



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Árvores urbanas na sinalização de alterações na qualidade do ar

Isabele Leticia Martins^{1A}, Ana Paula Testa Pezzin^{2B}, Sandra Helena Westrupp Medeiros^{1C}, João Carlos Ferreira de Melo-Júnior^{3D}, Mariane Bonatti Chaves^{1,4E}

¹Departamento de Engenharia Química, Universidade da Região de Joinville (Univille). ² Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville (Univille). ³ Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente, Universidade da Região de Joinville (Univille). ⁴ Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos, Universidade da Região de Joinville (Univille). ^Aisabele.martins15@hotmail.com, ^Bana.pezzin@univille.br, ^Csandra.helena@univille.br, ^Djoao.melo@univille.br, ^Emariane.bonatti@univille.br.

Artigo recebido em 26/06/2024 e aceito em 25/02/2025

RESUMO

A problemática da poluição atmosférica é relevante e de grande interesse tanto para a comunidade científica como para a sociedade em geral. Neste contexto, as plantas, e em especial aquelas encontradas em áreas urbanas, são consideradas organismos tanto capazes de minimizar a concentração de poluentes atmosféricos, como o material particulado, por meio da deposição deste em suas estruturas, como indicadores da qualidade do ar. O presente trabalho teve como objetivo quantificar o material particulado foliar em árvores urbanas e analisar a concentração de íons solúveis a fim de identificar possíveis fontes de emissão. Foram selecionadas árvores de 4 regiões da cidade de Jaraguá do Sul, e quantificou-se o material particulado foliar de dois tamanhos: partículas iguais ou maiores que 11 µm (PM_{>11}) e entre 11 e 0,45 µm (PM_{11-0,45}). Para a quantificação dos íons solúveis foram utilizadas as técnicas de cromatografia de íons, colorimetria e espectrometria de emissão atômica (ICP-MS). Como resultado observou-se maior concentração de material particulado foliar sobre a espécie *E. uniflora* localizada em zona residencial (0,0670 mg/cm²). A espécie que apresentou a menor concentração de material particulado foliar foi *P. guajava*, localizada em zona mista diversificada (0,0097 mg/cm²), sendo esta concentração 7 vezes menor que a maior concentração observada neste trabalho. A análise de íons evidenciou maior concentração de sulfato, sendo normalmente sua presença associada à atividade antrópica, principalmente à queima de combustíveis fósseis contendo enxofre em sua composição, como o óleo diesel.

Palavras-chave: biomonitoramento; vegetação urbana; qualidade ambiental; poluição atmosférica; íons solúveis.

Urban trees in signaling changes in air quality

ABSTRACT

The problem of atmospheric pollution is of significant interest to the scientific community and the general public. In this context, plants, especially those found in urban areas, are considered to be capable of mitigating the concentration of atmospheric pollutants such as particulate matter through deposition into their structures and as indicators of air quality. The objective of this study was to quantify leaf particulate matter in urban trees and analyze the concentration of soluble ions in them in order to identify possible emission sources. Trees were selected from four regions of the city of Jaraguá do Sul, and leaf particulate matter of two sizes was quantified: particles equal to or greater than 11 µm (PM₁₁) and between 11 and 0.45 µm (PM_{0.45}). Ion chromatography, colorimetry, and atomic emission spectrometry were employed to quantify the soluble ions. The highest concentration of leaf particulate matter was observed on the *E. uniflora* species located in a residential area (0.0670 mg/cm²). The species with the lowest concentration of leaf particulate matter was *P. guajava*, located in a mixed zone (0.0097 mg/cm²), which was seven times lower than the highest concentration observed in this study. Ion analysis revealed a higher concentration of sulfate, which is typically associated with anthropogenic activity, particularly the burning of fossil fuels containing sulfur in their composition, such as diesel oil.

Keywords: biomonitoring; urban vegetation; environmental quality; atmospheric pollution; soluble ions.

Introdução

A poluição atmosférica é uma questão grave de saúde pública e milhares são as mortes estimadas anualmente devido a exposição humana à níveis insalubres de poluentes atmosféricos (WHO 2021). Como fontes emissoras de poluentes atmosféricos pode-se citar tanto aquelas de origem natural, como erupções vulcânicas, bem como aquelas de origem antrópica, ou seja, como consequência da atividade humana, emitindo poluentes em altas concentrações, o que levanta preocupações sobre seus potenciais impactos à saúde planetária (INCA, 2021; Timmermann et al., 2022). Fontes de emissão de origem antropogênica são heterogêneas e incluem fontes móveis (veículos), fontes estacionárias (usinas e fábricas) e fontes internas (materiais de construção) (Schlesinger, 1992). Podem ser representadas pela combustão de combustíveis, pelas atividades industriais e agrícolas, bem como erosão do pavimento pelo tráfego rodoviário e abrasão de freios e pneus, dentre outras (Kim et al., 2015).

As principais fontes de poluição atmosférica incluem as emissões de veículos, atividades industriais, queima de combustíveis fósseis e fontes naturais, que contribuem com a produção de diversos poluentes. Emissões de veículos, como os gases de escape, promovem a liberação de COVs e aerossóis secundários, especialmente nas áreas urbanas. As emissões relacionadas ao tráfego atingem seu pico durante os horários de maior movimento, como observado por Fan et al. (2021) e Zhang et al. (2020). Além disso, os gases de escape dos veículos também são uma importante fonte de poluição atmosférica por chumbo (Pb), particularmente em megacidades (Tao et al., 2021).

As atividades industriais representam importantes fontes de poluentes, contribuindo para a liberação de COVs, aerossóis secundários e POPs. Os processos industriais, como as indústrias petroquímicas e o uso de solventes, são notáveis fontes desses poluentes (Fan et al., 2021; Zhang et al., 2020; Halvorsen et al., 2021). A queima de combustíveis também é uma fonte importante de poluição atmosférica. As emissões residenciais de aquecimento e cozimento são responsáveis pela liberação de PM_{2.5}. Essas emissões contribuem predominantemente para o carbono negro (BC) e o aerossol orgânico primário (POA) (Yang et al., 2019). Tanto em áreas urbanas quanto em rurais, a queima de combustíveis sólidos é fonte de

aerossóis secundários e partículas finas (Zhang et al., 2020; Li et al., 2021).

Já as fontes naturais, como as emissões biogênicas, também contribuem para a poluição atmosférica, gerando COVs, especialmente durante o meio-dia, quando a atividade biológica é mais intensa (Fan et al., 2021). Além disso, fontes naturais como erupções vulcânicas, incêndios florestais e tempestades de poeira também impactam a poluição atmosférica, embora com efeitos sazonais e geograficamente variáveis (Dziubak, 2021).

Os poluentes atmosféricos compreendem compostos como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), chumbo, arsênio, mercúrio, dióxido de enxofre (SO₂), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) e material particulado (MP) (CETESB, 2022). O material particulado aerotransportado consiste em partículas sólidas ou líquidas suspensas no ar que variam constantemente de tamanho e composição química no espaço e no tempo (Kim et al., 2015). Este pode ser caracterizado de várias maneiras, mas a frequentemente utilizada é a por meio de seu diâmetro aerodinâmico, por conta de se conseguir desta forma determinar seu comportamento e toxicidade no corpo humano e em outras espécies biológicas. Dessa forma, o material particulado pode ser categorizado em partículas grossas (MP₁₀), isto é, partículas com diâmetro entre 2,5 e 10 µm, partículas finas (MP_{2.5}), isto é, partículas com diâmetro entre 0,1 e 2,5 µm e partículas ultrafinas (MP_{0.1}), isto é, partículas com diâmetro menor que 0,1 µm (Santos et al., 2022). Segundo Carmo e Hacon (2013), a legislação para padrões de qualidade do ar foi, originalmente, formulada para quantificar o material particulado com diâmetro igual ou menor a 10 µm. Atualmente, a principal fonte de MP_{2.5} no globo é a queima de combustíveis fósseis por atividades industriais, tráfego de veículos e processos de geração de energia, sendo tais partículas inaláveis e capazes de atingir os alvéolos pulmonares, enquanto as partículas MP₁₀, restringem-se às vias aéreas superiores (CETESB, 2022). Existem relações positivas entre a exposição ao poluente PM_{2.5} e diversos desfechos de saúde, incluindo morte por todas as causas, morte por doenças circulatórias e respiratórias, câncer de pulmão e internações por doenças circulatórias e respiratórias. A cada aumento de 10 µg/m³ na concentração de PM_{2.5}, observa-se aumentos notáveis nesses problemas de saúde. O valor econômico das perdas de saúde

devido à poluição por PM_{2.5} giram na ordem de aproximadamente 28,1 bilhões de dólares na China, destacando o impacto econômico severo da poluição do ar na saúde pública. (Xie et al., 2019).

O material particulado pode ser composto de poeiras, fumaças, fuligem e névoas que, por conta de seu tamanho, ficam suspensas no ar, essas partículas possuem espessuras menores do que um fio de cabelo e quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito sobre a saúde pois quanto mais fina, maior sua capacidade de penetração no aparelho respiratório, podendo até mesmo atingir a corrente sanguínea e, consequentemente, diferentes órgãos do organismo (Nowak, 2018; Santos et al., 2022).

Em vista dos efeitos levantados e estudados sobre poluição atmosférica, reduzir este tipo de poluição deveria ser prioridade para governos e empresas em todo mundo. Decorrem-se muitas formas de redução dessas emissões, como tecnologias renováveis, redução do uso de meios de transportes movidos a combustível fóssil e tecnologias industriais mais limpas (WHO, 2021). Atualmente, estudos relacionados à arborização urbana apontam as árvores como componentes auxiliares para a redução de partículas atmosféricas no ar (fitorremediação). O material particulado, acumulando em estruturas aéreas das plantas, diminuem a concentração destes poluentes no ar, próximo ao solo e, portanto, inaláveis pelas pessoas, principalmente aquelas residentes em áreas urbanas. Esta técnica auxilia em processos de purificação do ar e, como consequência, pode contribuir para o aumento da expectativa de vida da população (Xu et al., 2018; Xu et al., 2019). Por outro lado, a poluição por material particulado atmosférico impacta a biogeoquímica dos metais-traço em sistemas solo-planta. Os PMs contendo metais-traço podem ser depositados no solo e nas plantas, afetando o crescimento das plantas e potencialmente levando à acumulação de metais tóxicos nas colheitas, o que representa riscos para a saúde humana (Luo et al., 2019).

Neste contexto, a fitorremediação oferece muitas vantagens, dentre elas, a possibilidade do tratamento de grandes áreas, a baixo custo, com possibilidade de remediação de tipos de ambientes diversos e ao mesmo tempo, embelezamento dos locais de arborização. Todavia, diversos fatores podem influenciar a deposição de material particulado nas árvores, pois a coleta de partículas pela planta se deve a interação das partículas com todas as superfícies da vegetação, isto é, folhas, troncos, galhos e frutos. Cada superfície contribui para a remoção do material particulado atmosférico e é caracterizada por propriedades morfológicas

específicas, como sua forma, seu tamanho e sua orientação no espaço (Mo et al, 2015; Łukowski et al, 2020).

Os processos responsáveis pela deposição do material particulado são a sedimentação sob gravidade, difusão e transferência turbulenta, que contribuem para seu impacto e interceptação. Diversos estudos têm evidenciado que as plantas são altamente eficazes em acumular material particulado. Estudos mostram remoção anual de PM_{2.5} por árvores variando de 4,7 toneladas para 64,5 toneladas, em Atlanta, Estados Unidos (Nowak et al., 2013; Nowak et al., 2018).

Pesquisas relacionadas a este tema ainda são poucas no Brasil, bem como no Estado de Santa Catarina (Dorigon e Cardoso, 2015; Cardoso et al., 2017; Cavallaro et al., 2019; Santos et al., 2019); apesar do Estado contar com a presença de cidades que se destacam no cenário nacional devido a sua capacidade industrial. A cidade de Jaraguá do Sul, localizada no norte catarinense, abriga empresas de grande porte e várias de pequeno porte e microempresas, abrangendo os setores têxtil, metalmecânico, alimentos, dentre outros (SEBRAE, 2019), sendo 14 de suas indústrias presentes no Inventário de Emissões Industriais de Santa Catarina, e a maioria se enquadrando no ramo metalmecânico. Os principais poluentes nas emissões dessas indústrias são óxidos, metais pesados, compostos orgânicos voláteis e material particulado (MP) (LCQAR/CTC/UFSC, 2022).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a concentração de material particulado foliar em diferentes espécies de árvores presentes em ambientes urbanos da cidade de Jaraguá do Sul, bem como caracterizar o material particulado coletado em termos de íons inorgânicos solúveis a fim de se identificar possíveis fonte de emissão.

Metodologia

Área de estudo

O município de Jaraguá do Sul, situado na latitude 26° 29' 10" sul e na longitude 49° 04' 00" oeste, está localizado na região norte do Estado de Santa Catarina (Figura 1), possui área territorial de 530,9 Km², com área urbanizada de 55,12Km² (IBGE, 2024). Possui cerca de 182,66 mil habitantes, densidade demográfica de 344 habitantes/km² e tem nos setores metalmecânico e têxtil sua maior vocação econômica. A cidade está inserida no bioma da Mata Atlântica, apresentando clima subtropical (Cfa conforme a classificação de Koopen). A temperatura média anual é de 21°C, sendo dezembro e janeiro os meses mais quentes,

com 27°C, e julho o mês mais frio do ano, com 12°C. A precipitação pluviométrica gira em torno de 1.836 mm anuais, sendo janeiro o mês mais chuvoso, com 252 mm (EPAGRI/CIRAM, 2023). Os ventos são predominantemente soprados nas direções ENE (leste-nordeste), (E) leste e ESE (leste-sudeste); com velocidades variando entre 1, 5, 12 e 19 km/h (EPAGRI/CIRAM, 2023).

Caracterização dos pontos amostrais e coleta das amostras

Foram delimitados quatro pontos de amostragem na região urbana do município de Jaraguá do Sul, considerando a classificação do zoneamento urbano da cidade (Jaraguá do Sul, 2022) (Figura 2).

Os pontos amostrais são assim caracterizados: A – zona comercial e de serviços do terceiro setor localizada entre duas vias de elevado tráfego de automóveis e circulação de pessoas; B – zona mista diversificada, caracterizada por elevado tráfego de automóveis em horários de pico, localizada em via que conecta diversos bairros; C – zona com as mesmas características do ponto anterior, mas com maior vocação à áreas residenciais; e D – zona residencial, porém

próxima a grandes indústrias dos ramos têxtil e de plásticos.

Jaraguá do Sul possui 69,2% das suas vias públicas arborizadas (IBGE, 2024). Foram selecionadas como espécies monitoras o oiti (*Moquilea tomentosa* – Chrysobalanaceae) presente no ponto A; o limoeiro (*Citrus reticulata* – Rutaceae) presente no ponto B; a goiabeira (*Psidium guajava* – Myrtaceae) presente no ponto C; e a pitangueira (*Eugenia uniflora* – Myrtaceae) presente no ponto D. As árvores selecionadas representam espécies frutíferas e usualmente utilizadas em planos de arborização de áreas urbanas. Apenas uma, a pitangueira, é tida como espécie nativa da flora brasileira (Mazine et al., 2020).

Todas as coletas foram realizadas na mesma estação do ano e na mesma fenofase das plantas. Um total de 10 folhas foi obtido de cada indivíduo amostral. As folhas foram coletadas de maneira padronizada entre os 2º e 4º nós caulinares de ramos localizados na copa externa das árvores e desprovidas de lesões mecânicas ou herbivoria. Foram excluídas folhas com lesões mecânicas, herbivoria ou fitopatologias. As amostras foram armazenadas em geladeira (4°C) até o momento das análises (Xu et al., 2018).



Figura 1 – Localização espacial do município de Jaraguá do Sul, SC.
Fonte: Silva, 2011.

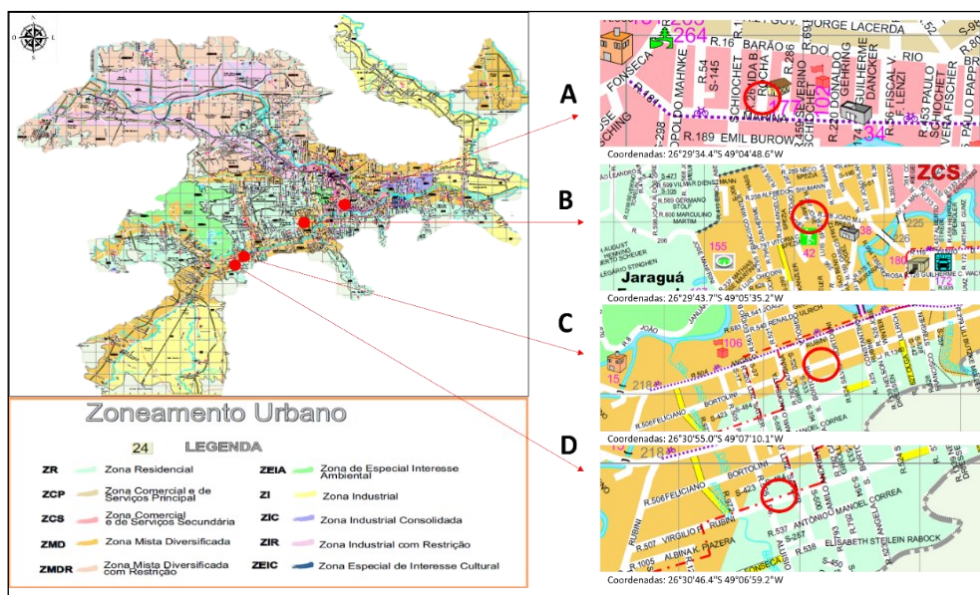


Figura 2 – Mapa com a localização dos pontos amostrais no município de Jaraguá do Sul, SC.

Fonte: Adaptado de Jaraguá do Sul (2022).

Quantificação do material particulado foliar

Para determinação da concentração de material particulado foliar (mg/cm^2), 10 folhas de cada espécie, foram imersas individualmente em 80 mL de água contida em frasco Erlenmeyer de 250 mL, e mantidas sob agitação (80 rpm) por 60 minutos. Em seguida, as folhas foram retiradas e as soluções resultantes filtradas, inicialmente utilizando-se papel filtro 11 μm e, posteriormente, papel filtro 0,45 μm , metodologia adaptada de Freer-Smith *et al.*, 2005 (Figura 3). Em seguida, as soluções foram avolumadas para 100 mL e armazenadas em geladeira até o momento das análises para quantificação de íons solúveis. Os papéis filtro, de tamanhos 11 μm e 0,45 μm , ao final da etapa de filtração foram secos em estufa a 60 °C, esfriados em dessecador e pesados em

balança analítica até obtenção de massa constante. Subtraindo-se deste valor a massa do papel filtro pesado inicialmente, antes do início do processo de filtração, obtém-se a massa de material particulado foliar (mg). Para determinação da área foliar, as folhas foram inicialmente dispostas em papel branco, prensadas em trelíça e secas em estufa de circulação de ar forçado a 60°C por 72 horas (Figura 4). Em seguida, foram digitalizadas em scanner de mesa e mensuradas por meio do software Sigma Scan Pro 5.0 (SPSS, 1998; Curtt, 2019). Dividindo-se o valor de massa (mg) do material particulado foliar pela área foliar (cm^2), determinou-se a concentração do material particulado foliar (mg/cm^2) para cada uma das amostras (Reis, 2014).

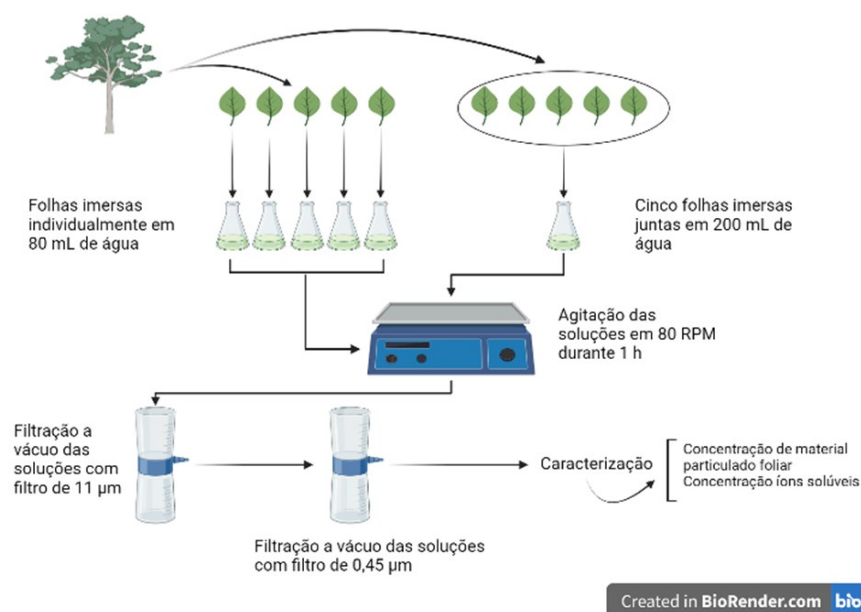


Figura 3 – Metodologia de análise para obtenção das soluções contendo íons solúveis provenientes do material particulado foliar.

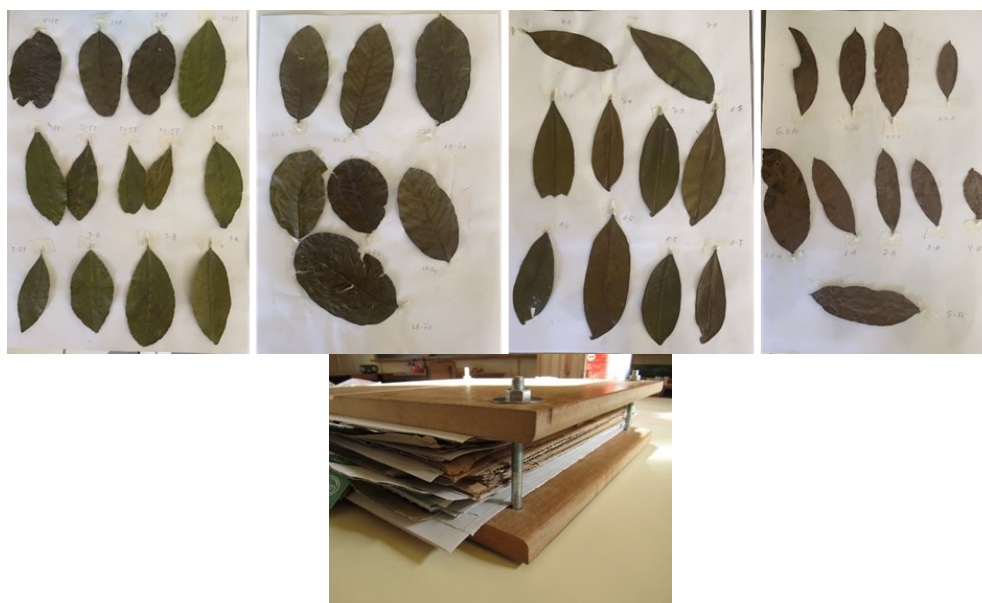


Figura 4 – Folhas dispostas em papel branco, prensadas em treliça e secas em estufa de circulação de ar forçado a 60°C por 72 h.

Quantificação de íons inorgânicos solúveis

Foram quantificados três ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^{3-}) e cinco cátions (NH_4^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+). Para a quantificação dos ânions foi utilizada a técnica de cromatografia de íons (EPA 300.1, 1997); para a quantificação do íon amônio utilizou-se método colorimétrico e os cátions Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ foram quantificados utilizando-se a técnica de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), sendo os resultados expressos em mg/L e µg/L (Tabela 1).

Em seguida, os valores de concentração foram convertidos para mg/cm².

Estudo de dispersão poluentes e possíveis fontes de emissão

Os pontos amostrais foram caracterizados em termos de localização, vias de tráfego de veículos e indústrias no seu entorno, conforme institui o mapa de zoneamento urbano da cidade. Foram estudadas as condições meteorológicas da região, sendo os dados obtidos junto às estações disponíveis (dinâmica dos ventos, dados de

precipitação, umidade, temperatura, direção e velocidade do vento).

Tabela 1 – Métodos analíticos para quantificação dos íons solúveis.

Íon	Unidade	Limite de quantificação (LQ)	Metodologia de referência
Amônia	mg/L	0,07	Colorimetria
Nitrato	mg/L	0,05	EPA 300.1:1997
Sulfato	mg/L	0,005	Idem metodologia descrita para nitrato
Cloreto	mg/L	0,05	Idem metodologia descrita para nitrato
Potássio	µg/L	200	ABNT NBR 10005:2004, ABNT NBR 10006:2004, CONSEMA 026:2013, EPA 200.2:1994, SMWW, 23ª Edição, Método 3120 B, POP 371, POP 372
Magnésio	µg/L	2	Idem metodologia descrita para potássio
Sódio	µg/L	200	Idem metodologia descrita para potássio
Cálcio	µg/L	200	Idem metodologia descrita para potássio

Análises estatísticas

O Teste Q de Dixon, com nível de confiança de 95%, foi utilizado a fim de se avaliar a rejeição de valores desviantes para o cálculo das médias. O Teste Tukey foi utilizado para avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos resultados, com nível de confiança de 95% (Rorabacher, 1991).

Resultados

Concentração de material particulado foliar

A Tabela 2 apresenta os valores de concentração de material particulado foliar, grosso (partículas maiores que 11 µm, MP_{>11}) e fino (partículas com tamanho entre 11 e 0,45 µm, MP_{11-0,45}), depositados sobre as espécies arbóreas estudadas, nos diferentes pontos amostrais. Os

valores de material particulado foliar MP_{>11} variaram de 0,18 a 1,64 mg/cm² e os valores de MP_{11-0,45} variaram de 0,0097 a 0,0670 mg/cm². O ponto amostral que apresentou maior concentração de material particulado foliar MP_{11-0,45} foi o ponto D, localizado em zona residencial, seguido dos pontos B e C, localizados em zonas de classificação mista diversificada; apresentando estes valores diferenças estatisticamente significativas (p-valor < 0,05). Com relação ao MP_{>11}, não se observou diferença estatisticamente significativa entre os valores observados para os pontos D e B, apresentando estes os maiores valores de concentração de material particulado foliar MP_{>11}. O ponto amostral A, localizado em zona comercial, apresentou valores inconclusivos em relação aos valores de concentração de material particulado, para ambos os tamanhos de material particulado foliar estudados (MP_{>11} e MP_{11-0,45}).

Tabela 2 – Concentração de material particulado foliar (mg/cm² ± desvio padrão) - árvores urbanas no município de Jaraguá do Sul, SC.

Ponto amostral - zoneamento	Espécie arbórea	Concentração MP _{>11} (mg/cm ²)	Concentração MP _{11-0,45} (mg/cm ²)
A – zona comercial	<i>M. tomentosa</i> (Oiti)	-	-
B – zona mista diversificada	<i>C. reticulata</i> (Limoeiro)	1,12 ± 0,42 ^a	0,0389 ± 0,0082 ^c
C – zona mista diversificada	<i>P. guajava</i> (Goiabeira)	0,18 ± 0,08 ^b	0,0097 ± 0,0036 ^d
D – zona residencial	<i>E. Uniflora</i> (Pitangueira)	1,64 ± 0,14 ^a	0,0670 ± 0,0067 ^e

Letras diferentes entre os pontos amostrais indicam valores com diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de significância de 5% (p < 0,05).

Concentração de íons solúveis

As Tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, as concentrações de ânions e cátions solúveis, estudados neste trabalho. Dentre os ânions, observa-se maior concentração para o ânion sulfato, em todos os pontos amostrais; com valores percentuais em torno de 90% (Figura 5), nos pontos amostrais B, C e D. No ponto amostral A, localizado em zona comercial, o íon sulfato também se apresenta em maior percentual em relação aos demais ânions, porém em menor percentual (61%) quando comparado aos demais pontos amostrais. Dentre os cátions, observa-se

maior valor de concentração para o cálcio (percentual em relação aos demais variando de 44 a 53%), seguido de sódio (percentuais variando de 24 a 32%) e potássio (12 a 19%), nos pontos amostrais B, C e D (Figura 6). No ponto amostral A, localizado em zona comercial, observa-se maior concentração do cátion sódio (60%), seguido de cálcio (13%) e potássio (12%). Os demais íons apresentaram percentuais inferiores, com valores variando de 3 a 10%.

Tabela 3 – Concentração de ânions solúveis ($\text{mg}/\text{cm}^2 \pm$ desvio padrão) contidos no material particulado foliar coletado de árvores urbanas no município de Jaraguá do Sul, SC.

Ponto Amostrai	Nitrato	Sulfato	Cloreto
A	$0,0128 \pm 0,0031$	$0,0818 \pm 0,0121$	$0,0404 \pm 0,0049$
B	$0,0035 \pm 0,0003$	$0,0720 \pm 0,0094$	$0,0050 \pm 0,001$
C	$0,0013 \pm 0,0002$	$0,0407 \pm 0,0032$	$0,0018 \pm 0,0001$
D	$0,0016 \pm 0,0001$	$0,0528 \pm 0,0059$	$0,0023 \pm 0,0003$

Tabela 4 – Concentração de cátions solúveis ($\text{mg}/\text{cm}^2 \pm$ desvio padrão) contidos no material particulado foliar coletado de árvores urbanas no município de Jaraguá do Sul, SC.

Ponto Amostrai	Amônio	Potássio	Magnésio	Sódio	Cálcio
A	$0,0055 \pm 0,0005$	$0,0110 \pm 0,0016$	$0,0087 \pm 0,0021$	$0,0561 \pm 0,0039$	$0,0123 \pm 0,0028$
B	*	$0,0060 \pm 0,002$	$0,0061 \pm 0,002$	$0,0159 \pm 0,0002$	$0,0224 \pm 0,0017$
C	*	$0,0014 \pm 0,0001$	$0,0009 \pm 0,0002$	$0,0026 \pm 0,0006$	$0,0056 \pm 0,0006$
D	*	$0,0014 \pm 0,0003$	$0,0006 \pm 0,0001$	$0,0018 \pm 0,0004$	$0,0037 \pm 0,0005$

* Análises não realizadas.

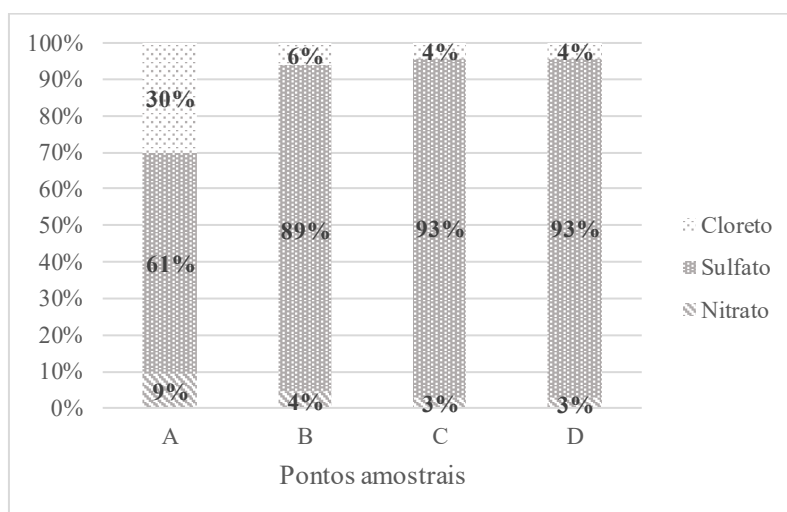
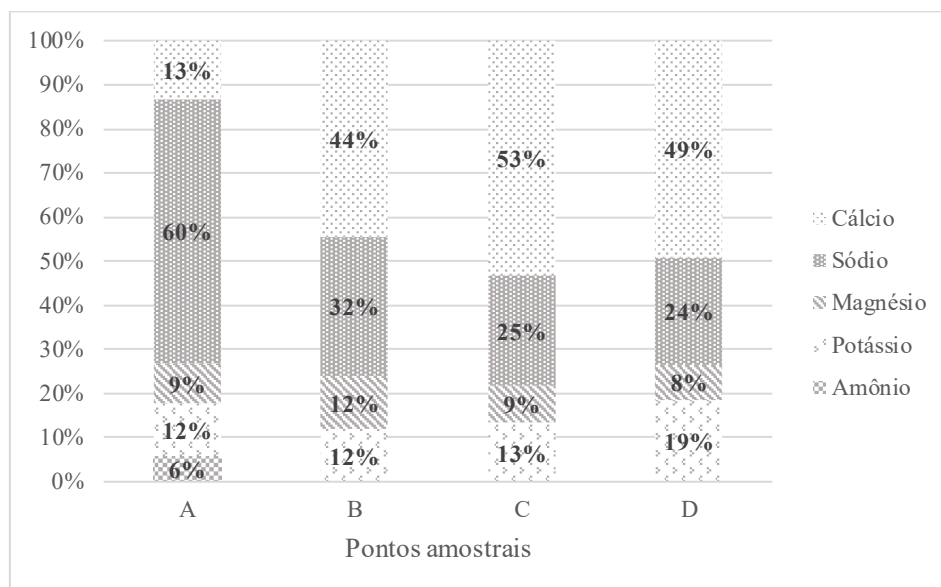


Figura 5 – Distribuição percentual das concentrações de ânions por ponto amostral.**Figura 6** – Distribuição percentual das concentrações de cátions por ponto amostral.

Discussão

Concentração de material particulado foliar

Além do ponto de amostragem deve-se levar em consideração também a espécie que se está utilizando para a coleta do material particulado foliar (Song *et al.*, 2015). Folhas de goiabeira tem como característica superfícies ligeiramente grossas e coriáceas, isto é, aspecto de couro. De acordo com Beckett *et al.* (2000), espécies de folhas largas com superfícies rugosas são mais eficazes na captura de material particulado que folhas com superfícies lisas. A árvore goiabeira diferencia-se das outras espécies por dispor de uma copa mais aberta, possibilitando maior eficácia na lavagem das folhas pela chuva, por exemplo. Dentre as espécies arbóreas analisadas aquela que apresentou menor concentração de material particulado foliar, seja para o $MP_{>11}$ como o $MP_{11-4,5}$, foi a goiabeira (ponto amostral C – zona mista diversificada). A árvore pitangueira, por exemplo, possui copa densa, podendo sofrer menos o efeito de lavagem das folhas devido à períodos de chuva, por exemplo. A cidade de Jaraguá do Sul apresenta precipitação média anual em torno de 1.836 mm.

De acordo com as Tabelas 3 e 4, valores mais elevados foram encontrados para a

concentração de $MP_{>11}$ do que para de $MP_{11-0,45}$, sendo o primeiro responsável por em torno de 95% da massa total de MP. Para o MP penetrar além dos bronquíolos terminais e se depositar na região de troca de gases dos pulmões, é necessário que o diâmetro das partículas seja menor que 10 μm , constituindo a fração respirável.

Deste modo, se partículas com estas características foram encontradas na superfície das folhas, mesmo que em menor concentração, estas inicialmente encontram-se presentes no ar, em altura suficiente para interagir com o ser humano e, possivelmente, contribuir para diminuição da qualidade do ar, assim como, contribuir para maior incidência de doenças de origem respiratória e cardiovasculares e, consequentemente, afetando o bem-estar de toda a população.

Estudo realizado por Santos *et al.* (2019), encontraram valores de concentração de material particulado foliar, sem fazer distinção entre os diâmetros das partículas, variando de 0,0001 a 0,0031 mg/cm^2 . O estudo foi realizado na cidade de Joinville/SC e o material coletado em diferentes regiões da cidade. A espécie utilizada no referido estudo foi a *Alchornea glandulosa*, popularmente conhecida como tamanqueiro, tapiá ou amor seco; é uma espécie de árvore da família das

euforbiáceas, nativa da América do Sul. O ponto controle e aqueles no entorno deste foram os que apresentaram os menores valores de concentração de material particulado foliar. O ponto amostral que apresentou a maior concentração de material particulado foliar foi aquele localizado em zona de classificação urbana/industrial. Cavallaro *et al* (2019), em estudo na cidade de Joinville/SC, utilizando a espécie *Inga edulis*; uma espécie de ingá originária da Amazônia podendo alcançar até 15 m de altura, apresentou concentração de material particulado foliar variando de 0,18 a 0,29 mg/cm².

Outro estudo realizado por Reis (2014), quantificou a concentração de material particulado foliar sobre a espécie *Pachira aquatica*; uma árvore da família Malvaceae ou Bombacaceae, nativa da América Central e do Sul, conhecida vulgarmente como munguba, castanhola e mamorana. Este estudo foi na cidade de Goiânia e o autor encontrou valores de material particulado foliar variando de 0,014 a 0,871 mg/cm², sendo os maiores valores obtidos de pontos amostrais próximos a regiões de intenso tráfego de veículos. Cardoso *et al.* (2017) observaram também maior concentração de material particulado foliar (aproximadamente 2 vezes superior), utilizando as espécies amendoeira, sibipiruna e pata-de-vaca, em regiões de maior tráfego de veículos, comércio e indústrias de pequeno porte que em regiões de menor influência antrópica como o campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), situada em área com trânsito de veículos e atividades antrópicas moderados.

Xu *et al.* (2018) avaliaram a concentração de material particulado foliar grosso, isto é, tamanho superior a 10 µm de diâmetro, analisaram também a concentração de material particulado foliar fino (diâmetro entre 2,5 a 10 µm) e muito fino (diâmetro entre 0,2 a 2,5 µm), em 17 espécies de árvores em diferentes regiões de Pequim, China, e obtiveram valores de concentração de material particulado foliar (soma das três frações) variando de 0,010 a 0,050 mg/cm². Os valores de concentração de material particulado ultrafino e fino foram menores que a de material particulado grosso (em torno de 80% da massa total); sendo os valores médios de concentração de material particulado foliar fino e ultrafino iguais a 0,004 e 0,0025 mg/cm², respectivamente. Freer-Smith *et al.* (2005), realizaram estudo similar na cidade de Londres, Inglaterra, e obtiveram valores médios de material particulado foliar grosso (diâmetro superior a 20 µm), fino (0,45 a 20 µm) e muito fino (0,02 a 0,45 µm) iguais a 0,05 e 0,025 mg/cm² (soma das frações fina e ultrafina), respectivamente.

Concentração de íons solúveis e estudo de possíveis fontes emissoras

A poluição atmosférica é responsável por diversos efeitos prejudiciais aos ecossistemas e à saúde humana. As substâncias usualmente consideradas poluentes atmosféricos são: compostos de enxofre (SO₂, SO₃, H₂S, sulfetos); compostos de nitrogênio (NO, NO₂, NH₃, HNO₃, nitratos); compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos); monóxido de carbono e dióxido de carbono; compostos halogenados (HCl, HF, cloretos, fluoretos); material particulado (mistura de compostos no estado sólido ou líquido).

A presença de SO₂ na atmosfera resulta principalmente da queima de combustíveis que contém enxofre, como o óleo diesel utilizado nos veículos pesados, o carvão utilizado em usinas termelétricas, dentre outras, e o petróleo. O dióxido de enxofre (SO₂) presente na atmosfera reage com outras substâncias presentes no ar e forma o íon sulfato (SO₄²⁻), responsável pela redução da visibilidade na atmosfera e a formação da chuva ácida. Íons como sulfato (SO₄²⁻), nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) são, desta forma, considerados compostos secundários indicadores de poluição. A presença destes compostos no ar representa riscos à saúde respiratória, podendo provocar irritação e aumento da produção de muco, desconforto na respiração, bem como agravamento de problemas cardiovasculares e respiratórios (CETESB, 2022).

O dióxido de enxofre também é capaz de afetar a fisiologia e o crescimento das plantas. A exposição ao SO₂ geralmente resulta em uma diminuição nos conteúdos de clorofila a, clorofila b e carotenóides, o que leva à redução da eficiência fotossintética e à fotoinibição (Duan et al., 2019; Han et al., 2022). Essa redução nos níveis de clorofila está associada a uma diminuição na taxa líquida de fotossíntese (P_n), devido a limitações tanto estomáticas quanto não estomáticas (Duan et al., 2019). Além disso, altas concentrações de SO₂ podem diminuir o comprimento das raízes e caules, a área foliar e o número de folhas, afetando negativamente o crescimento e a morfologia geral das plantas (Gupta et al., 2022). O SO₂ também induz estresse oxidativo, o que leva ao aumento das espécies reativas de oxigênio (ROS) e ao subsequente dano a componentes celulares como lipídios, proteínas e DNA (Li & Yi, 2020; Mulenga et al., 2020). O dano oxidativo causado pela exposição ao SO₂ é evidenciado pelo aumento da vazão de eletrólitos e pela redução da massa foliar por área (LMA) (Duan et al., 2019; Bacon et al., 2021).

O íon nitrato (NO_3^-) tem sua origem a partir do óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2); sendo a principal fonte destes compostos veículos automotores, motores de combustão interna, usinas termelétricas, siderúrgicas e fábricas de pasta de papel, dentre outras. A longa exposição a esses gases pode ser tóxica e causar sérios danos à saúde. Quando presentes na atmosfera, os íons sulfato (SO_4^{2-}) e nitrato (NO_3^-) podem aumentar a acidez da chuva, denominada chuva ácida, causando danos à natureza, como alteração da composição química do solo e das águas, redução do funcionamento de comunidades microbianas, diminuição de atividades enzimáticas, atingir as cadeias alimentares e provocar danos à florestas e lavouras (CETESB, 2022; Santos et al, 2021).

A presença destes íons como espécies químicas constituintes do material particulado foliar foi observada neste trabalho. Segundo diferentes autores, íons sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), cloreto (Cl^-), amônio (NH_4^+) e sódio (Na^+), e algumas vezes fosfato (PO_4^{3-}), são os maiores constituintes do material particulado (Freer-Smith *et al.*, 2005; Mkoma *et al.*, 2014; Morera-Gómez *et al.*, 2020). Nitratos (NO_3^-) e sulfatos (SO_4^{2-}) são normalmente de origem antrópica, enquanto amônio (NH_4^+) e fosfato (PO_4^{3-}) podem ter origem tanto antrópica quanto natural. Os íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) estão associados a presença de sal marinho. E a presença do íon fosfato (PO_4^{3-}) é normalmente indicativa da presença de aerossóis originados da queima de biomassa e combustíveis fósseis. Cálcio (Ca^{2+}) normalmente está associado a presença de partículas muito finas originadas do processo de revolvimento do solo (Freer-Smith *et al.*, 2005; Morera-Gómez *et al.*, 2020). A elevada presença de íons sulfato (SO_4^{2-}) observada neste trabalho, em especial nos pontos amostrais B, C e D, sugerem como uma das principais fontes emissoras a queima de combustíveis fósseis, provavelmente devido ao grande tráfego de veículos e presença de indústrias principalmente dos ramos têxtil e metalmeccânico na região. Observa-se ainda, nestes mesmos pontos amostrais, maior percentual de cálcio, dentre os cátions estudados. Estes três pontos amostrais estão localizados em zonas mistas diversificadas e residencial, com menor cobertura asfáltica e presença de indústrias cimenteiras. Além disso, o ponto B apresenta intensa atividade da construção civil (construção/reforma de casas e edifícios), o que poderia justificar os valores observados. O ponto amostral A, localizado em zona comercial, apresenta perfil de distribuição percentual dos íons estudados um pouco diferente dos demais pontos amostrais. Observa-se maior concentração do

ânion sulfato (SO_4^{2-}) em relação aos demais íons, porém em menor concentração em relação aos demais pontos amostrais. No ponto amostral A observa-se também a presença dos ânions cloreto (Cl^-) e nitrato (NO_3^-) em porcentagens médias 6 e 3 vezes superiores, respectivamente, aos valores observados para os demais pontos amostrais. A presença de nitrato (NO_3^-) está associada a fonte emissora antrópica, sendo este íon um composto secundário indicador de poluição atmosférica; sugere-se a sua presença devido ao intenso tráfego veicular e proximidade com indústrias de grande porte do setor têxtil e metalmeccânico. A presença dos íons sódio (Na^+), cloreto (Cl^-) e nitrato (NO_3^-) pode ser relacionada ao transporte de aerossóis de sais marinhos, potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) podem ser provenientes de massas de ar continental, como também correlacionados com o uso de materiais de construção utilizados em obras, bem como a queima de combustível, juntamente com o magnésio (Mg^{2+}) (Lei e Wuebbles, 2013). Neste trabalho maiores percentais dos íons cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+) foram observadas no ponto amostral A. De acordo com dados meteorológicos da região observa-se massa de ar predominantemente de origem oceânica, bem como ventos, de acordo com o gráfico de Rosa dos Ventos da região, soprando nas direções ENE (leste-nordeste), (E) leste e ESE (leste-sudeste), o que poderia justificar estes valores. Entretanto, da mesma forma, pode-se sinalizar também como possível fonte de emissão de íons cloreto a queima de lixo contendo compostos clorados, como poli(cloreto de vinila) PVC, e biomassa (Reis, 2016).

As condições meteorológicas influenciam decisivamente na qualidade do ar, especialmente em regiões urbanas, uma vez que as condições da atmosfera irão interferir na maneira como os poluentes se dispersam, impactando suas concentrações no ambiente. De acordo com Dorigon e Cardoso (2015) e Maia et al. (2019), os fatores ambientais mais significativos são a direção e a velocidade do vento e o perfil térmico vertical, os quais determinam condições de estabilidade ou instabilidade do ar. No que diz respeito ao papel desempenhado pelo vento na dispersão de poluentes, pode-se dizer que turbulências e altos valores de velocidade favorecem a dissipação dos poluentes. De acordo com dados meteorológicos obtidos de estações na cidade de Jaraguá do Sul, observa-se predominantemente ventos de baixa velocidade, dificultando a dissipação dos poluentes gerados pelas fontes emissoras. Estudos realizados por Spinelli et al. (2017) e Castelhamo e Roseghini (2018), relacionados ao comportamento do vento no sul do Brasil, apontaram ventos nas direções

nordeste (NE) e leste (E) como predominantes na região.

As precipitações acumuladas médias em Jaraguá do Sul no período de amostragem compreenderam valores entre 117 e 149 mm. Elevados volumes de precipitação, assim como suas ocorrências, propiciam a lavagem do material particulado foliar e atmosférico, transportando-o para outros compartimentos ambientais. Contudo, a incidência de chuva não é o único fator a ser considerado no processo de deposição de material particulado foliar. Este processo é complexo e possui fatores não controlados, como a idade da folha, seu tamanho, posição na copa e posição em relação às outras folhas. Assim, determinar, por exemplo, por quanto tempo uma folha mantém o material particulado sobre a sua superfície necessita de estudos elaborados (Reis, 2014).

Conclusão

Observou-se valores de concentração de material particulado foliar maiores que os observados em outros estudos, sugerindo-se um trabalho de monitoramento visto a relação prejudicial da alta concentração de material particulado, em especial aquele classificado como fino, sobre a saúde humana. Observou-se ainda, dentre os íons estudados, maior presença do ânion sulfato (SO_4^{2-}), associado a fontes emissoras antrópicas, como queima de combustíveis fósseis contendo enxofre e atividades industriais; bem como do cátion cálcio (Ca^{2+}), normalmente associada a atividades naturais e/ou antrópicas relacionadas a processos de revolvimento do solo. Cabe destacar a presença dos íons sulfato (SO_4^{2-}) e nitrato (NO_3^-) neste estudo, visto que estes na atmosférica por meio de reações químicas contribuem para a formação da chuva ácida, causadora de diversos problemas ambientais, como a destruição de florestas, edificações diversas, monumentos, além de prejudicar a saúde humana. Não obstante, apesar da vegetação urbana ser considerada uma espécie de ferramenta para a fitorremediação, é importante destacar que a qualidade ambiental, incluído a saúde das próprias plantas, deve ser uma premissa das cidades. Assim, o alcance da saúde, em sua perspectiva mais ampliada, deve ser obtido por meio da qualidade e saúde da vida de todos os componentes vivos e não vivo das cidades.

Referências

- Bacon, K., Haworth, M., McElwain, J. 2022. Effects of sulfur dioxide exposure on leaf mass per area of selected gymnosperms and implications for interpreting the plant fossil record. *International Journal of Plant Sciences*, 182, 564 - 575.
- Beckett, P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G., 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology*, 6, 995-1003.
- Cardoso, K.M., Paula, A., Santos, J.S., Santos, M.L.P., 2017. Uso de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de poluição ambiental. *Ciência Florestal*, 27(2), 535-547.
- Carmo, C.N., Hacon, S.S., 2013. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. *Ciência & Saúde Coletiva*, 18(11), 3245-3258.
- Castelhano, F.J., Roseghini, W.F.F., 2018. Caracterização da dinâmica dos ventos em Curitiba-PR. *Geosp – Espaço e Tempo*, 22(1), 227-240.
- Cavallaro, R., Melo-Júnior, J.C.F., Bonatti-Chaves, M., Renner, G.D.R., 2019. 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*, 08, 204-226.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2021. São Paulo: CETESB. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/10/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2021.pdf>. Acesso: 06 mai. 2024.
- Curt, F.F., 2019. Estimativa de área foliar na cultura da soja usando os métodos de dimensões foliares e imagens digitais. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia. Disponível: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/27521>. Acesso: 07 jun. 2023.
- Dorigon, L.P., Cardoso, R.S., 2015. Análise do fluxo de vento e seu papel na dispersão de poluentes em Presidente Prudente - SP. *Boletim de Geografia*, 33(1), 95 - 108.
- Duan, J., Fu, B., Kang, H., Song, Z., Jia, M., Cao, D., Wei, A. 2019. Response of gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence to acute sulfur dioxide exposure in landscape plants. *Ecotoxicology and environmental safety*, 171, 122-129.
- Dziubak, S. 2021. Contamination of the intake air of internal combustion engines of motor vehicles. *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 70(2), 35-64.

- EPA. US., 1997. Method 300.1: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography. Revision 1.0. Cincinnati, OH.
- EPAGRI/CIRAM – Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/#:~:text=EPAGR I%2FCIRAM%20%E2%80%93%20Centro%20de%20Informa%C3%A7%C3%B5es,de%20Hidrometeorologia%20de%20Santa%20Catarina>. Acesso: 10 jun. 2023.
- Fan, M., Zhang, Y., Lin, Y., Li, L., Xie, F., Hu, J., Mozaffar, A., Cao, F. 2021. Source apportionments of atmospheric volatile organic compounds in Nanjing, China during high ozone pollution season. *Chemosphere*, 263, e128025.
- Freer-Smith, P.H., Beckett, P., Taylor, G., 2005. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* x *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and x *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, 133(1):157-167.
- Gupta, R., Pal, P., Malhotra, C., & Sarsar, V. 2022. Impact of sulphur dioxide (SO₂) stress on growth and physiological responses of *Calendula officinalis* L. *Bionature*, 43-57.
- Halvorsen, H., Bohlin-Nizzetto, P., Eckhardt, S., Gusev, A., Krogseth, I., Moeckel, C., Shatalov, V., Skogeng, L., Breivik, K. 2021. Main sources controlling atmospheric burdens of persistent organic pollutants on a national scale. *Ecotoxicology and environmental safety*, 217, 112172.
- Han, A., Bao, Y., Liu, X., Tong, Z., Qing, S., Bao, Y., Zhang, J. 2022. Plant ontogeny strongly influences so₂ stress resistance in landscape tree species leaf functional traits. *Remote Sens.*, 14, e1857
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados – Jaraguá do Sul. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/jaragu%C3%A0-do-sul/panorama>. Acesso: 06 jun. 2024.
- INCA - Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA, 2021.
- JARAGUÁ DO SUL, 2022. Jaraguá do Sul em dados. Prefeitura de Jaraguá do Sul. Disponível: <https://www.jaraguadosul.sc.gov.br/>. Acesso: 21 jun. 2021.
- Kim, K., Kabir, E., Kabir, S., 2015. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136-143.
- LCQAR/CTC/UFSC, 2022. Avaliação do impacto das emissões veiculares, queimadas, industriais e naturais na qualidade do ar em Santa Catarina - ano base 2021. Florianópolis: LCQAR. Disponível: <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/qualidade-ambiental/menu-qualidade-ar/inventario-de-emissoes-atmosfericas>. Acesso: 06 mai. 2024.
- Lei, H., Wuebbles, D.J., 2013. Chemical competition in nitrate and sulfate formations and its effect on air quality. *Atmospheric Environment*, 80, 472-477.
- Li, M., Hu, M., Walker, J., Gao, P., Fang, X., Xu, N., Qin, Y., Zhou, L., Liu, K., Czimeczik, C., Xu, X. 2021. Source apportionment of carbonaceous aerosols in diverse atmospheric environments of China by dual-carbon isotope method. *The Science of the total environment*, e150654.
- Li, L., Yi, H. 2020. Photosynthetic responses of *Arabidopsis* to SO₂ were related to photosynthetic pigments, photosynthesis gene expression and redox regulation. *Ecotoxicology and environmental safety*, 203, e111019.
- Lukowski, A., Popek, R., Karolewski, P., 2020. Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10296–10307.
- Luo, X., Bing, H., Luo, Z., Wang, Y., Jin, L. 2019. Impacts of atmospheric particulate matter pollution on environmental biogeochemistry of trace metals in soil-plant system: A review. *Environmental pollution*, 255, e113138 .
- Maia, J.L.M., Netto, V.M, Costa, B.L.G., 2019. Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do Rio de Janeiro. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana* [online] 11, e20180145. Disponível: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20180145>. Acesso: 10 abr. 2023.
- Mazine, F.F., Bünger, M., Faria, J.E.Q., Fernandes, T., Giaretta, A., Valdemarin, K.S., Santana, K.C., Souza, M.A.D., Sobral, M., 2020. *Eugenia* in Flora do Brasil 2020 [online]. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB10509>. Acesso: 26 mai. 2024.
- Mkoma, S.L., Rocha, G.O, Domingos, J.S.S., Santos, J. V.S., Cardoso, M.P., Silva, R.L., Andrade, J.B., 2014. 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*, 86(1), 37-55.
- Mo, L., Ma, Z., Xu, Y., Sun, F., Lun, X., Liu, X., 2015. Assessing the capacity of plant species to accumulate particulate matter in Beijing, China. *PLoS ONE*, 10(10), 1-18.
- Morera-Gómez, Y., Alonso-Hernández, C.M., Cartas-Águila, H.A., Santamaría, J.M., Elustondo, D., Lasheras, E., Bagur, M., Widory, D., 2020. Elucidating the sources and dynamics of PM10 aerosols in Cienfuegos (Cuba) using their multi-stable and radioactive isotope and ion compositions. *Atmospheric Research* [online], 243. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105038>. Acesso: 10 mai. 2024.
- Mulenga, C., Clarke, C., Meincken, M. 2020. Physiological and growth responses to pollutant-induced biochemical changes in plants: A Review, 6, 827-848.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R., 2013. Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395-402.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., Pasher, J., 2018. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40-48.
- Reis, A.F., 2014. 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, Faculdade de Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Disponível: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFG_79422b8a11ff000035369e5ac5038cd0f. Acesso: 06 jun. 2024.
- Reis, D.C.O., 2016. Caracterização dos íons majoritários do material particulado da atmosfera de Ribeirão Preto, uma cidade canavieira do estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. Disponível: doi:10.11606/D.59.2016.tde-21102016-102025. Acesso: 06 jun. 2024.
- Rorabacher, D.B., 1991. Statistical treatment for rejection of deviant values: critical values of Dixon's "Q" parameter and related subrange ratios at the 95% confidence level. *Analytical Chemistry*, 63, 139-146.
- Santos, F.D., Fantinel, R.A., Weiler, E.B., Cruz, J.C., 2021. Efeito da deposição ácida em ecossistemas florestais. *Tecnológica*, 25(1), 35-46.
- Santos, G.S., Santos, M.D., Melo-Júnior, J.C.F., Bonatti-Chaves, M., Mouga, D.M.D.S., Gumboski, E.L., 2019. Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica. *Acta Biológica Catarinense*, 6(1), 93-102.
- Santos, J.M., Reis-Júnior, N.C., Galvão, E.S., 2022. Material particulado na atmosfera urbana e suas interações com a saúde humana. Goiânia: Alta Performance, 170 p.
- Schlesinger, R. 1992. Atmospheric Pollution. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 106, 642 - 648.
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, 2019. Caderno de Desenvolvimento de Santa Catarina – Jaraguá do Sul [online]. Disponível em <https://datasebrae.com.br/municipios/sc/m/Jaragua%20do%20Sul%20-%20Cadernos%20de%20Desenvolvimento.pdf>. Acesso: 15 abr. 2022.
- Silva, F., Pinto, A., Dias, A., 2011. Desastres ambientais em Jaraguá do Sul – SC: percepção populacional. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*. 7. Disponível: 10.17271/19800827782011196. Acesso: 15 mai. 2023.
- Song, Y., Maher, B.A., Li, F., Wang, X., Sun, X., Zhang, H., 2015. Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution. *Atmospheric Environment*, 105, 53-60.
- Spinelli, R., Konrad, O., Cambeiro, F., Ahlert, E., Braun, F., de Quadros, E., 2017. Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate. *Revista Brasileira de Climatologia* [online], 21. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.50554>. Acesso: 06 mai 2024.
- SPSS. Sigma Scan Pro 5.0. 1998.
- Tao, Z., Guo, Q., Wei, R., Dong, X., Han, X., Guo, Z. (2021). Atmospheric lead pollution in a typical megacity: Evidence from lead isotopes. *The Science of the total environment*, 778, 145810.
- Timmermann, C., Wabnitz, K., Wild, V., 2022. Responding to the climate crisis – bridging the gap between public health ethics and environmental ethics. *Public Health Forum*, 30(1), 37-40.
- WHO - World Health Organization, 2021. Global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponível:

<https://iris.who.int/handle/10665/345329>.

Acesso: 15 mai. 2023.

- Xie, Z., Li, Y., Qin, Y., Rong, P. 2019. Value Assessment of Health Losses Caused by PM_{2.5} Pollution in Cities of Atmospheric Pollution Transmission Channel in the Beijing–Tianjin–Hebei Region, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (6), e1012.
- Xu, H., Wang, W., Wang, H., Sun, Y., Zhong, Z., Wang, S., 2019. Differences in quantity and composition of leaf particulate matter and morphological structures in three evergreen trees and their association in Harbin, China. *Environmental Pollution*, 252, 1772-1790.
- Xu, Y., Xu, W., Mo, L., Heal, M.R., Xu, X., Yu, X., 2018. Quantifying particulate matter accumulated on leaves by 17 species of urban trees in Beijing, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(13), 12545-12556.
- Yang, J., Kang, S., Ji, Z., Yang, S., Li, C., Tripathee, L. 2019. Vital contribution of residential emissions to atmospheric fine particles (PM_{2.5}) during the severe wintertime pollution episodes in Western China. *Environmental pollution*, 245, 519-530.
- Zhang, X., Zhang, K., Liu, H., Lv, W., Aikawa, M., Liu, B., Wang, J. 2020. Pollution sources of atmospheric fine particles and secondary aerosol characteristics in Beijing. *Journal of environmental sciences*, 95, 91-98.