ponta Grossa – PR (Figura 1). A escolha do local ocorreu por diversos fatores, como possibilidade de acesso diário, disponibilidade de energia elétrica, facilidade de instalação do equipamento e por ser um espaço aberto - permitindo uma amostragem representativa da concentração que atinge os transeuntes (Nishida, 2018).

Com relação às coletas, Nishida (2018) descreve que foram realizadas diariamente entre os dias 28 de novembro de 2016 e 1 de julho de 2018. As amostragens foram realizadas utilizando filtros de policarbonato por ser um material inerte.

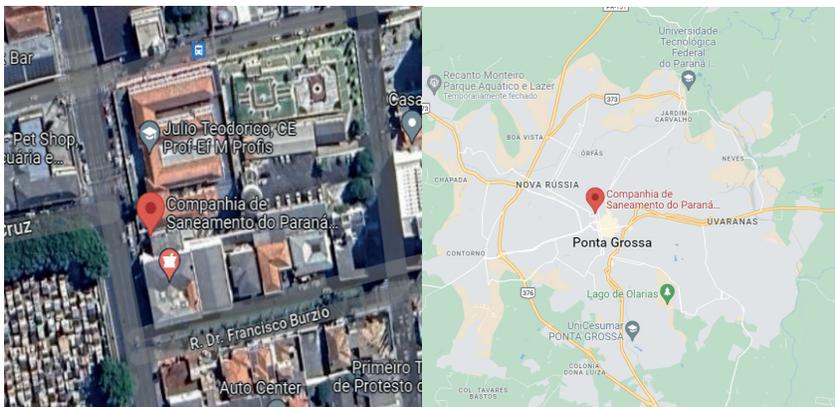


Figura 1 – Ponto de coleta dos dados (SANEPAR, Ponta Grossa – PR).

Fonte: Google Maps (2023).

A ferramenta utilizada para realizar este trabalho é o pacote *OpenAir*, desenvolvido por David Carslaw, Jack Davison e Karl Ropkins (Carslaw, D. C. e K. Ropkins, 2012) para uso no *software* R. As funções provenientes do pacote têm por finalidade a análise de dados de qualidade do ar e, por consequência, foram utilizadas para realizar a análise dos dados de Ponta Grossa com relação ao MP<sub>2,5</sub>.

Os poluentes atmosféricos se espalham pela atmosfera de diferentes maneiras. Dentre elas, os poluentes podem ser carregados pelo vento, dispersados por convecção e afins. Assim, para nortear as análises, as funções apresentadas pelo *OpenAir* geram, em sua maioria, um gráfico polar compreendendo Norte, Sul, Leste e Oeste e utiliza as direções do vento para espacializar os dados obtidos. As funções que não apresentam gráficos polares exibem, de alguma outra forma, as intensidades e direções dos ventos, sabendo que estes valores são significativos para análises de qualidade do ar.

A escolha da ferramenta e do pacote ocorreu pela fácil aplicação dos métodos, confiabilidade dos resultados e por serem gratuitos. Pesquisas como a presente são importantes para a divulgação, não somente de resultados significativos para a problemática ambiental e de saúde, mas também para a divulgação de ferramentas como o *OpenAir* – gratuita e útil para estes fins.

Diversas funções foram utilizadas durante a análise, sendo descritas as mais utilizadas. A função *summaryPlot* deve sempre preceder as análises realizadas no R junto ao *OpenAir*. Ela reúne todos os dados em apenas um gráfico, possibilitando uma compreensão geral dos valores e dando uma perspectiva de quais devem ser os próximos gráficos gerados (dependendo da análise que se deseja fazer).

Esta função apresenta a média dos dados válidos no período de tempo considerado, quais dados estão faltando neste período, máximos, mínimos, mediana e diversas outras informações (curva dos dados, percentual do total, data, etc.). Todos estes dados são calculados para cada coluna da tabela (ou cada variável numérica da base de dados).

A função *polarPlot* exibe os dados dispostos num gráfico polar atribuindo a cada combinação de velocidade do vento e direção do vento uma concentração do poluente. Desta forma, a angulação dada pela direção do vento (de onde o vento está vindo) atribui uma posição no círculo e a velocidade do vento define a distância que terá do centro.

Esta função é de grande utilidade para observar a distribuição das concentrações e identificar as possíveis fontes dos poluentes. O gráfico gerado proporciona uma análise precisa quando observadas as concentrações de diferentes tipos de poluentes simultaneamente, assim como distribuição de poluente por velocidade do vento – por exemplo, concentrações altas em velocidades do vento altas são um indício de que a fonte é geradora de pluma. Pode ser utilizada em conjunto a um mapa, para melhor espacializar as distribuições de vento.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio do gráfico gerado pela função *summaryPlot* (Figura 2), pode-se identificar dois períodos de maiores concentrações de  $MP_{2,5}$  na atmosfera (de outubro a dezembro de 2016 e de julho a setembro de 2017). Desta forma, como ponto de partida da análise, foram explorados estes dois espaços de tempo isoladamente, além da análise geral dos dados.

Pela Figura 2, observa-se que algumas variáveis apresentam comportamento senoidal, como a temperatura diária média e as internações por doenças respiratórias. Este comportamento sugere que durante as estações frias há o aumento de ocorrências de doenças respiratórias, algo que não é observado para as doenças circulatórias que, aparentemente, não seguem um padrão durante o ano.

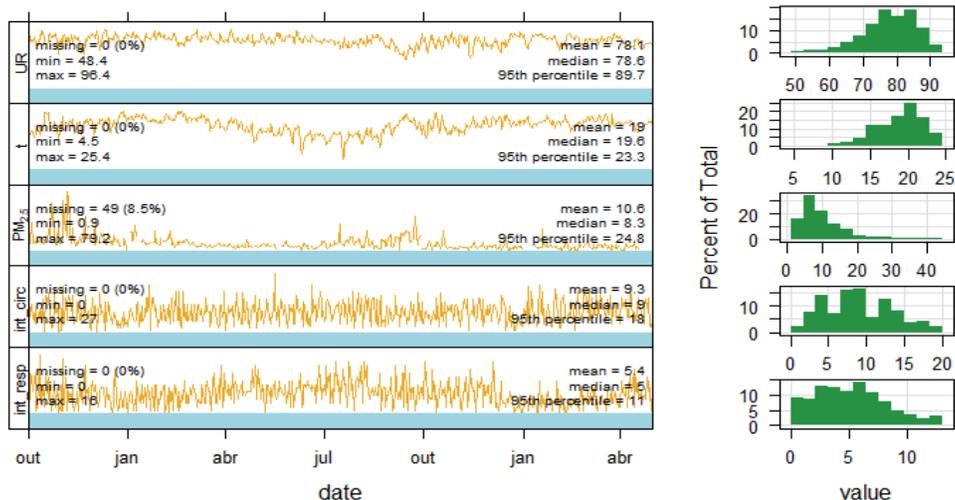


Figura 2 - *SummaryPlot*, de cima para baixo umidade relativa do ar, temperatura diária média, concentração de  $MP_{2,5}$ , internações por doenças circulatórias e por doenças respiratórias.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Pode-se ainda observar que, a maioria das variáveis possuem uma distribuição normal ou de Poisson, e por esta razão, muitos estudos que avaliam os impactos da poluição atmosférica na saúde populacional utilizam modelos de regressão estatística que tomam como base estas distribuições (TADANO, et al., 2012).

Para conferir se os episódios referentes ao final de 2016 realmente são atípicos, é possível utilizar as funções *calendarPlot* e *polarPlot*. Para anotar os valores mais discrepantes deste período foi utilizada como referência a média diária referente ao percentil 95%, equivalente a  $46,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . E, por fim, os dados serão comparados com os três primeiros meses de 2017, com o intuito de desvendar a inconsistência das concentrações apresentadas na linha referente ao  $\text{MP}_{2,5}$  na Figura 2.

A diminuição das médias trimestrais, percebido pela diferença entre as escalas da Figura 3 (c) e (d) é um indicativo de que os valores médios diários de concentração de  $\text{MP}_{2,5}$  no final de 2016 são, no geral, mais altos que os do início de 2017. Desta forma, uma comparação direta entre os valores diários pode ser enganosa, sendo uma comparação entre a frequência de episódios de alta mais precisas. Assim, percebe-se pelas Figuras 3 e 4 (a) e (b) que a frequência de ocorrência destes episódios em 2016 é baixa (1 vez por direção do vento, quando há altas concentrações). Concluiu-se que estes episódios são, muito possivelmente, atípicos (independentemente da causa, como as condições de dispersão atmosférica).

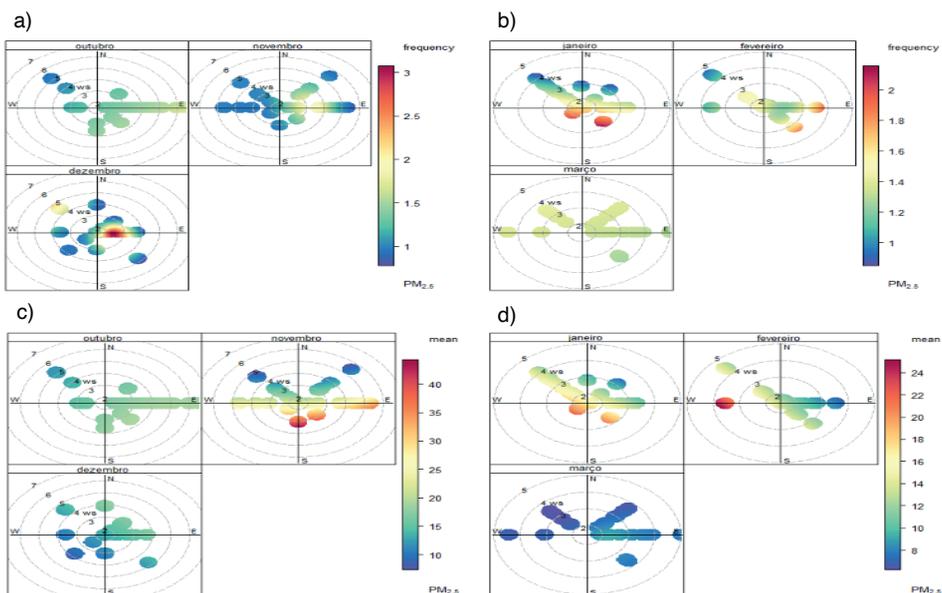


Figura 3 - *polarPlot* de outubro a dezembro de 2016 (a, c) e janeiro a março de 2017 (b, d) para as estatísticas de frequência e média.

Fonte: Autoria Própria (2023).

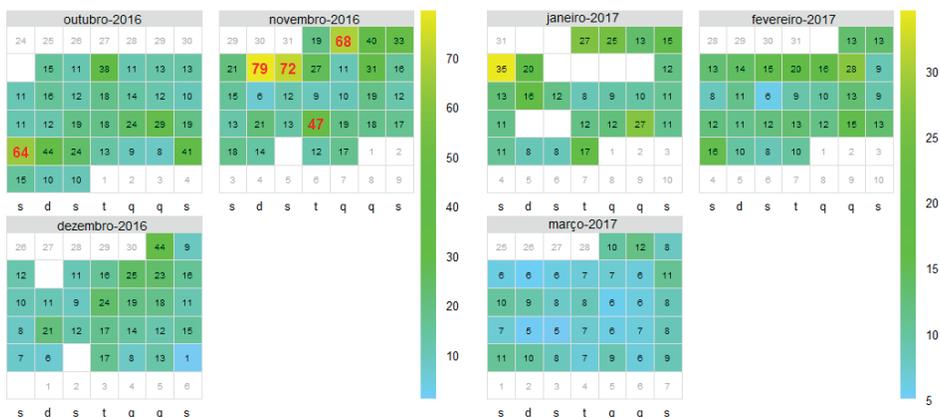


Figura 4 - *calendarPlot* dos meses de outubro a dezembro de 2016 (a) e janeiro a março de 2017 (b) com valor anotado de concentração média diária.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Nesta análise, as funções se complementam. Enquanto o *calendarPlot* (Figura 4) oferece uma perspectiva temporal e isolada dos episódios em seus respectivos dias, o *polarPlot* apresenta dados estatísticos relevantes para a interpretação desta distribuição, como a média e a frequência de ocorrência. Isso possibilita que casos atípicos, como a alta concentração registrada no vento a noroeste na primeira semana de novembro de 2016, sejam percebidos e não afetem a análise do restante dos dados.

Com relação ao período de tempo referente aos meses de julho a setembro de 2017, é possível realizar o mesmo caminho de análise. Desta vez, contudo, é possível observar a progressão do aumento e diminuição das concentrações através do tempo. Assim, serão comparados 3 períodos de 3 meses do ano de 2017, um período antes e um depois do aumento das concentrações de  $MP_{2,5}$  na atmosfera. Visto que este ano apresentou concentrações consideravelmente mais baixas, a referência considerada foi o ponto final (PF) da resolução 491 da CONAMA (concentrações boas são menores ou iguais à  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de poluente).

Por meio das Figuras 5 e 6, nota-se que, diferentemente do período de 2016, os episódios de maiores concentrações de  $MP_{2,5}$  na atmosfera em 2017 foram recorrentes durante um longo período de tempo (de julho a setembro) em comparação com os três meses anteriores e posteriores a este período, principalmente durante o mês de setembro.

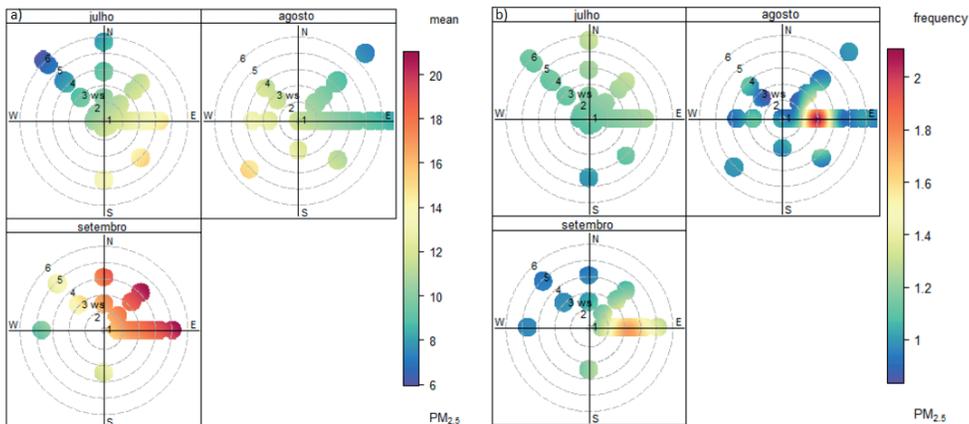


Figura 5 - *polarPlot* dos meses de julho a setembro de 2017 para as estatísticas de média e frequência.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Vê-se que, além do aumento na média das concentrações entre julho e setembro, a frequência de episódios próximos ao PF também aumentou. Em paralelo, os períodos de abril a junho e outubro a dezembro apresentaram médias e concentrações máximas menores.

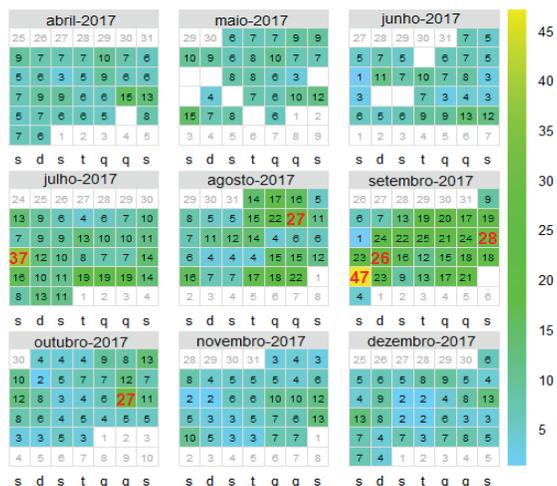


Figura 6 - *calendarPlot* dos meses de abril a dezembro de 2017 com valor anotado de concentração média diária.

Fonte: Autoria Própria (2023).

As causas destes aumentos podem variar e se tornam complexas demais para a análise que se pretende fazer. Pode-se especular que a discrepância nos valores comparado ao resto do ano foi devido ao aumento de processos urbanos de combustão (veicular e doméstica), fontes comuns de  $MP_{2,5}$  segundo Tucker (2000). Além disso, observou-se uma média de umidade relativa do ar de 65% neste mês, sendo esse um fator agravante em potencial.

Contudo, é seguro dizer que, muito provavelmente, o aumento de episódios que extrapolaram o limite do PF não foram causados apenas pela má condição de dispersão (baixa umidade). Visto que, apesar da baixa umidade, os ventos continuaram sendo um fator de dispersão do poluente.

Por fim, para realizar uma análise geral dos 3 anos, os dados obtidos serão analisados conforme os padrões da nova diretriz de qualidade do ar publicada pela OMS (OMS, 2021) e os padrões da resolução 491 publicada pela CONAMA (CONAMA, 2018), respectivamente, 15 e 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para concentrações diárias e 5 e 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para a média anual. É de grande importância perceber que ambas as publicações foram realizadas após a coleta dos dados e não representam as diretrizes da época.

Destaca-se que 2017 manteve a média anual de 9,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mantendo-se no PF da Resolução CONAMA 491/2018. Quanto às médias diárias de concentração, o ano de 2017 registrou concentrações máximas menores do que o PF da CONAMA para 97% dos registros. Pode-se afirmar que o aumento nas concentrações observados nas Figuras 5 e 6 foram mitigados ao longo do tempo e não afetaram os padrões anuais da CONAMA.

Entretanto, para os novos padrões da OMS, o ano de 2017 ultrapassou o limite de 4 dias com concentrações superiores ao limite diário de 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e também se manteve acima dos 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  previstos para a média anual. Dessa forma, a cidade não se manteve dentro dos padrões da OMS, mas se apresentou dentro dos limites estabelecidos para o último ponto intermediário da diretriz.

Enquanto isso, em 2018, os registros máximos se encontram dentro do PF para ambas as diretrizes, não tendo ultrapassado mais que 4 vezes os limites diários máximos. É importante destacar que seria necessário observar os dados do restante do ano para determinar se os limites diários de concentração foram cumpridos ou se os meses de julho a agosto contém um aumento periódico de episódios de alta concentração. No geral, percebe-se uma melhora considerável na qualidade do ar na cidade.

Com relação às implicações do poluente  $MP_{2,5}$  na saúde populacional, o presente trabalho não identificou correlações entre as concentrações de  $MP_{2,5}$  e as internações por doença respiratória e circulatória nos testes realizados no *software* R (correlação de *Spearman*, *Pearson* e *Kendall*). O valor de *p* mais baixo foi encontrado no teste de correlação de *Kendall* e é igual à 0,2859, indicando uma tendência não linear dos dados. Este resultado pode ser consequência da escolha exclusiva de dados de internações pelo registro do SUS, desconsiderando os demais, como os dados de clínicas particulares ou planos de saúde, internações contabilizadas em outros municípios, indivíduos que não buscaram ajuda médica e demais fatores.

## CONCLUSÕES

Observou-se que a ferramenta estatística R e o pacote *OpenAir* apresentam grande utilidade e simplicidade de execução, são facilmente obtidos e entregam bons resultados no processamento e análise de dados da qualidade do ar. A ferramenta *OpenAir* apresenta alta especificidade para este tipo de análise, visto que a grande maioria de suas funções leva em consideração as velocidades de vento, a direção do vento e o tempo, de forma que os dados sempre estão dispostos espacialmente, temporalmente ou ambos. Estes valores são importantes para considerar fontes de poluentes, condições de dispersão, tempo de permanência de poluentes na atmosfera (em casos de análises mais precisas e dados mais abundantes), etc. A aplicação de ferramentas como essas devem ser encorajadas a fim de divulgar a existência de tecnologias gratuitas e de bom rendimento. É importante também que seja mantido o trabalho cooperativo na produção de novas funcionalidades e correção/melhoramento do código.

Quanto à análise dos dados referentes à cidade de Ponta Grossa, pode-se perceber que as condições de qualidade do ar da cidade até o início de 2018 estavam caminhando para os limites “seguros” dispostos pela OMS e já estavam de acordo com a CONAMA. No entanto, é visto que a qualidade do ar pode ter afetado a saúde da população ao longo dos anos anteriores, propiciando piora na saúde pulmonar e circulatória. A umidade relativa do ar na cidade (majoritariamente acima de 70%) pode contribuir para uma maior deposição do material particulado e, apesar da ausência de ventos calmos (com velocidade menor que 0,5 m/s), entende-se que a ressuspensão do  $MP_{2,5}$  é baixa e insignificante no quadro geral. A predominância de ventos a oeste sugere que as maiores fontes de  $MP_{2,5}$  estejam a leste. Novos estudos devem ser realizados em busca destas fontes e dos meios para diminuir sua concentração direta ou indiretamente (através da diminuição nas emissões). Tendo em vista que a cidade não apresentou registros de ventos fortes, crê-se que as principais fontes são combustão veicular, comercial e residencial e não de processos industriais ou processos geradores de plumas. Finalmente, é interessante verificar os dados de incidência de doenças circulatórias e respiratórias na cidade de forma mais abrangente e, então, realizar novos testes, mais minuciosos, para determinar se, de fato, não existe correlação entre as concentrações de  $MP_{2,5}$  na atmosfera e a saúde populacional.

## REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 19 nov 2018.
2. BRITO, G. F. da S.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V. **O impacto do material particulado na qualidade do ar**. Revista Virtual de Química, v. 10, n. 05, p. 1335-1354, 2018.

3. CARSLAW, D. C.; ROPKINS, K. **Openair — An R package for air quality data analysis**. Environmental Modelling & Software, [S.L.], v. 27-28, p. 52-61, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>.
4. DE SOUZA TADANO, Y.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. **Methodology to assess air pollution impact on human health using the generalized linear model with Poisson Regression**. In: Air Pollution-Monitoring, Modelling and Health. IntechOpen, 2012.
5. ENSTROM, J. E. Fine particulate air pollution and total mortality among elderly Californians, 1973–2002. Inhalation toxicology, v. 17, n. 14, p. 803-816, 2005. Organização Mundial da Saúde. **WHO global air quality guidelines**. Geneva, 2021.
6. EPA – U. S. Environmental Protection Agency. **Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)**. Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>. Acesso em: 12 set. 2023.
7. POLEZER, G.. **Materiais antropogênicos suspensos na atmosfera de Curitiba**. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Curitiba, 2015. 146 f.
8. SILVA, L. V. **Avaliação de impacto do material particulado na saúde da população de Ponta Grossa**. 2019. 54 pgs. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado de Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.
9. TUCKER, W. G. **An overview of PM2.5 sources and control strategies**. Fuel Processing Technology, v. 65, p. 379-392, 2000.