



ESTUDO SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA CIDADE DE JARAGUÁ DO SUL-SC: MATERIAL PARTICULADO FOLIAR E BIOINDICADORES

Marlon Wendel Valentim de Miranda¹, João Carlos Ferreira de Melo Júnior¹, Mariane Bonatti Chaves¹

¹ Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, Joinville, Brasil
(mariane.bonatti@univille.br)

Resumo: O bioindicador aroeira-vermelha foi selecionado e 2 áreas de Jaraguá do Sul (uma rural e outra urbana). Foram realizadas análises botânicas, quantificação e análises químicas do material particulado foliar (MPF). Observou-se maior concentração de MPF em área urbana; bem como menores valores de massa fresca, massa seca e conteúdo de água nas folhas de aroeira. Destaca-se a presença dos íons cloreto e sulfato no MPF, que podem estar associados a processos de queima de lixo (PVC)/biomassa; e queima de combustíveis fósseis.

Palavras-chave: material particulado foliar; poluição atmosférica; biodiindicador; aroeira-vermelha.

INTRODUÇÃO

A atmosfera é um dos principais ambientes que sofre com as atividades antrópicas. No entanto, a discussão a respeito de como as interferências do homem têm gerado problemas socioambientais nesse meio, provocando a diminuição da qualidade de vida (especialmente nas grandes cidades), tem sido um debate de apenas duas décadas atrás (RODRIGUES et al., 2015; BRITO, ARAÚJO, SILVA, 2018; GARCIA e PASSOS, 2021). O material particulado (MP) presente no ar é classificado como um dos principais poluentes do ar, podendo atingir facilmente o sistema respiratório em humanos devido ao seu diminuto tamanho e grande capacidade de adsorção e/ou absorção, provocando sérios problemas respiratórios (FROTA; VASCONCELOS, 2019).

A fim de se estudar sobre poluição atmosférica, organismos vivos como plantas podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade do ar. Segundo Manahan (2013), as plantas apresentam grande sensibilidade à presença de poluentes atmosféricos. Ambientes poluídos geram uma série de problemas para a vegetação que ali se encontra, como eliminação de espécies mais sensíveis e consequentemente redução da biodiversidade local; diminuição do seu crescimento; aumento na vulnerabilidade a pragas e doenças; dentre outros problemas.

A cidade de Jaraguá do Sul/SC cresce industrialmente desde sua emancipação de Joinville, em 1934. Trata-se de um município do Norte Catarinense com

1.127,95 km² de extensão territorial, abrigando algumas empresas de grande porte e várias de pequeno porte e microempresas, abrangendo os setores têxtil, metalmeccânico, alimentos, dentre outros (SEBRAE, 2019). Conforme Schwarz (2022), em Jaraguá do Sul há 14 indústrias no Inventário de Emissões Industriais de Santa Catarina, cuja maioria se enquadra no ramo metalmeccânico. Os principais poluentes nas emissões dessas indústrias são óxidos, metais pesados, compostos orgânicos voláteis e material particulado (MP), o que traz uma preocupação quanto à qualidade do ar no ambiente urbano da cidade.

Assim sendo, o presente estudo teve como objetivo analisar quimicamente o material particulado foliar, isto é, aquele coletado sobre a superfície de folhas de árvores, mais especificamente da espécie *Schinus terebinthifolia* (aroeira-vermelha), em duas regiões da cidade de Jaraguá do Sul/SC (um localizado em zona rural e outro em zona urbana), bem como avaliar parâmetros botânicos das folhas coletadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem: foram selecionadas duas regiões de amostragem, uma mais afastada da região central e menos urbanizada, denominada rural (coordenadas geográficas 26.518149 S, 49.079203 W), e outra a 3,7 km desta, em direção leste, mais urbanizada/industrializada (coordenadas geográficas 26.491185 S, 49.053077 W), denominada área urbana. As coletas foram realizadas no mês de agosto de 2023, sendo realizadas após 5 dias de estiagem, a fim de



evitar a lavagem pela chuva do material particulado depositado sobre as folhas das árvores.

Análises botânicas: selecionou-se para estudo a planta aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolia*), pois é uma árvore nativa da região e, desta forma, presente em ambos os pontos de amostragem. Foram coletadas 5 folhas de cada árvore, sendo selecionadas 5 árvores por ponto de amostragem, totalizando 25 folhas por ponto de amostragem. Foram coletadas as folhas entre os 3º e 5º nós do ramo, sendo estas classificadas como as folhas mais maduras da planta. Após a coleta as folhas foram armazenadas em saco plástico identificado, contendo água (condição de saturação máxima das folhas), sendo as folhas mantidas imersas em água, e armazenadas em geladeira, até o momento das análises (em torno de 48 h). Em laboratório, foram selecionados os dois folíolos mais próximos da ponta, também chamados de folíolos apicais, para estudo dos parâmetros botânicos: massa fresca, obtido por meio da pesagem direta em balança analítica (marca Shimadzu, modelo ATY224); massa seca, obtida por meio da pesagem da folha após a secagem em estufa por 72 h (60 °C); e área foliar, obtida via digitalização de cada folha utilizando o software Sigma Scan Pro 5.0), conforme Witkowski e Lamont (1991). A partir dos valores de massa seca e a área foliar, pode-se calcular o parâmetro área específica foliar (cm²/g).

Quantificação e análise química do material particulado foliar: foram selecionados 10 folíolos por ponto de amostragem, estes foram imersos em 200 mL de água ultrapura Milli-Q, e mantidos sob agitação (80 rpm) por 1 hora. Em seguida, os folíolos foram retirados da solução e o meio líquido foi filtrado utilizando-se filtros de 0,45 µm de porosidade, previamente secos e pesados. O papel filtro contendo o material particulado foi seco em estufa por 24 h, a 60 °C, até obtenção de massa constante; em seguida foram pesados (Menezes e Cataluña, 2008). Este procedimento foi realizado em triplicata. Por meio da diferença entre as massas do filtro antes e após o procedimento de filtração obteve-se a massa de material particulado foliar. Dividindo-se a massa de material particulado pela área total dos 10 folíolos utilizados no início do experimento obteve-se a concentração de material particulado foliar (mg/cm²). O filtrado gerado nesta etapa foi analisado quanto aos valores de pH e condutividade, utilizando-se medidor multiparâmetros marca Hanna, e quanto a presença dos ânions cloreto, fosfato, nitrato e sulfato. Estas últimas, foram realizadas pela empresa Acquaplant Química do Brasil Ltda e seguiram metodologia descrita em EPA 300.1:1999, sendo os resultados expressos em mg/L e convertidos em mg do íon/mg de material particulado foliar, por meio da Equação 1.

$$\frac{(mg \text{ íon})}{(mg \text{ MP foliar})} = \frac{(concentração \text{ do íon em } mg/L \times 200)/1000}{massa \text{ de material particulado foliar } (mg)}$$

(1)

Análise estatística: foram utilizados os testes estatísticos Teste Q para eliminação de valores desviantes e o Teste t para verificação de diferenças estatisticamente significativas entre as médias obtidas. Realizou-se também análise de correlação por meio do coeficiente de Pearson para análise de variáveis biológicas e de concentração de material particulado foliar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores de massa fresca, massa seca, área foliar, área específica foliar e conteúdo de água, obtidos com as amostras de folhas coletadas nas duas áreas de estudo. Observa-se variação nas características botânicas das folhas coletadas nas áreas rural e urbana. Com relação aos parâmetros massa fresca e massa seca, observa-se valores maiores para as folhas coletadas em área rural. Mais especificamente, obteve-se para os parâmetros massa fresca e massa seca valores 2,8 e 2 vezes superiores em área rural, respectivamente (p-valor < 0,05). Com relação ao parâmetro área foliar não se observou diferença estatisticamente significativa entre os valores médios obtidos nas duas áreas de estudo. Com relação ao conteúdo de água observou-se também menores valores em folhas de aroeira provenientes da área urbana (3,4 vezes menor) (p-valor < 0,05). Cavallaro et al. (2019) realizaram pesquisa similar em Joinville/SC com plantas da espécie *Inga edulis* e também observaram maior valor para massa fresca no ponto controle (área rural), sendo este 61% superior ao observado em plantas localizadas em área urbana.

O parâmetro área foliar específica (cm²/g) é a razão entre a área foliar e a massa seca das folhas, ou seja, é uma medida da expansão média da folha, em área, por unidade de massa seca foliar e, indiretamente, define a densidade ou espessura das folhas (SILVA, 2021). Neste trabalho, os valores médios de área específica foliar não apresentaram diferença estatisticamente significativa (p-valor > 0,05), indicando folhas de espessuras similares nas duas áreas de estudo. Cavallaro et al. (2019), entretanto, observaram maior valor de área específica foliar em indivíduos (árvores) localizados em área urbana. Segundo estes autores, estes dados sugerem que indivíduos localizados na área com maior concentração de material particulado, por serem mais suscetíveis a essa nociva condição ambiental, tendem a fazer maior investimento na manutenção do corpo vegetal, uma vez que os tecidos fotossintetizantes são os primeiros a sofrer injúria pelos poluentes. Já na área controle, os indivíduos tendem a investir mais em crescimento.

Tabela 1 - Parâmetros botânicos observados em área rural e área urbana.



Ponto	Propriedade	Média±desvio padrão
Área rural	Massa fresca (g)	0,384±0,14
	Massa seca (g)	0,131±0,04
	Conteúdo de água (g)	0,253±0,11
	Área (cm ²)	6,589±3,08
	Área específica foliar (cm ² /g)	77,053±17,16
Área urbana	Massa fresca (g)	0,139±0,02
	Massa seca (g)	0,065±0,03
	Conteúdo de água (g)	0,074±0,02
	Área (cm ²)	4,417±0,95
	Área específica foliar (cm ² /g)	79,328±7,22

Com relação a concentração de concentração de material particulado foliar, obteve-se para a área rural valor médio igual a $0,0384 \pm 0,0031$ mg/cm² e para a área urbana o valor de $0,0521$ mg/cm². Este último valor é em torno de 70% superior ao observado em área rural (p -valor $< 0,05$). Cavallaro et al. (2019) também observaram maiores valores de concentração de material particulado foliar em área urbana do que em área rural, em torno de 60% superior. Neste trabalho, observou-se valores de concentração de material particulado foliar, tanto para área rural quanto para área urbana, aproximadamente 5 vezes menores que os observados por Cavallaro et al. (2019) em estudo realizado em Joinville. Estes valores evidenciam como o crescimento de uma cidade pode influenciar a qualidade do ar local, pelo menos em termos de material particulado foliar, observação também considerada por Garcia e Passos (2021).

Santos (2019) realizou estudo similar, em Joinville, utilizando como espécie bioindicadora *Alchornea glandulosa*. O autor obteve concentração de material particulado foliar 10 a 30 vezes maior em área urbana que em área rural. Reis (2014), em estudo realizado em Goiânia/GO, em uma região próxima à BR-153, encontrou valor de concentração de material particulado foliar igual $7,10$ µg/mm² (710 µg/cm²). Esse valor é expressivamente maior que o encontrado na área de estudo deste trabalho (mais do que 10 vezes superior).

Quanto ao parâmetro pH, para as amostras

provenientes da área rural, obteve-se valor médio igual a $6,69 \pm 0,36$ (coeficiente de variação = 5,38%) e para as amostras provenientes da área urbana o valor de $6,36 \pm 0,09$ (com coeficiente de variação = 1,41%), não sendo estes valores diferentes estatisticamente entre si ($p > 0,05$). Com relação aos valores de condutividade, observou-se para a área urbana soluções com valor de condutividade em torno de 30 µS/cm; e para a área rural amostras com valores de condutividade em torno de 20 µS/cm. Os diferentes valores de condutividade para área rural e urbana observados neste trabalho sugerem maior concentração de íons solúveis na área urbana. Dentre os ânions analisados, destacam-se cloreto e sulfato, os demais não foram identificados, de acordo com o limite de quantificação da técnica utilizada para análise. Os valores de concentração de cloreto variaram de $0,4$ a $10,0$ mg de Cl⁻/mg de material particulado foliar, já os valores de concentração de sulfato variaram de $0,4$ a $0,6$ mg de SO₄²⁻/mg de material particulado foliar, sendo os valores médios para ambos os íons, nas diferentes áreas de amostragem, sem diferença estatisticamente significativas entre si. Com relação a presença do ânion sulfato nos extratos aquosos das folhas de aroeira, pode-se sugerir como fonte proveniente de material particulado foliar a queima de combustíveis fósseis (em termelétricas, processos industriais, tráfego de veículos, etc.) e processos produtivos a partir de sulfetos orgânicos. A presença de íons cloreto no extrato aquoso sugere como possível fonte de emissão a queima de combustíveis fósseis; porém, da mesma forma, pode-se sinalizar como possível fonte de emissão de material particulado foliar a queima de lixo contendo compostos clorados, como poli(cloreto de vinila) PVC, e de biomassa (MKOMA et al., 2014; BERINGUI et al., 2021).

CONCLUSÃO

A poluição atmosférica é um tema que tem estado em pauta nos últimos anos. Neste estudo, se buscou quantificar e analisar quimicamente o material particulado foliar coletado na cidade de Jaraguá do Sul, comparando-se as características deste quando proveniente de área rural e de área urbana. Analisou-se também parâmetros morfológicos de folhas de aroeira coletadas em ambas as áreas. As análises morfológicas revelaram folhas com menor massa e conteúdo de água em áreas urbanas que aquelas coletadas em área rural. Sugere-se que o conjunto de condições inadequadas em ambiente urbano estejam influenciando negativamente o desenvolvimento adequado da planta em estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Apoio à Pesquisa da Univille (FAP/UNIVILLE).



REFERÊNCIAS

BERINGUI, Karmel; QUIJANO, Maria Fernanda C.; JUSTO, Elizanne P. S.; VENTURA, Luciana Maria Baptista; GIODA, Adriana. Avaliação da concentração e composição inorgânica do material particulado coletado no estado do Rio de Janeiro. *Química Nova*, v. 44, n. 6, p. 737-754, 2021.

BRITO, Paulo Henrique Ferreira de; ARAÚJO, Rinaldo dos Santos; SILVA, Germana Maria Marinho. Composição química do material particulado atmosférico: uma revisão de literatura. *HOLOS*, v. 03, p. 62-74, 2018.

CAVALLARO, Renata; JÚNIOR, João Carlos Ferreira de Melo; CHAVES, Mariane Bonatti; RENNEN, Gladys Daniela Rogger. Avaliação do efeito da poluição atmosférica em populações urbanas de *Inga Edulis* Mart. (Fabaceae) por meio do método de biomonitoramento passivo. *Connection Line – Revista Eletrônica do UNIVAG*, n. 08, p. 204-126, 2019.

METHOD U.S.EPA-300.1, Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography. In: National Exposure Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. Ohio: Method 300.1, 1999. v. 1, p. 40.

FROTA, Evanise Batista; VASCONCELOS, Nadja Maria Sales de. *Química Ambiental*. Ceará: Editora da Universidade Estadual do Ceará, 2ª ed., 2019.

GARCIA, Carlos Alexandre Borges; PASSOS, Elisângela de Andrade. *Química Ambiental*. Aula 4, p. 42-53, jan. 2021.

MANAHAN, Stanley E. *Química Ambiental*. Porto Alegre: Bookman Editora LTDA, 2013.

MENEZES, Eliana Weber de; CATALUÑA, Renato. Amostragem do material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor ciclo diesel sem a utilização de túnel de diluição. *Química Nova*, v. 31, n. 8, p. 2027-2023, 2008.

MKOMA, Stelyus L.; ROCHA, Gisele O. da; DOMINGOS, José S. S.; SANTOS, João V.S.; CARDOSO, Manuela P.; SILVA, Rogerio I. da; ANDRADE, Jailson B. de. Atmospheric particle dry deposition of major ions to the South Atlantic coastal area observed at Baía de Todos os Santos, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 1, p. 37-55, 2014.

REIS, Adriano Francisco dos. Análise da dispersão de poluentes de origem veicular na BR-153 e sua relação com o uso do solo em área urbana do município de Goiânia. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

RODRIGUES, Cristina Guimarães; VORMITTAG, Evangelina da Motta Pacheco Alves de Araújo; CAVALCANTE, Julia Affonso; SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento. Projeção da mortalidade e internações hospitalares na rede pública de saúde atribuíveis à poluição atmosférica no Estado de São Paulo entre 2012 e 2030. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v.32, n.3, p.489-509, 2015.

SANTOS, Gabriela Soares dos; SANTOS, Murylu Dias dos; MELO JÚNIOR, João Carlos Ferreira de; BONATTI-CHAVES, Mariane; MOUGA, Denise Monique Dubet da Silva; GUMBOSKI, Emerson Luiz. Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica. *Acta Biológica Catarinense*, v.6, n.1, p.93-102, 2019.

SCHWARZ, Daiane Luiza. Risco associado às emissões veiculares e industriais no município de Jaraguá do Sul/SC. 2022. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Caderno de Desenvolvimento de Santa Catarina – Jaraguá do Sul. Ed. 2019, p. 1-89. Disponível em <<https://datasebrae.com.br/municipios/sc/m/Jaragua%20do%20Sul%20-%20Cadernos%20de%20Desenvolvimento.pdf>>. Acesso em: abr. 2022.

SILVA, Luca Correia Martins da. Caracterização química do material particulado atmosférico (MP10) do Distrito Federal. 2021. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Tecnológica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

WITKOWSKI, E. T. F; LAMONT, Byron B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*, v. 88, n.4, p.486-93, 1991.