



Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica

Evaluation of the potential bioindicator of Alchornea glandulosa in the monitoring of atmospheric pollution

Gabriela Soares dos **SANTOS**¹; Murylu Dias dos **SANTOS**¹; João Carlos Ferreira de **MELO JÚNIOR**^{1, 2}; Mariane **BONATTI-CHAVES**¹; Denise Monique Dubet da Silva **MOUGA**¹ & Emerson Luiz **GUMBOSKI**¹

RESUMO

Poluentes atmosféricos são precursores de alterações estruturais nos vegetais, reduzindo sua capacidade fotossintética. Por meio do método de biomonitoramento passivo, o presente estudo avaliou o efeito de material particulado depositado sobre as folhas de populações de *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae) localizadas em quatro pontos amostrais no município de Joinville (SC, Brasil). Em cada ponto, selecionaram-se cinco indivíduos amostrais, dos quais foram coletadas folhas completamente expandidas para a mensuração de atributos funcionais morfoanatômicos e do material particulado. As médias dos atributos foram comparadas por Anova. Observou-se maior quantidade de material particulado depositado sobre as folhas nos indivíduos do ponto situado nas imediações de indústrias emissoras de poluentes atmosféricos. Todos os atributos biológicos diferiram estatisticamente entre os pontos, com evidente redução da área foliar, conteúdo de água e tecidos fotossintetizantes nas folhas dos indivíduos presentes no ponto com maior concentração de material particulado. A área específica foliar mostrou que os indivíduos do ponto controle investem mais em produção fotossintética, enquanto os indivíduos do ponto mais poluído investem na manutenção da folha. Os resultados obtidos evidenciaram que a poluição atmosférica exerce influência no desenvolvimento foliar de *A. glandulosa*, causando-lhe injúrias e destacando-a como espécie sensível à poluição e, portanto, boa bioindicadora em sistemas de biomonitoramento da qualidade ambiental.

Palavras-chave: biomonitoramento; conservação ambiental; poluição atmosférica; qualidade ambiental; qualidade do ar.

ABSTRACT

Atmospheric pollutants are precursors of structural changes in plants, reducing their photosynthetic capacity. The present study evaluated the effect of deposited particulate matter on the leaves of *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae) populations located in four sampling points in the city of Joinville (SC, Brazil) using the passive biomonitoring method. At each point, five individuals were selected, from which completely expanded leaves were collected for the measurement of functional morphological attributes and particulate matter. The means averages were compared by ANOVA. A greater amount of particulate matter deposited on the leaves was observed in the individuals located near the emitters of atmospheric pollutants. All biological attributes differed statistically between the points, with evident reduction of leaf area, water content and photosynthetic tissues in leaves of the individuals present at the point with the highest concentration of particulate matter. The specific leaf area showed that control point individuals invest more in photosynthetic production, while individuals at the most polluted point invest in leaf maintenance. The results obtained evidenced that atmospheric pollution exerts influence on the leaf development of *A. glandulosa*, causing injury and highlighting it as a species sensitive to pollution and, therefore, a good bioindicator in biomonitoring systems of environmental quality.

Keywords: air quality; atmospheric pollution; biomonitoring; environmental conservation; environmental quality.

Recebido em: 18 mar. 2019

Aceito em: 26 jun. 2019

¹ Programa Institucional de Pesquisa em Ciências Ambientais, Universidade da Região de Joinville (Univille), Rua Paulo Malschitzki, n. 10, Zona Industrial – CEP 89219-710, Joinville, SC, Brasil.

² Autor para correspondência: joao.melo@univille.br.

INTRODUÇÃO

O ar poluído é uma mistura de partículas – material particulado (MP) – e gases que são emitidos para a atmosfera principalmente por indústrias, veículos automotivos, termoelétricas, queima de biomassa e de combustíveis fósseis. Os poluentes podem ser classificados em primários e secundários (ARBEX *et al.*, 2012). O material particulado é uma complexa mistura caracterizada por um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. Essas partículas, chamadas de aerossóis, são formadas por diversos componentes como ácidos (como sulfatos e nitratos), orgânicos químicos, metais, solo e partículas de poeira (TORRES DE ALMEIDA, 1999). O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (CETESB, 2001).

O desenvolvimento industrial e urbano, o crescimento populacional e o conforto pelo avanço da tecnologia contribuem para o aumento da poluição atmosférica, tornando o ar de centros urbanos cada vez mais suscetível a substâncias nocivas aos seres vivos (MACHADO, 2008; TEIXEIRA & BARBÉRIO, 2012). Nas plantas a poluição atmosférica pode ser responsável por sérias injúrias, causando-lhes alterações estruturais e funcionais. A extensão em que as funções vitais dos vegetais são afetadas pelos poluentes, e se há danos visíveis, depende de muitos fatores, tanto bióticos quanto abióticos (LARCHER, 2006).

De acordo com Melo Júnior *et al.* (2014), vários estudos têm demonstrado os efeitos negativos dos poluentes sobre os vegetais, especialmente nas folhas, por ser órgão mais exposto do corpo da planta. Entre as pesquisas realizadas, são citadas como resultado do efeito da poluição atmosférica as seguintes alterações: a) aumento ou diminuição na produção de certas enzimas (IQBAL *et al.*, 2010); b) alterações genéticas (FLECK *et al.*, 2016); c) aumento na concentração de hormônios vegetais relacionados ao estresse e outros metabólitos secundários (PIGNATA *et al.*, 2002); d) senescência foliar (MACHADO, 2008); e) distúrbios no aparelho fotossintético (GEROSA *et al.*, 2003; MORAES *et al.*, 2004); f) alterações anatômicas na epiderme, tecidos vasculares e parênquimas (SODA *et al.*, 2000; ALVES, 2001; MOURA *et al.*, 2011; ARRIVABENE *et al.*, 2015). Por conseguinte, essas alterações provocam sintomas como clorose e necrose em tecidos e órgãos, que podem evoluir, levando o indivíduo à morte (MANNING & FEDER, 1980).

A avaliação da presença de poluentes no ambiente e do seu efeito sobre os vegetais é feita por meio de metodologias que empregam recursos químicos, físicos ou físico-químicos, mediante uso de aparelhos, em muitos casos bastante sofisticados e caros. Avaliar o comportamento do poluente no ambiente, ou seja, monitorar a sua ação pelos organismos vivos é um tópico relativamente novo nas Ciências Ambientais, o qual tem sido chamado de biomonitoramento ou bioindicação (LIMA, 2001). Das tecnologias ambientais que vieram para auxiliar a quantificação da poluição, destaca-se o biomonitoramento atmosférico, em que se utiliza um organismo como ferramenta na avaliação da qualidade do ar e se avaliam respostas de sistemas biológicos de modo integrado, isto é, a ação de vários poluentes ao mesmo tempo e em condições atmosféricas reais (JABBOUR, 2010). O biomonitoramento pode ser definido como um método experimental indireto em que se verifica a existência de poluentes numa certa área por intermédio de organismos vivos que respondem ao estresse a que se encontram submetidos (ROSSBACH *et al.*, 1999; CARRERAS & PIGNATA, 2001).

No entanto ainda é preciso ampliar as pesquisas nessa perspectiva para melhor compreender não somente as consequências da poluição sobre os organismos, como também para melhor conhecer o potencial de monitoramento ambiental por meio do uso de espécies vegetais nativas em oposição aos onerosos estudos que empregam o plantio experimental de espécies exóticas biomonitoras. Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar a qualidade do ar atmosférico e seu efeito sobre atributos foliares da espécie *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae) por meio do biomonitoramento passivo. Tem-se como hipótese que a poluição atmosférica é precursora de injúrias nos tecidos fotossintéticos foliares em decorrência do acúmulo de material particulado sobre a lâmina foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

ESPÉCIE EM ESTUDO

Alchornea glandulosa Poepp. & Endl. pertence à família Euphorbiaceae, a qual abriga cerca de 6.000 espécies distribuídas por todo o mundo, ocorrendo sobretudo nos trópicos (SOUZA & LORENZI, 2005). Conhecida como tanheiro, *A. glandulosa* é encontrada desde a América do Sul até o Panamá. No Brasil está presente em todos os biomas, sendo comum em florestas ciliares e em planícies aluviais da floresta atlântica (LORENZI, 1992), além de florestas transicionais entre a floresta ombrófila e a floresta de restinga (MELO JÚNIOR & BOEGER, 2015). Trata-se de uma espécie nativa de hábito arbóreo e grande porte, podendo atingir de 20 a 25 metros de altura, compondo assim o dossel das florestas onde se faz presente. É uma árvore heliófita, pioneira ou secundária inicial (LORENZI, 2009). Tem pico de brotação foliar na época mais úmida e queda foliar nos meses mais secos, de maio a junho (CARDOSO *et al.*, 2017).

ÁREAS DE COLETA

O estudo foi realizado no município de Joinville, localizado na região nordeste do estado de Santa Catarina, considerado o maior polo industrial catarinense, com mais de 1.400 indústrias dos setores metalomecânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico (IPPUJ, 2014). A cidade tem clima mesotérmico úmido sem estação seca definida, com temperatura média anual de 22,6°C, precipitação média anual de 1.874 mm, e é coberta por distintas subformações de floresta ombrófila densa (FOD), com predomínio da FOD de terras baixas e submontana, compondo fragmentos secundários de dimensões e estádios sucessionais distintos (MELO JÚNIOR *et al.*, 2017). Para o monitoramento da espécie selecionada foram escolhidos quatro pontos amostrais (figura 1), distribuídos ao longo da trajetória dos ventos que sopram no sentido mar-continente em Joinville. Dessa forma, tentou-se estabelecer um gradiente hipotético de fontes emissoras de poluentes atmosféricos do ponto A (potencialmente mais poluído) ao ponto D (controle). São eles: ponto A – fragmento florestal urbano de pequena dimensão, com estrutura florestal degradada, situado na zona industrial de Joinville, nas imediações da maior indústria metalomecânica da América Latina, atuando no local desde a década de 1950; ponto B – inserido na malha urbana, predominantemente residencial, do centro da cidade em fragmento florestal secundário em estágio médio de regeneração; ponto C – situado em fragmento similar ao do ponto amostral anterior, em área afastada do centro urbano, desprovida de indústrias metalomecânicas, com predomínio residencial e lavouras de arroz irrigado em transição para o meio rural do município; e ponto D – inserido no meio rural da cidade e dentro da Área de Proteção Ambiental da Serra Dona Francisca, caracterizada por propriedades rurais e áreas de cultivo e criação de animais.

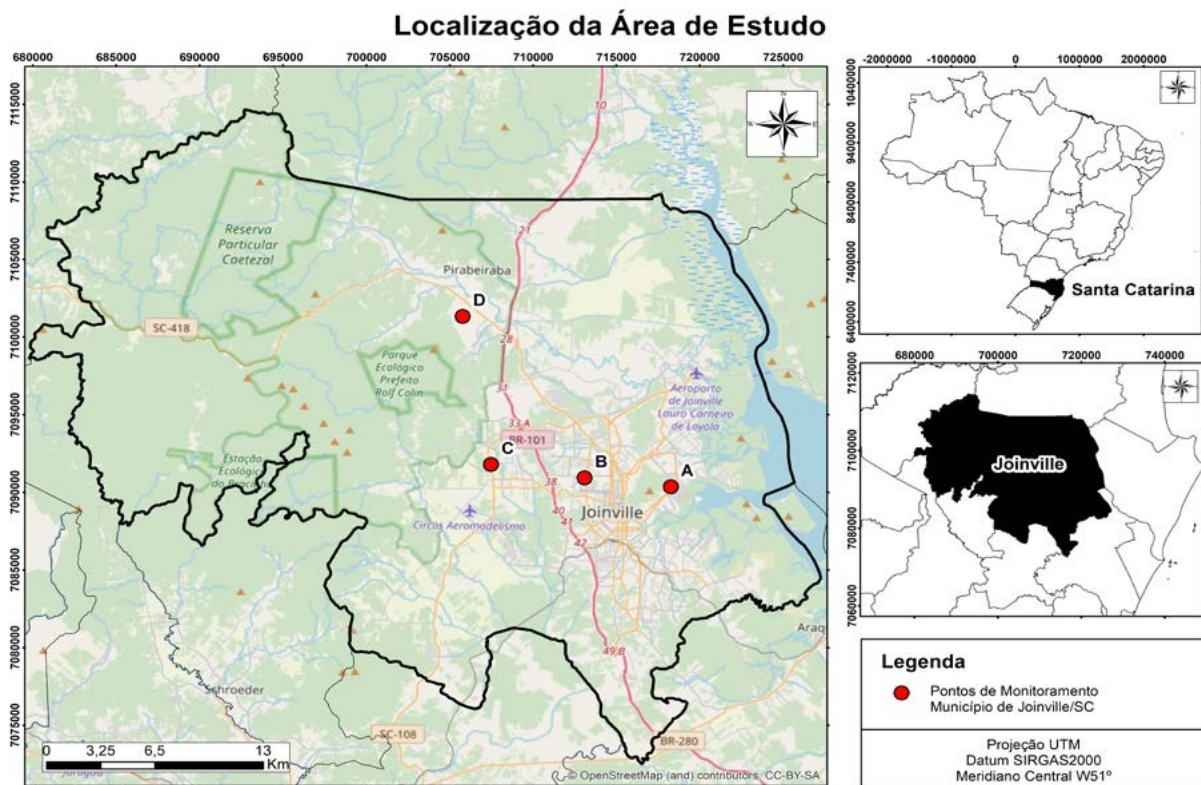


Figura 1 – Localização dos pontos amostrais no município de Joinville (SC, Brasil) para a avaliação do efeito da qualidade do ar atmosférico sobre a espécie *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae) por meio do biomonitoramento passivo.

COLETA DE MATERIAL BOTÂNICO E ATRIBUTOS SELECIONADOS

Em cada ponto, selecionaram-se cinco indivíduos adultos de *Alchornea glandulosa*, totalizando um grupo amostral de 20 plantas. As coletas foram realizadas na mesma fase fenológica da planta e na mesma estação (outono) do ano de 2017, buscando-se sua padronização e a neutralização do efeito da sazonalidade sobre as populações. De cada indivíduo amostral se coletaram 35 folhas da copa externa, completamente expandidas, fixadas no 3.º nó e sem lesões provocadas por herbívoros, para a biometria de atributos morfoanatômicos funcionais selecionados com base nas características foliares comumente empregadas em estudos desse gênero disponíveis na literatura. Consideraram-se atributos morfológicos: a) massa fresca (g); b) massa seca (g); c) área foliar (cm²); d) área específica foliar (cm².g⁻¹) com N = 25. Para a anatomia, com N = 10, as folhas foram fixadas em campo, com uso de FAA (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 50%) por 48 horas e posteriormente acondicionadas em álcool 70%. As análises anatômicas foram feitas com base nas observações em microscópio óptico Olympus CX 31 de secções transversais do terço médio da lâmina foliar, utilizando preparações histológicas semipermanentes. Os cortes histológicos obtidos com auxílio de navalha de aço foram clarificados em hipoclorito de sódio, corados com azul de toluidina e montados em água glicerizada (KRAUS & ARDUIN, 1997). Os atributos anatômicos compreenderam a espessura: da epiderme das faces adaxial + cutícula (µm) e abaxial + cutícula (µm), do parênquima paliçádico (µm), do parênquima lacunoso (µm) e da espessura total do limbo (µm), com auxílio do software Dino Eye 2.0.

COLETA E ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO

Para a determinação da massa de material particulado foliar (MP, mg.cm⁻²) depositado por unidade de área, utilizaram-se dez folhas de cada indivíduo das quatro áreas amostrais (N = 50).

A massa foi obtida com auxílio de balança analítica pela subtração entre a massa seca foliar e a massa seca foliar após a limpeza da superfície foliar. A área foliar (cm²) foi definida por meio do software Sigma Scan Pro 5.0 (REIS, 2014).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para cada atributo analisado se calcularam a média e o desvio padrão. A comparação das médias dos atributos analisados foi feita por Análise de Variância (Anova) *post hoc* Tukey, com $p < 0,05$, em ambiente R, após a verificação da normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias (BORCARD *et al.*, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de material particulado sobre a lâmina foliar de *Alchornea glandulosa* apresentou-se em maior quantidade sobre as folhas dos indivíduos localizados no ponto A, situado nas imediações da fonte emissora de poluentes atmosféricos. Os níveis de concentração de material particulado foliar no ponto A (próximo à fonte emissora de poluição) apresentaram média de $0,0031 \pm 0,0004$ mg/cm², 31 vezes superior ao observado no ponto D (controle), onde se obteve concentração de $0,0001 \pm 0,0000$ mg/cm² (tabela 1). Trabalho similar, realizado em Goiânia com a espécie *Pachira aquatica* Aubl. (Malvaceae), encontrou valores de material particulado foliar ($0,014 - 0,871$ mg/cm²) acima dos obtidos nesta pesquisa, sendo os maiores valores provenientes dos pontos de coleta mais próximos a uma rodovia com intenso tráfego de veículos (REIS, 2014). Estudo de monitoramento da qualidade do ar com a espécie nativa *Inga edulis* Mart. (Fabaceae), no município de Joinville (SC), também observou, empregando a mesma metodologia, maior concentração de material particulado foliar ($0,18 - 0,29$ mg/cm²) do que os aqui apresentados para os mesmos pontos amostrais (CAVALLARO *et al.*, 2018), o que indica haver oscilação temporal na emissão de poluentes atmosféricos pelas indústrias nessa região da cidade. Por outro lado, a diferença vista entre o presente estudo e o de Cavallaro *et al.* (2018) pode estar associada ao período de coleta das folhas para a quantificação do MP: outono e primavera, respectivamente. Há evidências de diferença estatisticamente significativa em relação à concentração de MP foliar obtida de coletas realizadas em período chuvoso e seco; em período chuvoso a concentração de MP foliar fica fortemente reduzida (REIS, 2014).

Tabela 1 – Concentração de material particulado (mg/cm²), por ponto amostral, sobre a lâmina foliar da espécie *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae), utilizada na avaliação do efeito da qualidade do ar atmosférico por meio do biomonitoramento passivo, no município de Joinville (SC, Brasil).

Ponto amostral	Concentração de MP foliar (mg/cm ²)	Desvio padrão
A	0,0031	0,0004
B	0,0003	0,0001
C	0,0001	0
D	0,0001	0

De qualquer forma, neste trabalho, o maior valor de material particulado foliar observado registrou concentração superior (10 a 30 vezes) no ponto A em relação aos demais pontos amostrais. No ponto A há indústrias de grande porte, assim como intenso tráfego de veículos. Cardoso *et al.* (2017) constataram maior concentração/deposição de material particulado em folhas de amendoeira, sibipiruna e pata-de-vaca localizadas em uma avenida de grande tráfego de veículos, comércio e indústrias de pequeno porte (aproximadamente 2 vezes superior) que naquelas localizadas no campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) (área com trânsito de veículos e atividades antrópicas moderados). Inoue e Reissmann (1991) verificaram maior concentração de material particulado ($0,0445$ mg/cm²) em folhas de *Ligustrum lucidum* presentes em local de intenso movimento de veículos do que em um bosque situado na periferia da cidade.

De acordo com a Resolução Conama n.º 491/2018 (CONAMA, 2018), que estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar, o limite máximo permitido para partículas totais em suspensão (PTS – partículas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 µm), após 24 horas de amostragem, é de 240 µg/m³, sendo esse o valor que garante para o meio ambiente e a saúde da população ausência de riscos e danos. Contudo, como a concentração de material particulado encontrado nas folhas dos indivíduos estudados é consequência de um período de acumulação maior, na grandeza de anos, e não existem padrões de concentração de material particulado foliar estabelecidos em legislação, os resultados aqui obtidos foram discutidos por meio da comparação dos valores de concentração de MP foliar em cada ponto amostral. Assim, é evidente no ponto amostral A maior influência antrópica, assim como menor influência no ponto D (definido como controle).

Os resultados encontrados para os atributos morfoanatômicos estudados evidenciaram que os indivíduos de *A. glandulosa* localizados no ponto amostral A (imediate às indústrias) apresentam menor desenvolvimento foliar, com destaque às massas fresca e seca, ao conteúdo de água e à área foliar. A biometria anatômica mostrou maior desenvolvimento de tecidos fotossintetizantes nas folhas dos indivíduos localizados no ponto controle (tabela 2). Em conjunto, tais atributos caracterizam o gradiente hipoteticamente esperado, estabelecendo uma relação inversamente proporcional entre concentração de MP e desenvolvimento foliar.

Tabela 2 – Valores médios e respectivos desvios padrão dos atributos morfoanatômicos das populações de *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae) nos quatro pontos amostrais do município de Joinville (SC, Brasil) para a avaliação da qualidade do ar atmosférico por meio do biomonitoramento passivo. Letras distintas nas linhas indicam diferença estatística significativa, com $p < 0,05$.

Atributos	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D
Massa fresca (g)	0,82 ± 0,23 ^d	0,95 ± 0,22 ^c	1,40 ± 0,35 ^b	1,59 ± 0,23 ^a
Massa seca (g)	0,38 ± 0,11 ^c	0,43 ± 0,11 ^b	0,52 ± 0,13 ^a	0,49 ± 0,12 ^a
Conteúdo de água (g)	0,44 ± 0,16 ^d	0,52 ± 0,16 ^c	0,88 ± 0,26 ^b	1,10 ± 0,22 ^a
Área foliar (cm ²)	56,00 ± 12,98 ^b	54,76 ± 14,16 ^b	64,69 ± 13,83 ^a	61,68 ± 12,30 ^a
Área específica foliar (cm ² /g)	154,42 ± 45,92 ^a	129,58 ± 30,68 ^b	131,43 ± 49,53 ^b	126,98 ± 19,47 ^b
Epiderme adaxial (µm)	7,31 ± 1,98 ^b	6,40 ± 1,60 ^c	7,59 ± 2,33 ^b	8,48 ± 2,35 ^a
Epiderme abaxial (µm)	5,89 ± 1,82 ^b	5,26 ± 1,29 ^c	6,33 ± 1,42 ^b	7,34 ± 1,80 ^a
Parênquima paliçádico (µm)	40,64 ± 14,28 ^b	42,42 ± 9,15 ^b	43,93 ± 10,33 ^b	50,94 ± 9,78 ^a
Parênquima lacunoso (µm)	35,97 ± 9,41 ^c	34,66 ± 7,00 ^c	40,26 ± 9,79 ^b	45,84 ± 10,43 ^a
Espessura do limbo (µm)	89,83 ± 24,01 ^c	88,75 ± 14,59 ^c	98,13 ± 20,91 ^b	112,62 ± 20,68 ^a

A camada de MP forma uma barreira mecânica que reduz a difusão de gás carbônico e bloqueia a incidência luminosa sobre os órgãos fotossintetizantes do vegetal. A limitação do gás carbônico, essencial na produção de carboidratos, compromete o crescimento da planta (TAIZ & ZEIGER, 2002). Em adição, a fundamental ação da luz para a ocorrência das trocas gasosas por meio do estímulo à abertura estomática e à excitação eletrônica nos fotossistemas, iniciando a fotossíntese (LARCHER, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2002), pode ser comprometida pelo MP. A carência na produção fotossintética, pelo bloqueio dos estômatos e pela redução da captação da radiação luminosa, reflete a baixa capacidade de alocação de recursos pelo vegetal e reduz o seu crescimento. Tal redução foi aqui evidenciada nos indivíduos de *A. glandulosa* pela maioria dos atributos foliares considerados. Assim, folhas com área reduzida, menor biomassa acumulada e menor retenção de água foram verificadas na área poluída em comparação à área controle. A redução na produtividade da parte aérea da planta, expressa pela diferença nos valores da área específica foliar (AEF) entre as populações da área poluída e controle, deve ser compensada em certa medida por alguma outra estratégia funcional nas plantas que habitam a área poluída. Trabalhos feitos com *Tibouchina granulosa* (Melastomataceae) e *Inga edulis* (Fabaceae) expostas à poluição atmosférica (MELO JÚNIOR *et al.*, 2014; CAVALLARO *et al.*, 2018) demonstraram que nessas espécies a AEF é consideravelmente menor nas populações

encontradas nas áreas poluídas, aumentando em direção às áreas controle. Isso equivale a dizer que funcionalmente há maior investimento na manutenção do órgão foliar nas áreas poluídas e maior produção fotossintética nas áreas controle.

Os atributos funcionais analisados neste estudo revelam que a poluição atmosférica inibe o desenvolvimento do vegetal (tabela 2), o que pode resultar numa série de deficiências na produção de metabólitos e nas funções essenciais do órgão foliar (PEDROSO, 2007; POURKHABBAZ *et al.*, 2010). Ao relacionar a diferença da massa fresca pela massa seca, observa-se que o conteúdo de água é aproximadamente três vezes menor nas folhas do ponto A em comparação ao ponto D (controle), possivelmente em função da redução dos tecidos parenquimáticos assimiladores no mesofilo foliar, como o registrado nas plantas *A. glandulosa* da área poluída (VENDRAMINI *et al.*, 2002). A baixa retenção de água no mesofilo foliar pode ser equacionada, em ambientes não poluídos, pela absorção da água contida na neblina. No entanto esse mecanismo pode ser impedido, ao passo que nos ambientes poluídos as partículas suspensas no ar se concentram e se ligam às gotículas de água da neblina, tornando-as mais pesadas e ampliando a quantidade de material particulado a ser depositado sobre as plantas (MROSE, 1966). Mesmo sendo elevada a umidade relativa do ar no município de Joinville (ca. 83,7%) (KNIE, 2002), criando as condições necessárias para a formação de neblinas úmidas que produzem o fenômeno descrito por Mrose (1966), a maior concentração de MP na área poluída pode bloquear a absorção de água através das folhas pela captura de neblina, como o observado em *Drymis brasiliensis* (Winteraceae) (ELLER *et al.*, 2013), causando, por conseguinte, deficiência hídrica nas folhas das plantas, tal qual registrado em *A. glandulosa*.

Os resultados referentes à espessura dos parênquimas lacunoso e paliçádico em *A. glandulosa* indicam injúria provocada nos pontos de maior concentração de material particulado, com sensível diminuição dos tecidos fotossintetizantes por redução do tamanho celular no ponto A, corroborando o registrado em outros estudos (PEDROSO, 2007; POURKHABBAZ *et al.*, 2010). Pesquisas com *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae) revelaram que as variações estruturais observadas nas plantas localizadas em áreas poluídas decorreram das injúrias provocadas pela presença de gases poluentes na atmosfera, destacando-se, além da diminuição da espessura do limbo e do mesofilo, menor conteúdo de água, maior investimento em tecidos mecânicos pela degeneração do tecido fotossintético e fotoinibição deste (MELO JÚNIOR *et al.*, 2014).

Os resultados da presente pesquisa apontam a influência direta da poluição atmosférica quando se trata do desenvolvimento estrutural foliar dos indivíduos de *A. glandulosa*, a qual se mostrou uma boa espécie biomonitora da qualidade ambiental à medida que as injúrias detectadas nos atributos morfoanatômicos estudados estão relacionadas de maneira diretamente proporcional à maior concentração de MP no ambiente. O gradiente de disseminação dos poluentes emitidos pelas indústrias locais, representado pelo desenho amostral criado neste estudo com base em informações de predominância de ventos no leste-oeste (SILVEIRA *et al.*, 2012), reforça que o comprometimento da qualidade ambiental pela emissão local de poluentes atmosféricos pode ter efeitos regionais, ao passo que os sistemas naturais se interligam por meio de condicionantes abióticos, tal como o ar atmosférico. No âmbito das tecnologias de avaliação da qualidade ambiental, reforça-se a ideia do biomonitoramento como método eficaz de identificação da poluição atmosférica, além de permitir uma maior elucidação acerca dos efeitos da poluição ambiental. Em adição, afirma-se que o biomonitoramento com o emprego de espécies nativas pode ser uma ação de baixo custo a ser aplicada por meio de políticas públicas voltadas ao controle da emissão de poluentes na atmosfera, além de sensibilizar a população sobre os riscos da poluição em relação à saúde humana (SALDIVA, 1997).

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a concessão de bolsa de Iniciação Tecnológica (Pibit) à primeira autora. Ao Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP) da Univille a concessão de bolsa de Iniciação Científica ao segundo autor e o suporte financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alves, V. Análise dos efeitos poluentes de fábrica de cimento em plantas bioindicadoras: *Nicotiana tabacum* L. (solanaceae) & *Zinnia elegans* Cav. (Asteraceae). [Dissertação de Mestrado]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2001.
- Arbex, M. A., U. P. Santos, L. C. Martins, P. H. N. Saldiva, L. A. A. Pereira & A. L. F. Braga. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2012; 38(5): 643-655.
- Arrivabene, H. P., I. da C. Souza, W. L. O. Cói, M. M. Conti, D. A. Wunderlin & C. R. D. Milanez. Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil. *Chemosphere*. 2015; 127: 27-34.
- Borcard, D., F. Gillet & P. Legendre. *Numerical ecology with R*. New York: Springer; 2011. 306 p.
- Burger, J. Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970-2005. *Environmental Bioindicators*. 2006; 1(2): 136-144.
- Cairns Jr., J. & J. R. Pratt. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In: Rosenberg, D. M. & V. H. Resh (Eds.). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall; 1993. p. 10-27.
- Cardoso, K. M., A. Paula, J. S. Santos & M. L. P. Santos. Uso de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de poluição ambiental. *Ciência Florestal*. 2017; 27(2): 535-547.
- Carreras, H. A. & M. L. Pignata. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*. *Environmental Pollution*. 2001; 111(1): 45-52.
- Cavallaro, R., J. C. F. de Melo Júnior, M. Bonatti-Chaves & G. D. R. Renner. Avaliação do efeito da poluição atmosférica em populações urbanas de *Inga edulis* Mart. (Fabaceae) por meio do método de biomonitoramento passivo. *Cadernos de Publicações UNIVAG*. 2018; 8(1): 85-108.
- Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo – poluentes. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente; 2001. 150 p.
- Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n.º 491, de 19 de novembro de 2018. [Acesso em: 26 jun. 2019]. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>.
- Eller, C. B., A. L. Lima, R. S. Oliveira. Foliar uptake of fog water and transport belowground alleviates drought effects in the cloud forest tree species, *Drymis brasiliensis* (Winteraceae). *New Phytologist*. 2013; 199(1): 151-162.
- Fleck, A. da S., M. B. Moresco & C. R. Rhoden. Assessing the genotoxicity of traffic-related air pollutants by means of plant biomonitoring in cities of Brazilian metropolitan area crossed by a major highway. *Atmospheric Pollution Research*. 2016; 3(7): 488-493.
- Gerosa, G., R. Marzuoli, F. Bussotti, M. Pancrazi & A. Ballarin-Denti. Ozone sensitivity of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* young trees in relation to leaf structure and foliar ozone uptake. *Environmental Pollution*. 2003; 125: 91-98.
- Hall, J. & R. Kerr. Innovation dynamics and environmental technologies: the emergence of fuel cell technology. *Journal of Cleaner Production*. 2003; 11(4): 459-471.
- Inoue, M. T. & C. B. Reissmann. Efeitos da poluição na fotossíntese, dimensões da folha, deposição de particulados e conteúdo de ferro e cobre em alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) da arborização de Curitiba, PR. *Revista Floresta*. 1991; 21(12): 3-11.
- IPPUJ – Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. Joinville: cidade em dados. Joinville, 2014. [Acesso em: 12 fev. 2019]. Disponível em: <http://www.ippuj.sc.gov.br/index>.
- Iqbal, Z., M. Lateef, A. Jabbar & A. H. Gilani. *In vivo* anthelmintic activity of *Azadirachta indica* A. Juss seeds against gastrointestinal nematodes of sheep. *Veterinary Parasitology*. 2010; 168: 342-345.

- Jabbour, C. J. C. Tecnologias ambientais: em busca de um significado. *Revista de Administração Pública*. 2010; 44(3): 591-610.
- Klumpp, A., G. Klumpp & M. Domingos. Bio-indication of air pollution in the tropics: the active monitoring programme near Cubatão (Brazil). *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*. 1996; 56(1): 27-31.
- Klumpp, A., T. Hinteman, L. J. Santana & E. Kandeler. Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties. *Environmental Pollution*. 2003; 126(3): 313-321.
- Knie, J. L. W. (Org.). Atlas ambiental da região de Joinville: complexo hídrico da Baía da Babitonga. Florianópolis: Fatma/GTZ; 2002. 187 p.
- Kraus, J. E. & M. Arduin. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Seropédica: Edur; 1997. 198 p.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima; 2006. 532 p.
- Lima, J. S. Processos biológicos e o biomonitoramento: aspectos bioquímicos e morfológicos. In: Maia, N. B., H. L. Martos & W. Barrella. *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: Educ; 2001. p. 95-115.
- Lorenzi, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Instituto Plantarum; 1992.
- Lorenzi, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum; 2009.
- Machado, A. C. F. E. Avaliação da viabilidade de utilização de *Tradescantia pallida* cv. *purpurea* no biomonitoramento de fontes estacionárias de contaminação atmosférica [Tese de Doutorado]. São Paulo: Instituto de Botânica do Estado de São Paulo; 2008.
- Magalhães, L. E. *A questão ambiental*. São Paulo: Terragraph; 1994. 345 p.
- Manning, W. & W. Feder. *Biomonitoring air pollutants with plants*. Londres: Applied Science Publishers Ltd.; 1980. 320 p.
- Melo Júnior, J. C. F. de, C. M. Raimundo & M. W. Amorim. Efeito da poluição atmosférica em folhas de *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae). *Acta Biológica Catarinense*. 2014; 1(1): 65-72.
- Melo Júnior, J. C. F. de & M. R. T. Boeger. Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaraí, estado de Santa Catarina, Brasil. *Hoehnea*. 2015; 42: 207-232.
- Melo Júnior, J. C. F. de, M. W. Amorim, I. A. Arriola, K. K. Canuto & L. G. S. Pereira. Flora vascular, estrutura comunitária e conservação de fragmentos da floresta atlântica na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, Joinville, SC, Brasil. *Acta Biológica Catarinense*. 2017; 4(3): 41-72.
- Meziani, D. & B. Shipley. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability. *Plant, Cell and Environment*. 1999; 22(5): 447-459.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Padrões de qualidade do ar. [Acesso em: 5 jun. 2017]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-de-qualidade-do-ar>.
- Moraes, R. M., C. M. Furlan, P. Bulbovas, M. Domingos, S. T. Meirelles, A. Salatino & M. J. Sanz. Photosynthetic responses of tropical trees to short-term exposure to ozone. *Photosynthetica*. 2004; 42: 291-293.
- Moura, B. B., S. R. Souza & E. S. Alves. Structural responses of *Ipomoea nil* (L.) Roth “Scarlet O’Hara” (Convolvulaceae) exposed to ozone. *Acta Botanica Brasilica*. 2011; 25(1): 122-129.
- Mrose, H. Measurements of pH, and chemical analyses of rain-, snow-, and fog-water. *Tellus*. 1966; 18(2-3): 266-270. doi: 10.3402/tellus.v18i2-3.9626.
- Oliveira, W. L., M. B. Medeiros, P. Moser, R. Pinheiro & L. B. Olsen. Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes graus de perturbação antrópica. *Acta Botanica Brasilica*. 2011; 25(4): 876-884.

- Pavani, J. B. Biomonitoramento do ar com *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt no município de Morro da Fumaça, SC. [Monografia de Graduação]. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense; 2016.
- Pedroso, A. N. V. Poluentes atmosféricos e plantas bioindicadoras. São Paulo: Instituto de Botânica / Jardim Botânico de São Paulo; 2007. 120 p.
- Pignata, M. L., G. L. Gudiño, E. D. Wannaz, R. R. Plá, C. M. González, H. A. Carreras & L. Orellana. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. *Environmental Pollution*. 2002; 120: 59-68.
- Pourkhabbaz A., N. Rastin, A. Olbrich, R. Langenfeld-Heyser, A. Polle. Influence of environmental pollution on Leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010; 85(3): 251-255.
- Reis, A. F. R. 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 [Dissertação de Mestrado]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2014.
- Roszbach, M., R. Jayasekera, G. Kniewald & N. H. Thang. Large scale air monitoring, lichen vs. air particulate matter analysis. *The Science of the Total Environment*. 1999; 232(1-2): 59-66.
- Saldiva, P. H. N. Efeitos da poluição atmosférica na saúde: debatendo a poluição do ar. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente / Coordenadoria de Educação Ambiental; 1997. p. 24.
- Sant'anna-Santos, B. F. & A. A. Azevedo. Toxicidade e acúmulo de flúor em hortaliças nas adjacências de uma fábrica de alumínio. *Acta Botanica Brasilica*. 2010; 24: 952-963.
- Santos, R. F. & M. B. R. Caruzo. Sinopse da tribo Alchorneae (Euphorbiaceae) no estado de São Paulo, Brasil. *Hoehnea*. 2015; 42(1): 165-170.
- Silva, J. S. Efeitos genotóxicos em tétrades de *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var. *purpurea* induzidos por poluentes atmosféricos na cidade de Salvador, BA. [Monografia de Graduação]. Feira de Santana: Universidade Federal de Feira de Santana; 2005.
- Silveira, B. S., M. P. A. Alves & P. Murara. Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina. *Anais. X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*. Manaus; 2012. p. 380-392.
- Soda, C., F. Bussotti, P. Grossoni, J. Barnes, B. Mori & C. Tani. Impacts of urban levels of ozone on *Pinus halepensis* foliage. *Environmental and Experimental Botany*. 2000; 44(1): 69-82.
- Souza, V. C. & H. Lorenzi. *Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II*. Nova Odessa: Instituto Plantarum; 2005. 640 p.
- Souza, V. C. & H. Lorenzi. *Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III*. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum; 2012. 768 p.
- Taiz, L. & E. Zeiger. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed; 2002. 250 p.
- Teixeira, M. C. V. & A. Barbério. Biomonitoramento do ar com *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var. *purpurea* Boom (Commelinaceae). *Ambiente e Água*. 2012; 7(3): 279-292.
- Torres de Almeida, I. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto, SP [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Curso de Engenharia de Minas / Universidade de São Paulo; 1999.
- Vendramini, F., S. Díaz, D. G. Gurvich, P. J. Peter, K. Thompson & J. G. Hodgson. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species. *New Phytologist*. 2002; 154: 147-157.
- Witkowski, E. & B. Lamont. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*. 1991; 1(88): 486-493.