

Potencial do uso de parâmetros bioquímicos de uma espécie de orquídea como bioindicadora de poluição atmosférica

Sarah Teodoro de Faria¹; 0000-0002-7558-4958
Rafaela Pereira Pedrosa¹; 0000-0002-9144-5915
Marco Andre Alves de Souza²; 0000-0003-2173-3513
André Marques dos Santos³; 0000-0002-2397-3775

1 – Discente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense (PGTA-UFF), Volta Redonda, RJ.

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

3 – Docente da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ e do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da UFF (PGTA-UFF), Seropédica, RJ.

amarques@ufrj.br

Resumo: O desenvolvimento urbano e industrial tem impactado negativamente o meio ambiente, afetando a fauna, flora, solo, água e ar. A qualidade do ar é comumente monitorada por meio de métodos físico-químicos que detectam material particulado, sem considerar os impactos nos sistemas biológicos. Nesse sentido, o biomonitoramento - que utiliza organismos vivos para avaliar a presença desses poluentes no ambiente - vem ganhando destaque. Plantas, como Orchidaceae, podem ser bioindicadoras devido a alterações fisiológicas, químicas e estruturais quando expostas a poluentes atmosféricos. Assim, este estudo avaliou o potencial da espécie de orquídea *Oeceoclades maculata* (Lindley) no monitoramento da qualidade do ar da cidade de Volta Redonda-RJ, utilizando-se parâmetros bioquímicos como indicadores. A espécie vegetal foi cultivada em três pontos de monitoramento com diferentes níveis de influência antrópica, comparados a um ponto de controle em uma unidade de conservação. Foram avaliados os teores de pigmentos fotossintéticos (Clorofila *a*, Clorofila *b* e Carotenoides) e prolina nos tecidos foliares. O conteúdo de prolina não apresentou alterações significativas, sugerindo que não é um indicador adequado para o monitoramento da poluição atmosférica nas condições analisadas. Por outro lado, os pigmentos fotossintéticos mostraram variações significativas, com redução nos teores de Clorofila *a*, *b* e Carotenoides nos pontos 1 e 3, sugerindo maior estresse ambiental nessas áreas.

Palavras-chave: Biomonitoramento. *Oeceoclades maculata*. Poluição do ar.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o crescimento urbano tem levado a um crescimento das atividades humanas resultando no aumento da pressão antrópica sobre os recursos naturais. A degradação da qualidade do ar das cidades é a principal consequência do crescimento das atividades humanas, resultando em diversos efeitos prejudiciais aos ecossistemas, visto que a presença desses poluentes atmosféricos pode representar

uma ameaça à saúde humana, bem como afetar a fauna e a flora, além de causar danos a patrimônios históricos e modernos (Klumpp et al., 2001).

Em São Paulo, por exemplo, os poluentes emitidos pelos veículos contribuem para o aumento da mortalidade e morbidade, especialmente por doenças respiratórias e cardiovasculares (Toledo & Nardocci, 2011). Dessa forma, faz-se necessário à adoção de medidas de monitoramento e controle da poluição do ar, avaliando as concentrações dos principais poluentes ou de seus possíveis precursores.

A qualidade do ar pode ser avaliada estimando-se a carga de poluentes emitidos a partir de diferentes fontes, usando métodos físico-químicos e modelos matemáticos para descrever sua dispersão. Normalmente são utilizadas estações automáticas de monitoramento que são caras e detectam apenas particulados, não relacionando a qualidade do ar e seu impacto nos sistemas biológicos.

O biomonitoramento com plantas tem ganhado destaque, pois elas são afetadas por poluentes atmosféricos, resultando em alterações fisiológicas, bioquímicas e estruturais. Essas mudanças podem ser indicadoras de distúrbios ou da intensificação das defesas contra o estresse, tornando as plantas úteis como bioindicadoras (Emberson et al., 2003).

Os vegetais têm uma maior sensibilidade aos contaminantes do ar em comparação aos animais, e ambos são mais sensíveis que os seres humanos. De acordo com Fonseca (2000), os vegetais absorvem os gases presentes na atmosfera por meio dos estômatos durante os processos de respiração e fotossíntese. Da mesma forma, os poluentes gasosos são absorvidos pelas plantas, causando alterações fisiológicas, bioquímicas, anatômicas e comportamentais. Essas respostas podem ser usadas como parâmetros para avaliar a qualidade do ar em determinadas regiões.

O método de biomonitoramento é uma abordagem que permite avaliar a resposta de organismos vivos à poluição, apresentando vantagens como custos reduzidos, eficiência para monitorar áreas extensas por longos períodos e a capacidade de avaliar elementos químicos em baixas concentrações ambientais (Carneiro, 2004).

Dentre os vegetais, as orquídeas, por serem epífitas que crescem sem contato direto com o solo, são promissoras para o biomonitoramento da poluição do ar. No entanto, é necessário definir os parâmetros bioquímicos e fisiológicos mais adequados para esse uso.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial bioindicador de uma espécie de orquídea (*Oeceoclades maculata* (Lindley - Orquídeas) para a avaliação do potencial de uso dessa espécie como bioindicadora da qualidade do ar no município de Volta Redonda - RJ.

MÉTODOS

Foi utilizada a espécie *Oeceoclades maculata* (orquídea) devido a sua sensibilidade à poluição atmosférica, facilidade de cultivo, disponibilidade e distribuição global.

Foram definidos quatro pontos de monitoramento (Figura 1), na cidade de Volta Redonda – RJ, de acordo com a sua proximidade com a fonte emissora de poluentes: P0: Área de Relevante Interesse Ecológico Floresta da Cicuta; P1: Pátio da UFF (Universidade Federal Fluminense) - Bairro Vila Santa Cecília; P2: Residência na Rua Professor Bráz Máximo de Castro – Bairro Mangueira; P3: Avenida Almirante de Barros Nunes - Bairro Vila Mury (Ilha Esfinge).

As orquídeas foram dispostas nos pontos de monitoramento, afixadas ao tronco de uma árvore que serviu como suporte, sem contato com qualquer substrato, ficando exposta às condições ambientais durante seis meses.

Ao final do período de exposição, as folhas foram coletadas e levadas ao laboratório para extração e obtenção da fração solúvel que foi submetida às análises bioquímicas.

Foi realizada extração alcóolica seguida de partição com clorofórmio (Fernandes, 1984). Na fração solúvel, foram determinados os teores de prolina (Carillo e Gibon, 2011) e de pigmentos fotossintéticos após a extração com dimetilsulfóxido (DMSO) (Hiscox e Israelstam, 1979). As concentrações de Clorofila *a*, Clorofila *b* e Carotenoides foram determinadas espectrofotometricamente utilizando-se as equações propostas por Wellburn (1994).

Figura 1 - Pontos de monitoramento e instalação das orquídeas no município de Volta Redonda – RJ. Marcador verde: P0 (Área de Relevante Interesse Ecológico Floresta da Cicuta); Marcador vermelho: P2 (Residência na Rua Professor Bráz Máximo de Castro – Bairro Mangueira); Marcador amarelo: P1 (Pátio da UFF (Universidade Federal Fluminense) - Bairro Vila Santa Cecília); Marcador azul: P3 (Avenida Almirante de Barros Nunes - Bairro Vila Mury (Ilha Esfinge)).



Fonte: Google Earth. Disponível em: <https://shre.ink/gVGy>. Acesso em: 6 set. 2024.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Os dados foram verificados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett), os resultados foram analisados por meio da ANOVA e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando-se o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2021). Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software R 4.4.1 (R Core Team, 2024) ou o GraphPad Prism, utilizando o desvio padrão para comparação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao conteúdo foliar de prolina não foram estatisticamente diferentes quando os pontos de biomonitoramento foram comparados (Tabela 1). Portanto, não foi possível associar os teores desse aminoácido a mecanismos de tolerância aos poluentes atmosféricos, ao menos nas condições deste experimento.

Foi observada redução significativa (48,03% e 39,39%, respectivamente) nos teores de Clorofila total em dois pontos de monitoramento (P1 e P2) em comparação ao ponto

de controle (P0). Por outro lado, ocorreu aumento de 60,60% de Clorofila total no ponto 2 em relação ao ponto de controle (Figura 2).

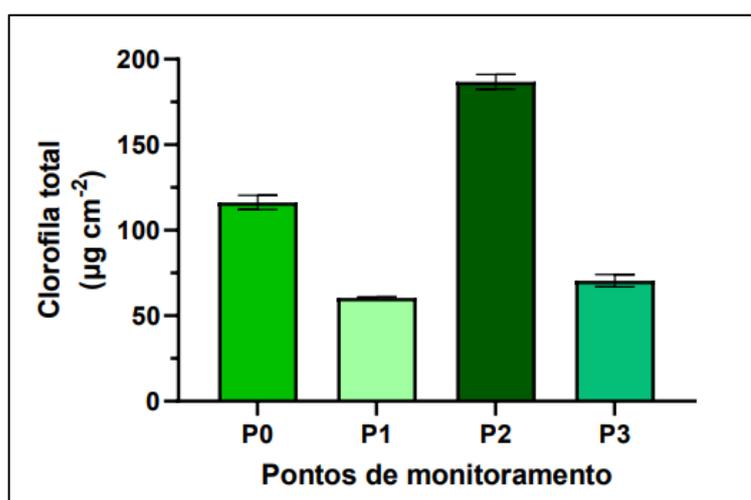
Tabela 1 - Teores de Prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa fresca) em tecidos foliares de orquídea (*Oeceoclades maculata*) nos quatro pontos de monitoramento (P0 = Floresta da Cicuta (Controle); P1 = Universidade Federal Fluminense; P2 = Bairro Mangueira; P3 = Bairro Vila Mury).

Pontos de monitoramento	Prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa fresca)
P0	29,41 a
P1	28,08 a
P2	24,88 a
P3	26,62 a

Fonte: Os autores.

Em relação aos tipos de pigmentos fotossintéticos avaliados, foi observado alteração nos teores de Clorofila *a*, *b* e Carotenoides (Tabela 2). Analisados em conjunto, os dados indicam redução nos teores de Clorofila *a*, *b* e Carotenoides nos pontos 1 e 3 em comparação ao ponto controle. Em contrapartida, foi observado aumento nos teores desses pigmentos no ponto 2 (Tabela 2) à semelhança do que ocorreu quando esses pigmentos são avaliados em conjunto (Figura 2).

Figura 2 - Análise de clorofila total em tecidos foliares de orquídea (*Oeceoclades maculata*) nos quatro pontos de monitoramento (P0 = Floresta da Cicuta (Controle); P1 = Universidade Federal Fluminense; P2 = Bairro Mangueira; P3 = Bairro Vila Mury)).



Fonte: Os autores

Plantas adaptadas a alta radiação podem apresentar níveis mais elevados de Clorofila *b* (ou valores reduzidos de Clorofila *a*) em resposta à poluição do ar, como descrito

por Moraes (1999) em plantas jovens de *Tibouchina pulchra* (Melastomataceae) expostas nas proximidades de uma refinaria de petróleo em Cubatão (SP).

A quantidade de Clorofilas *a* e *b* é essencial para diagnosticar o estado do aparelho fotossintético e a capacidade adaptativa das plantas (Verma, Chandra, 2014). Uka (2021) sugere que a análise de Clorofilas e Carotenóides pode servir como um indicador eficaz de estresse ambiental nas plantas. Estudos anteriores mostraram que poluentes podem danificar os fotossistemas vegetais, degradando a clorofila e reduzindo a eficiência fotoquímica do PSII, o que diminui o crescimento e a produção de biomassa das plantas (Calatayud, 2007).

Tabela 2 - Teores de Pigmentos Fotossintéticos ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de massa fresca) em tecidos foliares de orquídea (*Oeceoclades maculata*) nos quatro pontos de monitoramento (P0 = Floresta da Cicuta (Controle); P1 = Universidade Federal Fluminense; P2 = Bairro Mangueira; P3 = Bairro Vila Mury).

Pontos de monitoramento	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de mf)	Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de mf)	Carotenóides ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de mf)
P0	82,88 b	33,38 b	19,00 b
P1	39,29 d	21,12 c	12,96 c
P2	132,78 a	53,94 a	30,19 a
P3	47,23 c	23,24 c	14,98 c
CV %	3,46	5,49	5,31

Fonte: Os autores.

Análises de clorofilas e carotenóides têm sido usadas como indicadores de estresse em plantas, provocado por diversos fatores, como a exposição a herbicidas (Meschede et al., 2011), metais pesados (Santos et al., 2011) e O_3 (Juozaitytė et al., 2007).

Dessa forma, as distâncias das fontes emissoras de poluição juntamente com as condições ambientais nos pontos de monitoramento, especialmente nos pontos P1 e P3, são fatores que podem ter influenciado os resultados relacionados ao conteúdo de clorofilas obtidos até o momento.

CONCLUSÕES

O estudo revelou que o conteúdo de prolina não sofreu alteração significativa nos diferentes pontos de biomonitoramento, sugerindo que não é um indicador adequado de poluição atmosférica nas condições observadas. Por outro lado, os teores de Clorofilas *a*, *b* e Carotenóides mostraram-se eficazes em indicar variações

ambientais, com destaque para os pontos 1 e 3 que apresentaram reduções consideráveis, sugerindo maior estresse ambiental.

Estudos futuros devem ser conduzidos visando explorar mais profundamente a relação entre esses poluentes específicos e os mecanismos de tolerância na espécie estudada, ou em outras espécies epífitas que venham a ser candidatas para uso em estratégias de biomonitoramento da poluição atmosférica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro para realização da pesquisa: FAPERJ (Auxílio Básico à Pesquisa (APQ1) - 2023 / Ref. Proc. E-26/210.781/2024).

REFERÊNCIAS

CALATAYUD, Angeles. Chlorophyll a fluorescence as indicator of atmospheric pollutant effects. **Toxicological and Environ Chemistry**, v. 89, n. 4, p. 627-639, 2007.

CARILLO, Petronia et al. Protocol: Extraction and determination of proline. **PrometheusWiki**, v. 2011, p. 1-5, 2011.

CARNEIRO, Regina Maria Alves. Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade. Dissertação de mestrado em Enfermagem em Saúde Pública. Departamento de Enfermagem Materno-Infantil e Saúde Pública da Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, **Ribeirão Preto**, 2004.

EMBERSON, Lisa; ASHMORE, Mike; MURRAY, Frank. **Air pollution impacts on crops and forests: a global assessment**. Imperial College Press. London, 2003.

FERNANDES, M. S. N-carriers, light and temperature influences on uptake and assimilation of nitrogen by rice seedlings. **Turrialba**; **Vol. 34, no. 1**, 1984.

FERREIRA, Eric Baptista et al. ExpDes.pt: **R package version 1.2.2**. 2021. <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>

FONSECA, A. Biologia. Instituto Brasileiro de Edições Pedagógicas, 2000. 192p.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from

leaf tissue without maceration. **Canadian journal of botany**, v. 57, n. 12, p. 1332-1334, 1979.

JUOZAITYTĖ, Rima et al. Growth and physiological features of pea (*Pisum sativum* L.) of different morphotypes under ozone exposure. **Biologija**, v. 53, n. 3, 2007.

KLUMPP, A. Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC**, p. 77-94, 2001.

MESCHEDE, D. K. et al. Alteração fisiológica da cana-de-açúcar pela aplicação de glyphosate e sulfometuron-methyl. **Planta Daninha**, v. 29, p. 413-419, 2011.

MORAES, Regina Maria de; DELITTI, Welington Braz Carvalho. Fotossíntese líquida e respostas bioindicadoras da poluição aérea em indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae), em Cubatão, SP. 2000.

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, Fabiana Soares dos et al. Antioxidative response, phytochelatin production and photoprotective pigments composition of *Brachiaria decumbens* Stapf plants exposed to Cd and Zn. **Química Nova**, v. 34, p. 16-20, 2011.

TOLEDO, Giovana Iara Ferreira Moser de; NARDOCCI, Adelaide Cássia. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 14, p. 445-454, 2011.

UKA, Ufere N.; BELFORD, Ebenezer JD; ELEBE, Florence A. Effects of road traffic on photosynthetic pigments and heavy metal accumulation in tree species of Kumasi Metropolis, Ghana. **SN Applied Sciences**, v. 3, p. 1-12, 2021.

VERMA, Vijeta; CHANDRA, Neelam. Biochemical and ultrastructural changes in *Sida cordifolia* L. and *Catharanthus roseus* L. to auto pollution. **International scholarly research notices**, v. 2014, n. 1, p. 263092, 2014.

WELLBURN, Alan R. 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**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.