BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR COM A UTILIZAÇÃO DA *Araucaria angustifolia*

Tatiane Machado, Josiane Teresinha Cardoso, Gilmar Conte

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é diretamente influenciada pela presença de poluentes atmosféricos, que podem causar impactos à saúde humana e ao meio ambiente. Entre esses poluentes, destaca-se o material particulado (MP), constituído por partículas capazes de transportar metais provenientes de diferentes fontes naturais e antrópicas, tornando relevante a avaliação de sua deposição no ambiente (WORLD HEALTH ORGANIZATION 2021, MARING et al. 2023).

Nesse contexto, as acículas de coníferas podem reter partículas atmosféricas em sua superfície e auxiliar na avaliação da deposição de contaminantes (AL-ALAM et al. 2017). Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a quantidade de material particulado depositado sobre as acículas de *Araucaria angustifolia* em diferentes pontos do município de Lages/SC e determinar os metais pesados associados ao material depositado.

DESENVOLVIMENTO

Foram realizadas campanhas de amostragem em sete pontos do município de Lages/SC, utilizando-se as mesmas árvores ao longo do período de estudo. Para o presente trabalho, foram avaliadas amostras correspondentes às estações de verão, outono e inverno. Em laboratório, 10 g de acículas de cada ponto foram adicionados a 100 mL de água ultrapura e submetidos à agitação a 250 rpm por uma hora, visando à remoção do material depositado sobre sua superfície. Posteriormente, a suspensão foi filtrada por gravidade em filtros previamente secos a 60 °C e pesados. Após a filtração, os filtros foram novamente secos e pesados, sendo a massa de MP determinada pela diferença entre as massas final e inicial.

Os filtros contendo o MP foram submetidos à digestão ácida com 15 mL de ácido nítrico (HNO_3) e 6 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em chapa de aquecimento. Após o resfriamento, as amostras foram transferidas para balões volumétricos de 25 mL e o volume completado com água ultrapura. As concentrações de Al, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Ni e Zn associadas ao material depositado foram determinadas por espectrometria de absorção atômica. Os dados foram submetidos à estatística descritiva, à Análise de Componentes Principais (PCA), à análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) e à análise da homogeneidade das dispersões multivariadas (PERMDISP). Para a massa de MP, as diferenças entre as estações foram avaliadas pelo teste de Friedman, enquanto a associação entre a massa de MP e as concentrações dos metais foi avaliada pela correlação de Spearman, com ajuste dos valores de *p* pelo método de Holm para comparações múltiplas. Adotou-se nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). O tratamento e as análises estatísticas dos dados foram realizados em linguagem R, por meio do ambiente de desenvolvimento RStudio.

RESULTADOS

A massa de MP retida nos filtros apresentou variação entre os pontos de amostragem e as estações, com maior média no outono, seguida pelo verão e inverno. Entretanto, o teste de Friedman não indicou diferença estatística significativa entre as estações ($p = 0,156$). Ressalta-se que o MP constitui uma mistura heterogênea, cuja composição química pode apresentar variações espaciais e temporais que não necessariamente acompanham as variações em sua massa (LI et al. 2022, NAN et al. 2023).

Quanto à composição metálica, o Fe apresentou as maiores concentrações médias entre os elementos analisados nas três campanhas, com maior concentração média no inverno. O verão apresentou as maiores médias de Al e Cd, enquanto no outono destacaram-se Cr e Cu e, no inverno, Fe, Ni, Pb e Zn. Esses resultados demonstram que os elementos analisados apresentaram comportamentos distintos entre as campanhas, indicando variação temporal na composição metálica do MP. Estudos de biomonitoramento atmosférico também têm demonstrado variações nas concentrações e na distribuição de elementos-traço entre períodos e locais de amostragem, reforçando a importância da caracterização multielementar na avaliação da deposição atmosférica (ÇOBANOĞLU & KAAN 2024, NIEPSCH et al. 2024).

A análise multivariada permitiu avaliar conjuntamente os padrões de distribuição dos elementos. As duas primeiras componentes da PCA explicaram 56,6% da variabilidade total, com maior contribuição de Al, Zn e Cd para a PC1 e de Fe, Pb e Ni para a PC2. A utilização de técnicas multivariadas em estudos de biomonitoramento possibilita explorar relações entre diferentes elementos e identificar padrões que podem não ser evidentes em análises individuais (NIEPSCH et al. 2024). A PERMANOVA indicou estrutura multivariada associada às estações ($R^2 = 0,324$, $p < 0,001$), contudo, o PERMDISP revelou heterogeneidade significativa das dispersões entre as campanhas ($p = 0,0049$). Por fim, não foram observadas associações significativas entre a massa de MP e as concentrações dos metais após a correção de Holm aplicada às correlações de Spearman, indicando que, nas amostras avaliadas, a quantidade de MP depositada não apresentou relação estatisticamente significativa com as concentrações dos metais analisados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciaram variações espaciais e temporais na deposição de MP e, principalmente, em sua composição metálica. Embora a massa de MP não tenha apresentado diferença significativa entre as campanhas, a análise multivariada indicou estrutura associada às estações, ainda que acompanhada por heterogeneidade das dispersões. Além disso, a ausência de associação significativa entre a massa de MP e as concentrações dos metais analisados reforça a importância de considerar não apenas a quantidade de partículas depositadas, mas também sua composição química na avaliação da qualidade ambiental.

O biomonitoramento surge como uma ferramenta complementar para a avaliação da qualidade do ar. Os resultados obtidos reforçam a importância da continuidade e ampliação das campanhas de amostragem, possibilitando uma compreensão mais abrangente dos padrões observados e de sua relação com as condições ambientais locais. Estudos futuros poderão ainda incorporar variáveis meteorológicas e outras informações ambientais que auxiliem na interpretação da dinâmica da deposição atmosférica.

A contribuição do estudo está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3 Saúde e Bem-Estar, especialmente pela atenção aos riscos associados à poluição atmosférica, e ODS 11 Cidades e Comunidades Sustentáveis, que contempla a redução dos impactos ambientais urbanos, incluindo aqueles relacionados à qualidade do ar. Dessa forma, a produção de informações sobre MP e metais contribui para ampliar o conhecimento sobre a qualidade ambiental da área estudada e evidencia a importância do monitoramento atmosférico para o planejamento de cidades mais saudáveis e sustentáveis.

Palavras-chave: material particulado; poluição atmosférica; biomonitoramento; metais.

ANEXOS

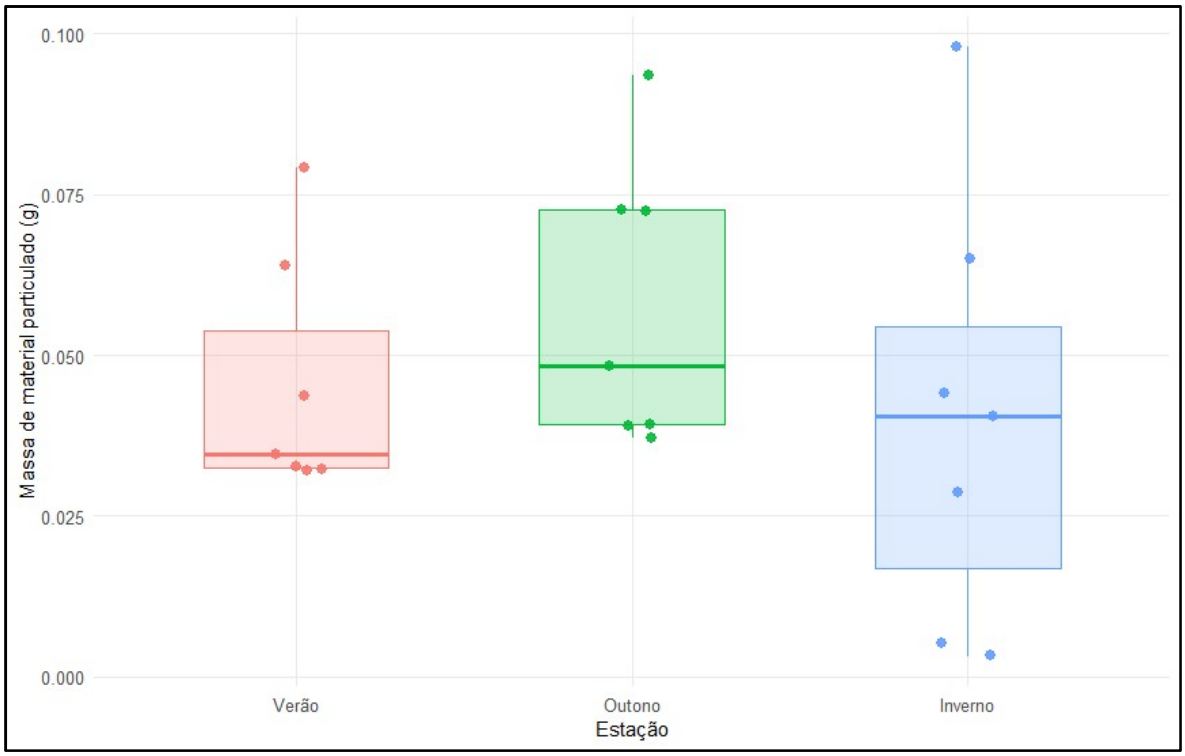


Figura 1. *Distribuição da massa de MP retida nos filtros por estação.*

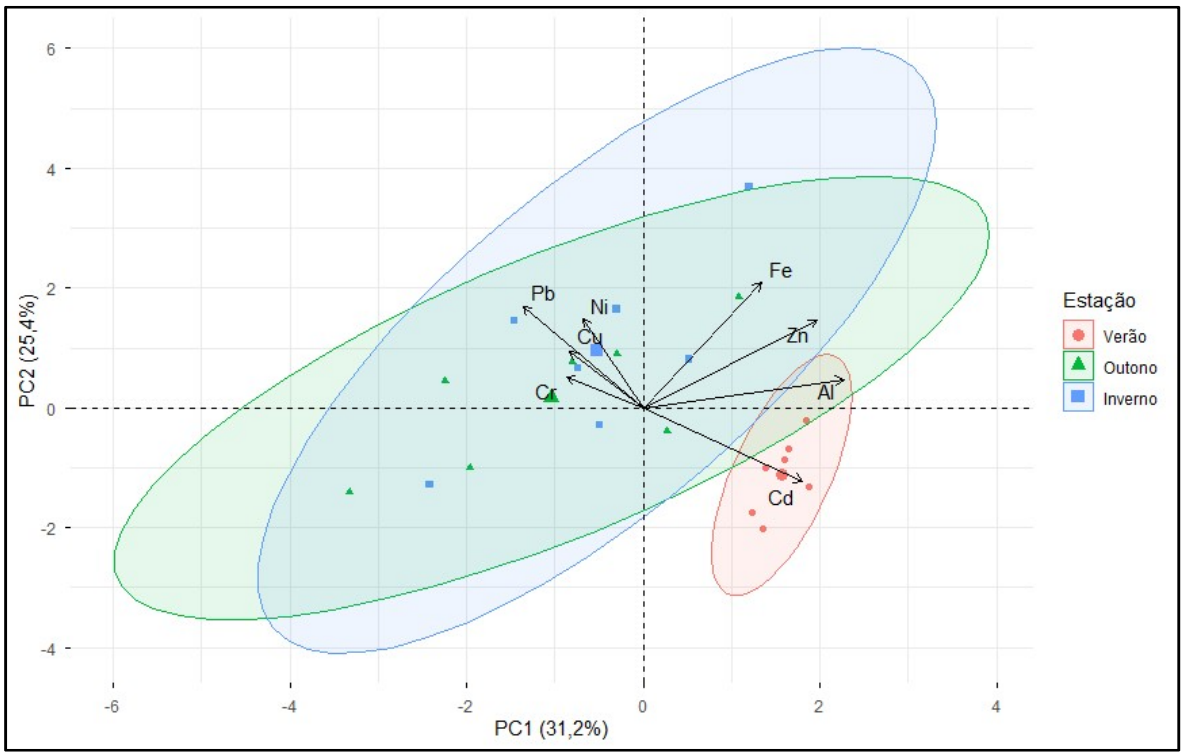


Figura 2. *Análise de componentes principais das concentrações de metais no MP entre as estações.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ALAM J et al. The use of conifer needles as biomonitor candidates for the study of temporal air pollution variation in the Strasbourg region. *Chemosphere*, v. 168, p. 1411-1421, 2017. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.103.

ÇOBANOĞLU G & KAAN T. Biomonitoring of atmospheric heavy metals in native lichen *Xanthoria parietina* around Salda Lake (Burdur – Turkey), a special environmental protection area. *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 17, p. 2789-2800, 2024. DOI: 10.1007/s11869-024-01602-6.

LI T et al. comprehensive understanding of ambient particulate matter and its components on the adverse health effects based from epidemiological and laboratory evidence. *Particle and Fibre Toxicology*, v. 19, art. 67, 2022. DOI: 10.1186/s12989-022-00507-5.

MARING T et al. Airborne particulate matter and associated heavy metals: a review. *Macromolecular Symposia*, v. 407, n. 1, art. 2100487, 2023. DOI: 10.1002/masy.202100487.

NAN N et al. Overview of $PM_{2.5}$ and health outcomes: focusing on components, sources, and pollutant mixture co-exposure. *Chemosphere*, v. 323, art. 138181, 2023. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.138181.

NIEPSCH D et al. Lichen biomonitoring to assess spatial variability, potential sources and human health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and airborne metal concentrations in Manchester (UK). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 196, art. 379, 2024. DOI: 10.1007/s10661-024-12522-4.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO global air quality guidelines: particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization, 2021.