



## **Parâmetros fotossintéticos da espécie *Aechmea fasciata* (bromélia) como bioindicadores da poluição atmosférica na microrregião do Vale do Paraíba Fluminense**

Rafaela Pereira Pedroso<sup>1</sup>; 0000-0002-9144-5915  
Giovanna da Silva Cidade<sup>2</sup>; 0009-0005-2622-0081  
Rafael Torre<sup>3</sup>; 0000-0002-8248-7080  
Kawany da Silva Burgiert<sup>2</sup>; 0009-0006-7969-2792  
Marco André Alves de Souza<sup>4</sup>; 0000-0003-2173-3513  
André Marques dos Santos<sup>4</sup>; 0000-0002-2397-3775

1 – Discente da Universidade Federal Fluminense, UFF, Volta Redonda, RJ.

[rafappedroso07@gmail.com](mailto:rafappedroso07@gmail.com)

2 – Discente da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ.

3 – Laboratório de bioquímica de plantas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ.

4 – Docente da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ.

**Resumo:** A poluição atmosférica está relacionada a diversos efeitos prejudiciais aos ecossistemas e à saúde humana, afetando especialmente os vegetais, que são mais sensíveis aos contaminantes atmosféricos em comparação aos animais, devido à sua incapacidade de se moverem e à absorção direta dos poluentes pelo ar através dos estômatos. A exposição à poluição pode causar alterações diversas nos tecidos vegetais, permitindo que respostas bioquímicas sejam usadas em estratégias de avaliação da qualidade do ar. Bromélias, como a espécie epífita *Aechmea fasciata*, são promissoras para o biomonitoramento da poluição atmosférica, embora seja necessário estabelecer quais parâmetros bioquímicos e fisiológicos são mais indicados para o monitoramento. Este estudo tem como objetivo avaliar o potencial da *Aechmea fasciata* para monitorar a qualidade do ar na microrregião do Vale do Paraíba Fluminense, utilizando parâmetros fotossintéticos como indicadores. A espécie foi cultivada em locais com influência antrópica diferente em comparação ao cultivo em uma unidade de conservação (ponto de controle). O metabolismo vegetal foi avaliado com base nos parâmetros fotossintéticos e teores de metais pesados nos tecidos foliares. O índice SPAD mostrou-se sensível, indicando reduções próximas às fontes emissoras. Houve correlação negativa entre pigmentos fotossintéticos e metais pesados, com maior concentração destes perto de indústrias e tráfego.

**Palavras-chave:** Biomonitoramento. Poluição do ar. Metabolismo vegetal.

## INTRODUÇÃO

A poluição do ar, intensificada pela intervenção humana desde a Revolução Industrial, tem causado sérios problemas ambientais e impactos à saúde pública, especialmente nos grandes centros urbanos. Nessas áreas, a proximidade de instalações industriais e o crescimento exponencial da frota veicular agravam significativamente a qualidade do ar, expondo a população à inalação de material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ), um dos principais agentes associados a danos ambientais e à saúde humana (Dos Santos et al., 2019).

A cidade de Volta Redonda, por exemplo, originou-se com a fundação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) na década de 1940, cuja atividade gera a emissão de diversos poluentes atmosféricos. Essa problemática persistente afeta a microrregião do Vale do Paraíba Fluminense (Lima, 2020), e é ainda agravada por fontes móveis. Segundo a Secretaria Nacional de Trânsito, em dezembro de 2024, a frota de veículos registrados em Volta Redonda totalizou 158.314 automóveis, o que representa 2% do total de veículos do estado do Rio de Janeiro (Senatran, 2024).

Diante desse cenário, o monitoramento contínuo da qualidade do ar é fundamental para manter os níveis de poluentes dentro dos limites de segurança (Machin, 2018). Tradicionalmente, essa análise é realizada por estações medidoras operadas por agências ambientais estaduais (Vormittag, 2021). No entanto, esses métodos focam na quantificação de poluentes, sem avaliar seus efeitos diretos nos sistemas biológicos (Teixeira, 2019). Além disso, a instalação de tais equipamentos exige alta complexidade tecnológica e elevado custo, conforme apontado por Castell et al. (2017). No Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente (Inea) é responsável pela gestão de uma rede de 174 estações (Inea, 2025).

Para superar essas limitações, a integração de tecnologias que quantifiquem poluentes e avaliem seus efeitos biológicos é essencial. O **biomonitoramento**, que utiliza organismos vivos como indicadores, tem se destacado por fornecer uma análise mais abrangente dos impactos ambientais e à saúde em comparação aos métodos convencionais (Abas et al., 2021). Embora líquens, musgos, algas e plantas perenes sejam comumente usados, espécies ornamentais têm ganhado notoriedade em áreas urbanas devido à sua

ampla distribuição, adaptação e capacidade de acumular poluentes em folhas e raízes (Isinkaralar, 2022).

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o potencial da espécie *Aechmea fasciata* (bromélia) como bioindicadora de poluentes atmosféricos na microrregião do Vale do Paraíba Fluminense, com ênfase na cidade de Volta Redonda – RJ.

## MÉTODOS

A espécie *Aechmea fasciata* (bromélia) foi selecionada para o biomonitoramento devido à sua facilidade de cultivo, disponibilidade, natureza epífita, presença de tricomas especializados e capacidade de reter metais pesados em ambientes poluídos por meio do seu tanque natural (Giampaoli et al., 2016).

Foram definidos pontos de monitoramento com base na sua proximidade da fonte emissora de poluentes nas cidades de Volta Redonda – RJ e Barra Mansa - RJ, nos seguintes locais: Ponto 1 (Bairro Vila Mury); Ponto 2 (Universidade Federal Fluminense, situada no bairro Vila Santa Cecília); Ponto 3 (Bairro Jardim Vila Rica; e Ponto 0 - Controle: (ARIE Floresta da Cicuta). Em cada um dos pontos de monitoramento, foram avaliados:

### *Parâmetros bioquímicos de monitoramento:*

- Índice SPAD: A quantificação indireta dos teores de clorofila foi realizada utilizando o medidor portátil SPAD-502 Plus (Konica Minolta). As medições foram feitas nos quatro pontos de monitoramento (P0, P1, P2 e P3), utilizando quatro indivíduos de *Aechmea fasciata* por ponto (totalizando 16 plantas). Em cada planta, foram selecionadas três folhas (inferior - FI, média – FM, superior - FS), para as quais o SPAD-502 Plus realizou 10 leituras, sendo registrada a média por folha.

- Extração e quantificação de pigmentos fotossintéticos: Em cada ponto de monitoramento foram coletadas as quatro bromélias, sendo retirados dois discos foliares de 16mm de cada uma das folhas analisadas (FI, FM e FS). A extração e quantificação dos pigmentos (clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides) foi realizada segundo Hiscox e Israelstam (1979), utilizando dimetilsulfóxido (DMSO), e Wellburn (1994), respectivamente.

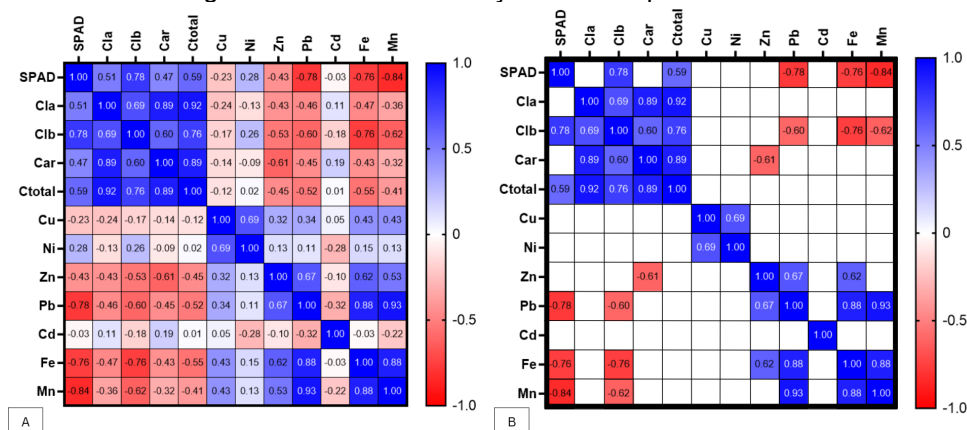


- Determinação dos teores de metais pesados em tecidos vegetais: As folhas de *Aechmea fasciata* foram coletadas e submetidas à limpeza. Em seguida, realizou-se a secagem em estufa a 37 °C por 72 h, sendo em seguida pesadas e trituradas com o auxílio de um moinho de facas. Para cada ponto de monitoramento, uma alíquota de 1 g de bromélia foi pesada e submetida à digestão ácida conforme adaptação do método 3050B da USEPA (1996). As concentrações de metais pesados foram determinadas por meio da absorção atômica (Varian SpectrAA 55B) e apresentados em ppm ou mg/kg.
- Análises estatísticas: Os gráficos e demais análises estatísticas, incluindo o teste t de Student e a matriz de correlação, foram conduzidos no GraphPad Prism versão 9.0.0 (GraphPad Software, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de correlação múltipla revelou associações estatisticamente significativas entre os parâmetros bioquímicos e teores de metais pesados nas folhas de *Aechmea fasciata* (Figura 1). Para interpretação da força da correlação, podem-se utilizar intervalos padronizados de acordo com coeficientes de Spearman (Schober, 2018).

Figura 1: Matriz de correlação entre os parâmetros avaliados



Legenda: A - Matriz de correlação múltipla entre os parâmetros avaliados. B – Matriz de correlação múltipla entre os parâmetros avaliados mostrando apenas as correlações significativas ( $p < 0,05$ ). Os quadrados em branco correspondem às correlações não significativas ( $p > 0,05$ ).

Fonte: Os autores.

Foi observada correlação positiva de intensidade moderada a forte entre os pigmentos fotossintéticos, sugerindo variação conjunta e integrada em resposta ao estresse ambiental.

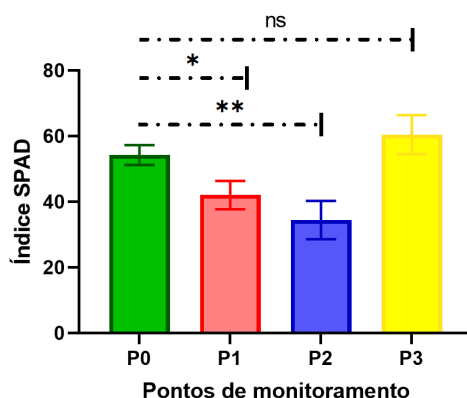


O índice SPAD também apresentou correlação positiva moderada a forte com as clorofilas, reforçando sua eficiência como método não destrutivo para estimativa do conteúdo de clorofila (Shibaeva et al., 2020).

Observou-se correlação negativa significativa entre Pb, Fe, Mn e o índice SPAD e Clorofila b, bem como entre Zn e Carotenóides, sugerindo que o acúmulo desses metais pode reduzir pigmentos fotossintéticos por efeito fitotóxico. Esse padrão confirma relatos anteriores sobre a redução da atividade fotossintética sob exposição a metais pesados como Cd, Zn, Cu e Pb (Świsłowski et al. 2020; Huang et al., 2023).

O índice SPAD apresentou reduções significativas em P1 (Vila Mury) e P2 (UFF Vila), indicando possível comprometimento da capacidade fotossintética em áreas mais próximas da indústria (Figura 2).

Figura 22: Gráfico comparativo do índice SPAD



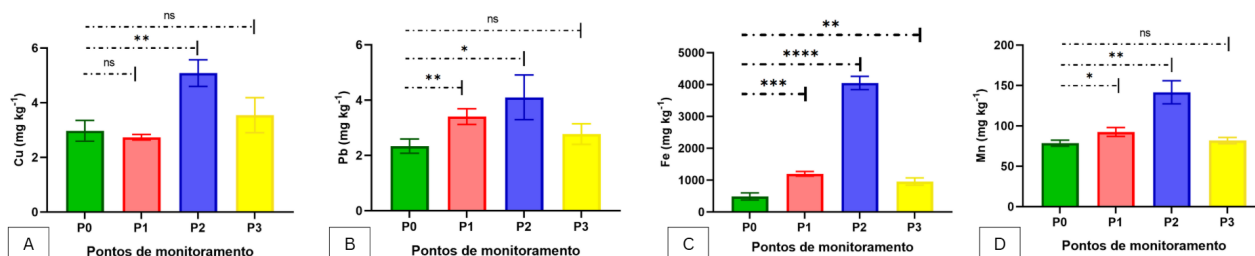
Legenda: Índice SPAD nas folhas de *Aechmea fasciata* nos diferentes pontos de monitoramento: Ponto Cicuta (P0) comparados com os pontos: Vila Mury (P1), UFF - Vila (P2) e Vila Rica (P3). Os valores de p referem-se ao teste t student comparando cada ponto de monitoramento ao ponto controle (P0). Níveis de significância:  $p < 0,05$  (\*) = Significativo,  $p < 0,01$  (\*\*) = Muito significativo,  $p < 0,001$  (\*\*\*) = Altamente significativo,  $p < 0,0001$  (\*\*\*\*) = Extremamente significativo,  $ns \geq 0,05$  = não significativo.

Fonte: Os autores.

Em relação aos metais pesados, foi observado aumento significativo nas concentrações de cobre (Cu) no Ponto 2 e chumbo (Pb) nos Pontos 1 e 2 (Figura 3). Dentre os metais avaliados, o ferro (Fe) se destacou apresentando diferenças altamente significativas em todos os pontos em comparação ao controle, com destaque para P2, onde os teores foram mais de oito vezes superiores ( $p < 0,0001$ \*\*\*\*). O manganês (Mn) também mostrou elevação em sua concentração no Ponto 1 e Ponto 2 (Figura 3).



Figura 33: Gráficos comparativos dos metais pesados



Legenda: Teores de metais pesados nas folhas de *Aechmea fasciata* nos diferentes pontos de monitoramento: Cicuta (P0), Vila Mury (P1), UFF - Vila (P2) e Vila Rica (P3): A – Cobre (Cu), B – Chumbo (Pb), C – Ferro (Fe) e D – Manganês (Mn). Os valores de p referem-se ao teste t student comparando cada ponto de monitoramento ao ponto controle (P0). Níveis de significância:  $p < 0,05$  (\*) = Significativo,  $p < 0,01$  (\*\*) = Muito significativo,  $p < 0,001$  (\*\*\*) = Altamente significativo,  $p < 0,0001$  (\*\*\*\*) = Extremamente significativo,  $p \geq 0,05$  = não significativo.

Fonte: Os autores.

A distribuição espacial indicou maior acúmulo de metais pesados nos pontos próximos à indústria e ao tráfego veicular (P2 e P1), corroborando estudos que relacionam a proximidade da fonte emissora à maior deposição atmosférica e a efeitos fisiológicos, como a redução da fotossíntese (Othman et al., 2022; Schaidhauer, 2023; Steinparzer et al., 2023).

## CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que *Aechmea fasciata* apresenta respostas fisiológicas e bioquímicas relevantes frente ao gradiente de poluição atmosférica no Vale do Paraíba Fluminense. O índice SPAD destacou-se como parâmetro sensível, evidenciando reduções significativas nos pontos próximos às fontes emissoras. As análises de correlação confirmaram associações negativas entre pigmentos fotossintéticos e metais pesados, cuja distribuição espacial foi mais intensa em áreas próximas à indústria e ao tráfego veicular, com destaque para o Ponto 2 (UFF Vila). Esses achados reforçam o potencial da espécie como bioindicadora, pela sensibilidade fisiológica e pela capacidade de acumular metais.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado

do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo apoio financeiro. E a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABAS, Azlan. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107197, 2021.

CASTELL, Nuria et al. Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? **Environment International**, v. 99, p. 293-302, 2017.

DOS SANTOS, Fábio Soares et al. Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP 2,5) em Belo Horizonte, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 371-381, 2019.

GIAMPAOLI, Patricia et al. Suitability of *Tillandsia usneoides* and *Aechmea fasciata* for biomonitoring toxic elements under tropical seasonal climate. **Chemosphere**, v. 149, p. 14-23, 2016.

GRAPH PAD SOFTWARE. **GraphPad Prism** (versão 9.0.0). San Diego, Califórnia, 2020. Disponível em: <https://www.graphpad.com>.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, 57:1332–1334.

HUANG et al. Spatiotemporal Heterogeneity of Chlorophyll Content under Different Cadmium Stress. **Agronomy**, 2023.

INEA; SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DA QUALIDADE DO AR. **Monitoramento da qualidade do ar do estado do Rio de Janeiro**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://portalsiggar.inea.rj.gov.br/#>. Acesso em: 5 jul. 2025.

ISINKARALAR, Kaan. Atmospheric deposition of Pb and Cd in the Cedrus atlantica for environmental biomonitoring. **Landscape and Ecological Engineering**, v. 18, n. 3, p. 341-350, 2022.

LIMA, Maria Raquel Passos. (Toxi) Cidade do Aço: Infraestrutura Siderúrgica e Contestação Social em um Caso de Contaminação por Resíduos Industriais. **Revista Antropológicas**, v. 31, n. 2, 2020.

MACHIN, Adrian Blanco; NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, p. e00006617, 2018.

OTHMAN, Murnira et al. Spatial-temporal variability and health impact of particulate matter during a 2019-2020 biomass burning event in Southeast Asia. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 7630, 2022.

SCHAIIDHAUER, Ana Carenina Gheller. **Efeito da poluição atmosférica sobre a morfofisiologia vegetal e a saúde cardiovascular em seres humanos**. 2023.

SCHOBBER, Patrick; BOER, Christa; SCHWARTE, Lothar A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. **Anesthesia & Analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018.

SENATRAN. Ministério dos Transportes. **Frota de veículos 2024: Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo os Municípios da Federação - dezembro/2024**. Rio de Janeiro: Ministério do Transporte, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SHIBAEVA, T. G.; MAMAEV, A. V.; SHERUDILO, E. G. Evaluation of a SPAD-502 plus chlorophyll meter to estimate chlorophyll content in leaves with interveinal chlorosis. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 67, n. 4, p. 690-696, 2020.

STEINPARZER, Matthias et al. Particulate matter accumulation by tree foliage is driven by leaf habit types, urbanization-and pollution levels. **Environmental Pollution**, v. 335, p. 122289, 2023.

ŚWISLOWSKI, Paweł; RAJFUR, Małgorzata; WACLAWEK, Maria. Influence of heavy metal concentration on chlorophyll content in *Pleurozium schreberi* mosses. **Ecological Chemistry and Engineering**, v. 27, n. 4, p. 591-601, 2020.

TEIXEIRA, Luciana Souza; BRESSANE, Samir Borges; DA NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues. Monitoramento da Qualidade do Ar – Diagnóstico das Tecnologias e da Rede de Monitoramento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 2, n. 1, p. 13, 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils**. 2.0 Scope and application. Washington, DC: EPA, 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils>. Acesso em: 23 jun. 2025.

VORMITTAG, Evangelina da Motta PA de Araújo et al. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, p. 7-30, 2021.

WELLBURN, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, 144:307–313.