



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO NO RIO DE JANEIRO (RJ)

Palavras-chave: MP; Monitoramento ambiental; Poluição atmosférica

Autores:

PÂMELA CRISTINA GONÇALVES SILVA, FT – UNICAMP

Ma. PRISCILA BOLETA GONÇALVES (Coorientadora), FT - UNICAMP

Dr. DANILO COVAES NOGAROTTO, FT - UNICAMP

Prof^(a). Dr^(a). SIMONE ANDRÉA POZZA(Orientadora), FT – UNICAMP

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica pode ser definida como a contaminação do ambiente interno ou externo por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera (WHO, 2023). Um dos principais poluentes é o Material Particulado (MP) atmosférico, que é categorizado com base no diâmetro aerodinâmico das partículas. Partículas com diâmetro menor ou igual a 2,5 μm são classificadas como MP_{2,5} ou Partículas Inaláveis Finas, enquanto aquelas com diâmetro menor ou igual a 10 μm são denominadas MP₁₀ ou Partículas Inaláveis (Seinfeld; Pandis, 2016).

Essas partículas têm origem predominantemente em emissão de veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, entre outros (CETESB, 2025). O MP está diretamente associado ao desenvolvimento de diversas doenças (Santos et al., 2021), como doenças pulmonares obstrutivas crônicas, câncer de pulmão e pneumonia que, juntas, são responsáveis por cerca de 7 milhões de mortes prematuras anuais (WHO, 2023).

O município do Rio de Janeiro (RJ) é um importante centro urbano e logístico, com intensa circulação de veículos, atividade portuária, aeroportuária e grandes concentrações populacionais, fatores que podem influenciar diretamente na concentração de MP. O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) disponibiliza os dados de concentrações diárias de diversos poluentes atmosféricos, incluindo o MP₁₀, provenientes de mais de 100 estações (INEA, 2025). No entanto, esses dados apresentam lacunas e possuem estações com o *status* de desabilitadas.

A presente pesquisa teve como objetivo realizar uma análise espaço-temporal das concentrações de MP₁₀ na atmosfera do Rio de Janeiro, considerando as concentrações e padrões temporais buscando contribuir para a compreensão da dinâmica de comportamento deste poluente, entre os anos de 2015 e 2022.

METODOLOGIA

O município do Rio de Janeiro, situado na região Sudeste do Brasil, ocupa área territorial de aproximadamente 1.200 km² e, de acordo com o último censo do IBGE (2022), abriga mais de 6,2 milhões de habitantes. O Produto Interno Bruto (PIB) per capita do município é de R\$53.078,23 (IBGE, 2022) e sua atividade econômica é majoritariamente centrada no setor de serviços, que responde pela maior parte dos empregos formais (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2023).

A partir dos dados públicos disponibilizados pelo portal do Sistema Integrado de Gestão da Qualidade do Ar (SIGQAR) (INEA, 2025), foram selecionadas quatro estações da Região Metropolitana do Rio de Janeiro com maior continuidade de registros entre janeiro de 2015 e dezembro de 2022, sendo elas Adalgisa Nery, Ilha de Paquetá, Ilha do Governador e Largo do Bodegão. A Tabela 1 apresenta a porcentagem anual de dados horários disponíveis em cada uma delas, considerando o total de registros horários esperados. Foram analisados dados de concentração de MP₁₀ (µg/m³), direção do vento (graus) e velocidade do vento (m/s).

Tabela 1 - Disponibilidade dos dados horários de MP₁₀ (%) nas Estações de Monitoramento do município do Rio de Janeiro (RJ) entre os anos de 2015 e 2022

Estação	Ano							
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Adalgisa Nery	83,74	74,24	64,12	81,10	71,14	86,42	83,72	78,46
Ilha de Paquetá	40,70	50,65	46,94	49,20	24,30	98,13	91,39	91,62
Ilha do Governador	95,60	83,58	90,94	17,02	27,03	96,19	95,93	96,52
Largo do Bodegão	87,74	90,20	76,49	68,93	62,84	49,23	77,26	67,92

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

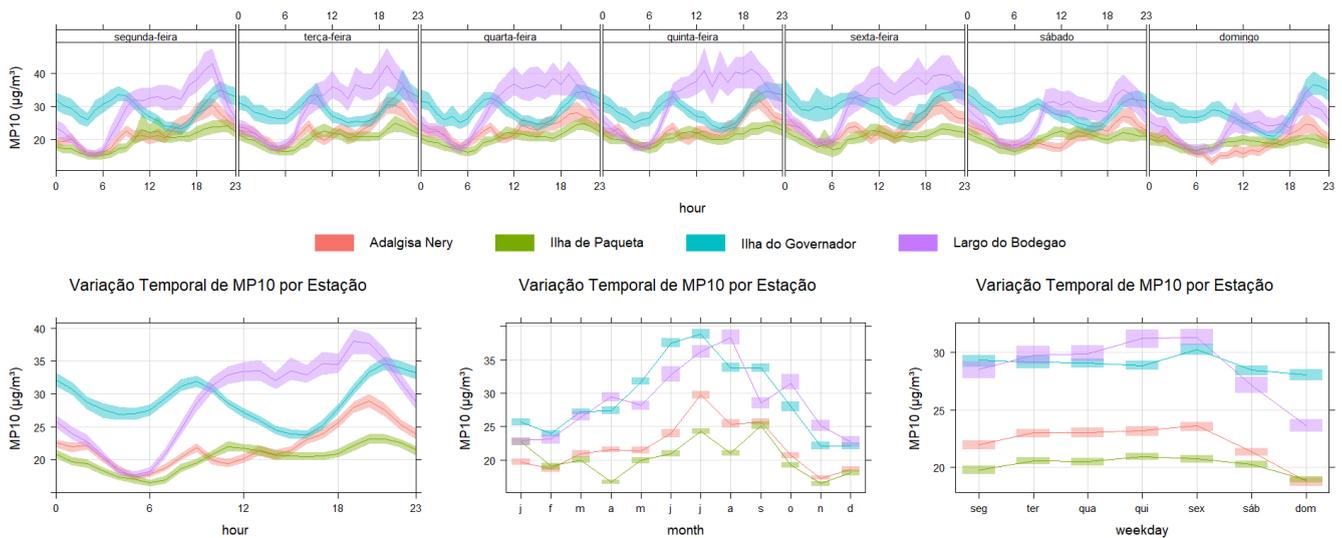
Para analisar os dados de MP₁₀ utilizou-se o pacote *Openair* do Software R (versão 4.4.2), com destaque para a função *timeVariation*, que revelou as variações do poluente nas estações de monitoramento por hora do dia e dia da semana (CARSLAW; ROPKINS, 2012). Além disso, foram geradas as médias anuais com o pacote *ggplot2*, que permitiram identificar o comportamento do poluente a longo prazo (WICKHAM, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a variação temporal da concentração de MP₁₀ nas quatro estações analisadas, permitindo observar os padrões horários, semanais e mensais desse poluente no município do Rio de Janeiro. É possível observar picos médios de concentração entre 6 e 12 h e novamente entre 18 e 23 h, horários que coincidem com os períodos de deslocamentos entre casa e trabalho ou casa e escola. Esse comportamento é mais evidente na estação Ilha do Governador, mas a oscilação é observada em todas as estações e o pico é ainda mais acentuado no segundo intervalo.

Esses picos são bem mais nítidos nos dias úteis, de segunda a sexta-feira. Resultados similares foram observados no estudo de Wikuats et al. (2023), que mostra dois períodos de pico na concentração dos poluentes atmosféricos analisados em São Paulo (SP), das 8 às 11 h e das 19 às 23 h, onde esses picos foram associados ao aumento do tráfego de veículos próximo ao local de amostragem nos horários de maior fluxo urbano. O estudo de Wikuats et al. (2023) considerou dados de dezembro de 2020 a junho de 2022.

Figura 1 - Variação Temporal de MP₁₀ (µg/m³) nas quatro estações de monitoramento atmosférico no município do Rio de Janeiro (RJ) entre 2015 e 2022



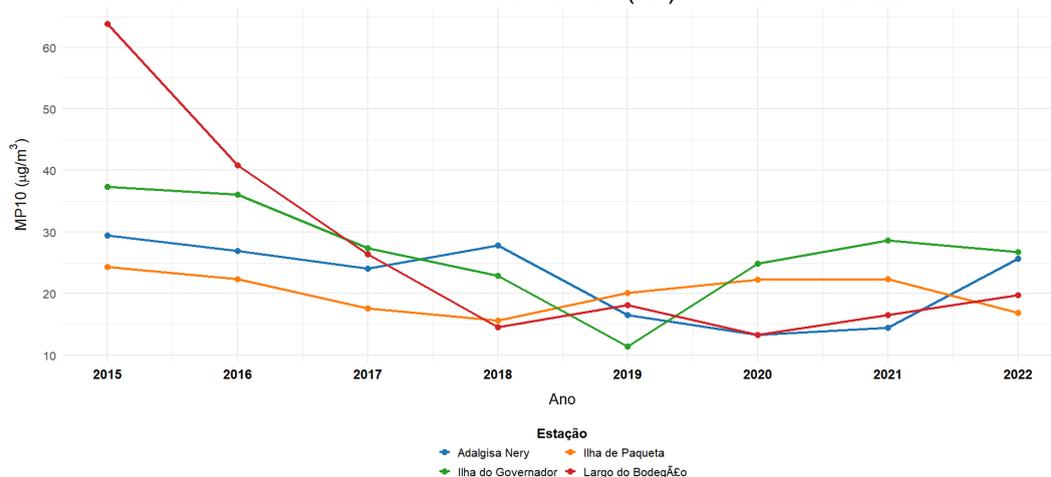
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No quadrante de variação semanal, todas as estações apresentaram queda nos níveis de MP₁₀ durante o final de semana quando comparados aos dias úteis. Segundo Ceglinski et al. (2022), a maioria dos poluentes atmosféricos apresenta uma redução nas concentrações durante os finais de semana, apontado pelo estudo como *“the weekend effect”*, ou, no português, o efeito fim de semana.

O estudo de Santos et al. (2025) aponta que nas cidades brasileiras Rio Grande, Pelotas, Candiota e Herval, monitoradas no período de 2016 a 2023, o inverno foi a estação com os maiores níveis de MP₁₀ e MP_{2,5}. De acordo com as médias apresentadas entre 1995 e 2017, o inverno no município do Rio de Janeiro apresenta os menores índices de precipitação ao longo do ano, com uma média de 39,3 ± 23,7mm (Oliveira et al., 2021), sendo essa uma condição que favorece a suspensão de partículas no ar. Com essas informações associadas a Figura 1, é possível relacionar diretamente os meses do inverno com as altas concentrações de MP₁₀ no município devido à baixa precipitação.

Pela Figura 2, podemos observar que a estação localizada na Ilha de Paquetá apresentou concentrações médias anuais menores de MP₁₀ em comparação às demais estações analisadas. Apesar de estar localizada a aproximadamente 15 km do centro do Rio de Janeiro, a Ilha é próxima à Área de Preservação Ambiental (APA) de Guapimirim, e apresenta baixo fluxo de veículos motorizados (G1, 2024), fator que também pode levar à redução das emissões locais de MP, justificando as menores concentrações observadas.

Figura 2 - Concentrações médias anuais de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registradas em quatro estações de monitoramento atmosférico no Rio de Janeiro (RJ) entre 2015 e 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Em 2015, a estação do Largo do Bodegão apresentou um pico atípico de concentração de MP_{10} . A causa não é evidente, mas uma hipótese seria a possível influência dos preparativos para os Jogos Olímpicos de 2016, como sugerem Ventura et al. (2019), que apontam o aumento de emissões em áreas próximas aos eventos, como Maracanã e Copacabana, possivelmente decorrida de obras de construção. É possível uma associação com as construções dos Jogos Olímpicos de todas as estações, já que as quatro apresentaram médias elevadas em 2015, com redução nos anos seguintes.

Um fator que pode comprometer a interpretação das médias anuais é a limitação na disponibilidade dos dados de alguns anos específicos, assim como já observado por Hua et al. (2024) e Chen et al. (2022). Em 2019, por exemplo, a estação da Ilha do Governador apresentou a menor média anual de MP_{10} . No entanto, ao analisar a Tabela 1, nesse mesmo ano, apenas 27,03% dos dados estavam disponíveis, correspondente ao período de 18 de setembro a 31 de dezembro, o que levanta a possibilidade de uma subestimação da média. Já em 2020, essa mesma estação apresentou uma disponibilidade de 96,19%, o que pode distorcer a comparação entre elas.

CONCLUSÕES

O estudo permitiu explorar uma análise espaço-temporal no Rio de Janeiro (RJ), analisando quatro estações de monitoramento na cidade, Adalgisa Nery, Ilha de Paqueta, Ilha do Governador e Largo do Bodegão. Os resultados obtidos demonstraram coerência com os padrões previamente descritos na literatura, a partir de análises semelhantes conduzidas em outras localidades. Tal consistência confirma-se tanto na identificação da sazonalidade das concentrações de MP_{10} , com elevação nos períodos mais secos do ano, quanto na observação dos horários de pico, que coincidem com os momentos de maior tráfego veicular, reforçando a influência das atividades antrópicas na concentração de poluentes atmosféricos.

Além disso, a pesquisa destacou como a completude dos dados são importantes para as análises. Ainda na etapa de cálculo das porcentagens de dados disponíveis por estação já era possível

observar a variação de cobertura entre os pontos de monitoramento, mas ao longo do estudo ficou claro que essa limitação impacta diretamente na interpretação dos resultados, como as médias anuais que podem estar tanto superestimadas quanto subestimadas, impossibilitando afirmações mais precisas e dificultando estudos de caso mais específicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARSLAW, D. C. E K. ROPKINS. openair --- an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. v. 27-28, 2012.

CEGLINSKI, L. V.; TAVELLA, R. A.; BONIFÁCIO, A. da S.; SANTOS, J. E. K.; SILVA JÚNIOR, F. M. R. da. **Weekend effect on air pollutant levels in southernmost cities of Brazil with different economic activities.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 194, n. 11, 2022.

CETESB. **Qualidade do ar.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 8 de julho de 2025.

CHEN, M.; ZHU, H.; CHEN, Y.; WANG, Y. **A Novel Missing Data Imputation Approach for Time Series Air Quality Data Based on Logistic Regression.** Atmosphere, Basel, v. 13, n. 7, 2022.

G1. **Paquetá: conheça a pacata ilha na Baía de Guanabara que está no centro de denúncia do mercado de apostas contra jogador nascido lá.** Rio de Janeiro, 5 jun. 2024. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/g1.globo.com/google/amp/rj/rio-de-janeiro/noticia/2024/06/05/paqueta-conheca-a-pacata-ilha-na-baia-de-guanabara-que-esta-no-centro-de-denuncia-do-mercado-de-apostas-contra-jogador-nascido-la.ghtml>. Acesso em: 31 de julho de 2025.

HUA, V.; NGUYEN, T.; DAO, M.; NGUYEN, H. D.; NGUYEN, B. T. **The impact of data imputation on air quality prediction problem.** PLOS ONE, v. 19, n. 9, 2024.

IBGE. **Panorama Rio de Janeiro.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>. Acesso em: 8 de julho de 2025.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Sistema de Monitoramento da Qualidade do Ar. Disponível em: <https://ei.weblakes.com/INEAPublico/NavPage/Index/Analytics?aGroupId=NPSEARCH>. Acesso em: 30 de julho 2025.

OLIVEIRA, B. C. C. de; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; PEREIRA, C. R.; SOBRAL, B. S.; GOIS, G. de; LYRA, G. B.; MACHADO, E. A.; CORREIA FILHO, W. L. F.; SOUZA, A. de. **Spatiotemporal variation of dry spells in the State of Rio de Janeiro: Geospatialization and multivariate analysis.** Atmospheric Research, v. 257, 2021.

SANTOS, J. E. K.; TAVELLA, R. A.; LIMA BRUM, R. de; RAMIRES, P. F.; SILVA, L. D. S. da; CORREIA FILHO, W. L. F.; NADALETI, W. C.; CORREA, E. K.; SILVA JÚNIOR, F. M. R. da. **PM_{2.5}/PM₁₀ ratios in southernmost Brazilian cities and its relation with economic contexts and meteorological factors.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 197, n. 2, 2025.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 3. ed. New York, 2016.

VENTURA, L. M. B.; RAMOS, M. B.; GIODA, A.; FRANÇA, B. B.; OLIVEIRA GODOY, J. M. de. **Air quality monitoring assessment during the 2016 Olympic Games in Rio de Janeiro, Brazil.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 191, n. 6, 2019.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

WIKUATS, C. F. H.; NOGUEIRA, T.; SQUIZZATO, R.; FREITAS, E. D. de; ANDRADE, M. F. de. **Health Risk Assessment of Exposure to Air Pollutants Exceeding the New WHO Air Quality Guidelines (AQGs) in São Paulo, Brazil.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 9, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Pollution,** 2025. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em: 10 de julho de 2025.