



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ÍRIS RODRIGUES MALHEIROS

**AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA ARBORIZAÇÃO URBANA
COMO BIOINDICADORAS DE POLUENTES METÁLICOS**

Prof.^a Dr.^a NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ÍRIS RODRIGUES MALHEIROS

**AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA ARBORIZAÇÃO URBANA
COMO BIOINDICADORAS DE POLUENTES METÁLICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof.^a Dr.^a NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



HOMOLOGAÇÃO Nº 10 / 2026 - DeptPF (12.28.01.00.00.00.00.30)

Nº do Protocolo: 23083.030134/2026-25

Seropédica-RJ, 01 de julho de 2026.

**AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA ARBORIZAÇÃO URBANA COMO
BIOINDICADORAS DE POLUENTES METÁLICOS**

ÍRIS RODRIGUES MALHEIROS

APROVADA EM: 22/06/2026

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dr^a. Natália Dias de Souza – UFRRJ (Orientadora)
Prof^a. Dr^a. Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde- UFRRJ (Membro)
MSc. Mariane da Silva Moreira – UFRRJ (Membro)

(Assinado digitalmente em 01/07/2026 15:49)
GLAYCIANNE CHRISTINE VIEIRA DOS SANTOS
ATAÍDE
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptPF (12.28.01.00.00.00.00.30)
Matrícula: 3514321

(Assinado digitalmente em 01/07/2026 11:46)
NATALIA DIAS DE SOUZA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptPF (12.28.01.00.00.00.00.30)
Matrícula: 2572892

(Assinado digitalmente em 01/07/2026 14:28)
MARIANE DA SILVA MOREIRA
DISCENTE
Matrícula: 20261005860

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **10**, ano: **2026**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO**, data de emissão: **01/07/2026** e
o código de verificação: **b5f36a8fe4**

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Eliana e Wilton, pelo apoio, amor, incentivo e por acreditarem em mim durante essa etapa e proporcionar todas as condições necessárias para que eu chegasse até aqui, nada disso seria possível sem vocês.

Às minhas irmãs, Lívia, por estar comigo todos os dias, pelas risadas e momentos de descontração, e trazer mais leveza nos dias estressantes; e Angelina, pelos momentos leves e de alegria. Obrigada por fazerem parte da minha vida!

À minha prima e irmã de coração, Luísa, à minha madrinha, Elisete e ao meu primo Vinícius por todo amor e apoio, sou muito grata por ter vocês ao meu lado.

À minhas amigas, Gabriela Moreira e Ana Caroline Eloy, que apesar da distância, sempre estão presentes e acompanharam minha trajetória desde o início. Obrigada pelo apoio e carinho, meninas.

À minha orientadora, Natália Dias, por toda ajuda, paciência e orientação desde o início deste trabalho. Sua dedicação, disponibilidade e confiança foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa e para minha formação. Eu fico extremamente feliz por ter tido uma orientadora como você.

Às minhas amigas que a universidade me presenteou, Caroline Santos e Juliana Barbosa, que estiveram ao meu lado desde o início da graduação. Obrigada por compartilharem momentos difíceis, de aprendizados, conquistas e claro, momentos de alegria, o que tornou o caminho mais leve e especial. Ao meu amigo, José Patrício, pelas risadas, fofocas e momentos compartilhados durante a graduação.

Ao Rickson Alves, que me acompanhou durante o projeto, mesmo de longe, sempre disposto a me ajudar, orientar e incentivar. Sua contribuição foi muito importante nesse trabalho. E agradeço muito pela confiança e paciência.

Ao pessoal do Laboratório de Química da Madeira (LQM), especialmente Ana Helise, pela amizade, carinho e pelas conversas.

À Vanessa Côrrea, por toda a ajuda e disponibilidade durante a coleta no Rio de Janeiro, contribuindo para a realização desse trabalho.

Ao pessoal do Núcleo de Pesquisas em Qualidade de Árvore e Madeira (NPQAM), pelo carinho e acolhimento. Em especial, à Mariane Moreira, que me abraçou e me recebeu de braços abertos desde o início. Graças ao seu apoio e amizade, nunca me senti sozinha durante a realização deste trabalho. Obrigada pela ajuda, conselhos, risadas e até as fofocas que tornaram os dias mais leves. Seu apoio foi fundamental para que eu desse o meu melhor.

Ao meu orientador, João Vicente Latorraca, do projeto Nossas Árvores, pelos ensinamentos e confiança durante essa experiência, além de ter aberto as portas do laboratório para desenvolver este trabalho. E aos colegas do projeto, pela convivência, colaboração e momentos durante essa trajetória.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal ao longo da graduação.

RESUMO

A arborização urbana desempenha importante papel na melhoria da qualidade ambiental das cidades, contribuindo para a regulação microclimática, redução da poluição atmosférica e promoção do bem-estar da população. Além desses benefícios, as árvores podem atuar como ferramentas de biomonitoramento ambiental, uma vez que são capazes de absorver e acumular contaminantes presentes no ambiente. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar o potencial da madeira de espécies utilizadas na arborização urbana como bioindicadoras de poluentes metálicos. Foram selecionadas as espécies *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) e *Bauhinia forficata* (pata-de-vaca), amplamente empregadas na arborização dos municípios do Rio de Janeiro e Paracambi, estado do Rio de Janeiro. As amostras de madeira foram obtidas por meio de trado de incremento e submetidas à caracterização anatômica macroscópica e microscópica, bem como a análises histoquímicas para a detecção de cádmio (Cd), chumbo (Pb), estrôncio (Sr), níquel (Ni) e zinco (Zn). Os resultados evidenciaram a presença de Pb, Cd, Sr e Ni nas madeiras analisadas, com maior frequência nos indivíduos provenientes do município do Rio de Janeiro, sugerindo maior exposição de fontes antrópicas associadas às atividades urbanas. A distribuição dos elementos ao longo do perfil radial da madeira demonstrou a capacidade desse tecido de registrar a exposição ambiental aos contaminantes ao longo do tempo, especialmente em tecidos como raios e parênquima axial, associados ao armazenamento e transporte de substâncias. Não foram observadas reações positivas para zinco nos indivíduos avaliados. As madeiras de sombreiro e pata-de-vaca apresentaram potencial para utilização em estudos de biomonitoramento ambiental, constituindo uma ferramenta promissora para a avaliação da qualidade ambiental em áreas urbanizadas. Além disso, essas espécies podem ser priorizadas em projetos de arborização urbana, especialmente em locais com maior exposição a fontes de poluição, contribuindo simultaneamente para a melhoria da qualidade ambiental e para o monitoramento de contaminantes metálicos.

Palavras-chave: contaminação ambiental, poluição, metais pesados, histoquímica.

ABSTRACT

Urban afforestation plays an important role in improving the environmental quality of cities, contributing to microclimatic regulation, reducing air pollution, and promoting the well-being of the population. In addition to these benefits, trees can act as tools for environmental biomonitoring, since they are capable of absorbing and accumulating contaminants present in the environment. In this context, the present study aimed to investigate the potential of wood from species used in urban afforestation as bioindicators of metallic pollutants. The species *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) and *Bauhinia forficata* (pata-de-vaca), widely used in the afforestation of the municipalities of Rio de Janeiro and Paracambi, Rio de Janeiro state, were selected. Wood samples were obtained using an increment borer and subjected to macroscopic and microscopic anatomical characterization, as well as histochemical analyses for the detection of cadmium (Cd), lead (Pb), strontium (Sr), nickel (Ni), and zinc (Zn). The results showed the presence of Pb, Cd, Sr, and Ni in the analyzed woods, with higher frequency in individuals from the municipality of Rio de Janeiro, suggesting greater exposure to anthropogenic sources associated with urban activities. The distribution of elements along the radial profile of the wood demonstrated the capacity of this tissue to record environmental exposure to contaminants over time, especially in tissues such as rays and parenchyma, associated with the storage and transport of substances. No positive reactions for zinc were observed in the evaluated individuals. The woods of *C. fairchildiana* and *B. forficata* showed potential for use in environmental biomonitoring studies, constituting a promising tool for assessing environmental quality in urbanized areas. Furthermore, these species can be prioritized in urban afforestation projects, especially in locations with greater exposure to pollution sources, simultaneously contributing to the improvement of environmental quality and the monitoring of metallic contaminants.

Keywords: environmental contamination, pollution, heavy metals, histochemistry.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURA	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Arborização urbana e espécies utilizadas.....	2
2.1.1 <i>Clitoria fairchildiana</i> R.A. Howard.....	3
2.1.2 <i>Bauhinia forficata</i> Link.....	4
2.2 Espécies arbóreas em estudos de biomonitoramento ambiental.....	5
2.3 Metais pesados.....	6
2.3.1 Cádmio	7
2.3.2 Chumbo	7
2.3.3 Estrôncio	7
2.3.4 Níquel.....	8
2.3.5 Zinco	8
2.4 Mobilidade dos metais nas árvores.....	8
2.4.1 Raízes e folhas.....	8
2.4.2 Distribuição dos metais pesados na madeira.....	9
2.4.3 Madeira como bioindicadora de metais pesados.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Local de coleta	10
3.2 Coleta do material.....	12
3.3 Preparo das amostras	13
3.3.1 Caracterização anatômica.....	13
3.3.1.1 Caracterização macroscópica	13
3.3.1.2 Caracterização microscópica.....	14
3.3.2 Teste histoquímico.....	14
3.3.2.1 Detecção de cádmio e chumbo.....	14
3.3.2.2 Detecção de estrôncio.....	15
3.3.2.3 Detecção de níquel	16
3.3.2.4 Detecção de zinco.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Caracterização anatômica	18

4.1.1 Caracterização macroscópica	18
4.1.2 Caracterização microscópica.....	19
4.2 Análise histoquímica.....	20
4.2.1 Sombreiro	20
4.2.2 Pata-de-vaca	25
5. CONCLUSÕES	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação dos metais com a cor do complexo produzido.	14
Tabela 2. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de cádmio e chumbo na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	21
Tabela 3. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de estrôncio na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	23
Tabela 4. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de níquel na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	24
Tabela 5. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de zinco na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	25
Tabela 6. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de cádmio e/ou chumbo na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	26
Tabela 7. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de estrôncio na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	28
Tabela 8. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de níquel na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	29
Tabela 9. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de zinco na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.	29

LISTA DE FIGURA

Figura 1. <i>C. fairchildiana</i> . (a) indivíduo adulto; (b) ramo floral; (c) folha; (d) fruto.	3
Figura 2. <i>B. forficata</i> . (a) indivíduo adulto; (b) flor; (c) folha.	5
Figura 3. Localização dos pontos de coleta na zona norte da cidade do Rio de Janeiro.	11
Figura 4. Localização dos pontos de coleta em Paracambi.	12
Figura 5. Remoção da amostra de madeira utilizando o trado de incremento.	12
Figura 6. (a) amostras acondicionadas em estufa; (b) amostra seccionada; (c) amostra com segmento de 1cm.	13
Figura 7. Micrótomo de deslize MICRON HM 450.	13
Figura 8. (a) microscópio Biofocus; (b) aplicação do reagente na amostra para identificação de cádmio e chumbo.	15
Figura 9. (a) reagente preparado; (b) aplicação do reagente na amostra para identificação de estrôncio.	16
Figura 10. Aplicação do reagente nas amostras para identificação de níquel.	16
Figura 11. Aplicação do reagente nas amostras para identificação de zinco.	17
Figura 12. Seção transversal em 10x da espécie sombreiro.	18
Figura 13. Seção transversal em 10x da espécie pata-de-vaca.	19
Figura 14. Seção transversal em 10x do sombreiro. (a) vasos com tilos (seta). (b) vasos com tilos esclerificados (seta). (c) vasos com conteúdo (seta). R: raios.	19
Figura 15. Seção transversal em 10x da pata-de-vaca. (a) vasos com conteúdo (setas). (b) raios com conteúdo (setas).	20
Figura 16. Reação histoquímica de chumbo e/ou cádmio em madeira de sombreiro. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (b) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 100x.	21
Figura 17. Reação histoquímica de estrôncio em madeira de sombreiro. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (b) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 10x.	22
Figura 18. Reação histoquímica de níquel em madeira de sombreiro. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (c) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 10x.	24
Figura 19. Reação histoquímica de chumbo e/ou cádmio em madeira de pata-de-vaca. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (c) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 100x.	26
Figura 20. Reação histoquímica de estrôncio em madeira de pata-de-vaca. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x.	27
Figura 21. Reação histoquímica níquel em madeira em pata-de-vaca. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (c) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 10x.	28

1. INTRODUÇÃO

A arborização urbana pode ser definida como o conjunto da cobertura vegetal de porte arbóreo presente nas cidades, seja ela de origem natural ou cultivada, distribuída em áreas livres como ruas, avenidas, praças, parques e áreas públicas, com o objetivo de promover benefícios ambientais, sociais e paisagísticos às cidades (Marques Júnior, Silva, 2025). Além de contribuírem para a estética urbana, as árvores desempenham papel fundamental na melhoria da qualidade ambiental, promovendo a redução da temperatura, o sombreamento das vias públicas, a diminuição das poluições sonoras e atmosféricas, a retenção de partículas em suspensão, o aumento da umidade do ar e o favorecimento da biodiversidade urbana, proporcionando melhores condições de bem-estar para a população (Vasconcellos, 2024).

Na arborização urbana, destacam-se espécies que apresentam crescimento rápido, elevada capacidade de adaptação às condições ambientais das cidades e resistência aos impactos causados pela poluição e pela compactação do solo (Novaes, Brun, Brun, 2021; Rabello, 2023). Nesse contexto, espécies pertencentes à família Fabaceae vêm se destacando na arborização urbana devido à sua rusticidade e elevada adaptação às condições ambientais das cidades. Entre elas, *Clitoria fairchildiana* Howard, conhecida popularmente como sombreiro, é amplamente utilizada por apresentar copa ampla e densa, característica que proporciona elevado potencial de sombreamento (Lorenzi, 2008). Além disso, possui rápido crescimento e boa adaptação às condições urbanas. Outra espécie frequentemente utilizada é *Bauhinia forficata* Link, conhecida como pata-de-vaca, valorizada tanto pelo potencial ornamental de suas flores quanto pela adaptação ao ambiente urbano (Lorenzi, 1992).

Embora a arborização urbana proporcione diversos benefícios ambientais e sociais, os centros urbanos permanecem expostos à emissão de poluentes gerados por diferentes atividades antrópicas. Dentre os principais contaminantes presentes nesses ambientes destacam-se os metais pesados (como chumbo (Pb), zinco (Zn), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobre (Cu) e entre outros), liberados por diferentes fontes, como o tráfego de veículos, atividades industriais, queima de combustíveis fósseis, incineração de resíduos sólidos, construção civil e poeira urbana (Braga, 2022). Esses contaminantes permanecem dispersos principalmente no ar e no solo, podendo interagir diretamente com a vegetação urbana.

Os metais presentes no ambiente podem ser incorporados pelas árvores principalmente por meio de duas vias: pela absorção radicular, a partir da solução do solo, e pela absorção foliar, decorrente da deposição atmosférica de partículas contaminantes sobre as folhas (Chaves, 2008). Após serem absorvidos, esses elementos são transportados pelo sistema vascular da planta, especialmente pelo xilema, podendo alcançar diferentes tecidos vegetais, incluindo a madeira (Clemens, 2001). Parte desses metais tende a permanecer acumulada nos tecidos lenhosos por longos períodos, fazendo com que a madeira funcione como um importante registro histórico da exposição ambiental a contaminantes metálicos (Moreira, Salvados, Moraes, 2018; Neto, 2022).

Sendo assim, a análise da madeira possibilita identificar os metais presentes no ambiente, avaliar os níveis de poluição e, em determinadas situações, compreender variações temporais na deposição desses elementos (Cocozza *et al.*, 2016; Neto, 2022; Scharnweber *et al.*, 2016). Sendo assim, espécies arbóreas urbanas têm sido cada vez mais empregadas em estudos de biomonitoramento ambiental, contribuindo para a avaliação da qualidade ambiental em centros urbanos.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo investigar a madeira de espécies da arborização urbana como bioindicadoras de poluentes metálicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Arborização urbana e espécies que são utilizadas

A arborização urbana, ou floresta urbana, corresponde ao conjunto de árvores presentes em áreas públicas e privadas das cidades, incluindo ruas, avenidas, praças, parques e demais áreas verdes, sejam elas naturais ou implantadas (Rocha, Fermino, 2022). Trata-se de um elemento essencial da paisagem e do conforto ambiental, desempenhando múltiplas funções no sistema de espaços livres das cidades, como a melhoria do microclima, promoção de sombreamento, a redução das poluições atmosféricas, sonoras e visuais, melhoria das condições de solo urbano e do ciclo hidrológico, a oferta de abrigo para a fauna urbana e a valorização dos espaços, contribuindo para a construção da identidade local (Alvarez *et al.*, 2012; Basso, Corrêa, 2014; Fátima, 2005). Esses aspectos favorecem a apropriação desses ambientes pela população e fortalecem a conexão entre os indivíduos e a natureza no contexto urbano.

A seleção de espécies arbóreas para a arborização urbana deve ir além de critérios estéticos, incorporando aspectos técnicos relacionados à segurança, manutenção e adequação ao espaço público (Milano, Dalcin 2000). Nesse contexto, recomenda-se a escolha de espécies com porte compatível ao ambiente urbano, de modo a reduzir riscos de danos à infraestrutura e a ocorrência de acidentes (Klingenberg, 2022; Lisboa, 2023). Para um planejamento eficiente, é fundamental considerar características de crescimento das árvores (porte adulto), estrutura da copa e sistema radicular, já que as árvores com raízes com grande volume podem danificar calçadas, tubulações subterrâneas, edificações (Santana, 2018).

Alguns atributos específicos das espécies devem ser considerados, como a resistência a intempéries, caducifolia, liberação de pólen e odores, bem como as condições locais, incluindo espaço disponível, presença de redes subterrâneas e interferências como a rede elétrica (Lisboa, 2023). No entanto, observa-se que, em muitos centros urbanos brasileiros, a seleção das espécies nem sempre segue esses critérios, pode-se destacar como exemplo o Rio de Janeiro onde predominam as espécies *Terminalia catappa* L. (amendoeira), *Moquilea tomentosa* Benth (oiti) *Pachira aquática* Aubl. (monguba) e *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Mattos (ipê-roxo) selecionadas em razão do rápido crescimento e valor ornamental, o que pode representar baixa diversidade e favorecer a maior vulnerabilidade a pragas e doenças (RIO DE JANEIRO, 2015). Sendo assim, o uso de espécies nativas é frequentemente recomendado por favorecer a conservação da fauna e da flora regionais, além de apresentar melhor adaptação às condições ambientais locais (Vasconcellos, 2024).

Além de seus benefícios ecológicos e paisagísticos, as espécies arbóreas urbanas desempenham papel relevante no monitoramento ambiental, especialmente no que se refere à poluição por metais pesados (Deecken *et al.*, 2022; Mulenga *et al.*, 2023; Turkylmaz *et al.*, 2019). Árvores expostas ao ambiente urbano possuem capacidade de absorver e acumular contaminantes atmosféricos e edáficos em diferentes tecidos, como folhas, casca e madeira, refletindo as condições ambientais ao longo de seu desenvolvimento (Santos *et al.*, 2021; Alves *et al.*, 2025). No entanto, essa eficiência não é uniforme, sendo influenciada por fatores como a capacidade fisiológica de absorção de cada espécie, as condições climáticas, as características do solo, a concentração e a profundidade dos contaminantes, além dos possíveis efeitos tóxicos desses elementos sobre o crescimento vegetal (Cunningham, Ow, 1996; Romeno, 2023). Assim, a escolha adequada das espécies utilizadas na arborização urbana torna-se um fator essencial para estudos voltados à avaliação da qualidade ambiental em áreas urbanizadas. Espécies como o sombreiro (*C. fairchildiana*) e a pata-de-vaca (*B. forficata*) são amplamente utilizadas e recomendadas para arborização urbana devido à sua adaptabilidade às condições ambientais, rápido crescimento, resistência e eficiência na oferta de serviços ecossistêmicos, como sombreamento e melhoria do microclima urbano (Carvalho, 2003; Lorenzi, 2008).

2.1.1 *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard

Clitoria fairchildiana, conhecida popularmente como sombreiro, palheteira ou faveira, pertencente à família Fabaceae-Papilionoideae, é uma espécie arbórea de médio a grande porte nativa da Amazônia (Bertoncelli, 2022; Lorenzi, 2008). Segundo, Flora e Funga do Brasil (2020), também pode ser encontrada nos biomas caatinga, cerrado e mata atlântica, possuindo ampla distribuição, principalmente, nos estados do Amapá, Pará e Maranhão, e posteriormente foi introduzida na região sudeste, onde é muito utilizada na arborização urbana (Lorenzi, 2008; Silva *et al.*, 2017).

A espécie é caducifólia, heliófita e seletiva higrófila e possui entre 6 a 12 m de altura, com copa larga e frondosa. Seu tronco geralmente é curto e revestido por casca fina e lisa. Apresenta acúleos nos ramos e as folhas são esverdeadas compostas trifolioladas, estipuladas e longo-pecioladas com folíolos coriáceos de 14 a 20 cm de comprimento por 5 a 7 cm de largura. As flores são violáceas em racemos pendulos, que florescem durante o verão, prolongando-se até abril-maio em certas regiões. Seus frutos são vagens deiscentes em formato de espadas curvas, verde quando imatura e castanha quando madura, que contém entre 4 a 16 sementes discoides, com tegumento que varia do marrom claro a preto. Os frutos amadurecem em maio-julho quando inicia-se a queda das folhas (Cruz, 2019; Lorenzi, 2008; Paulino, 2022; Santos, 2014). Suas sementes são exalbuminosas (não possui endosperma maduro), orbiculares e plano-convexas e tegumento levemente rugoso, delgado e brilhante, de coloração castanho-esverdeada, além de ser homogêneas em todas as fases (Paulino, 2022; Silva, Môro, 2008) (Figura 1).

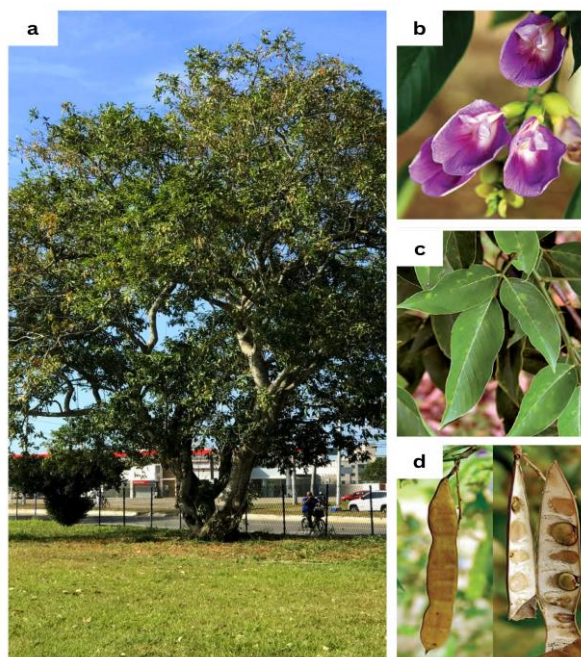


Figura 1. *C. fairchildiana*. (a) indivíduo adulto; (b) ramo floral; (c) folha; (d) fruto.

Fontes: UENF/ Silva-Júnior, Lima (2010).

O sombreiro possui diversas utilidades. Sua madeira pode ser utilizada para construção civil, lambris, pisos, laminados, forros e para confecção de brinquedos e caixotaria. Além disso, é ótima para arborização urbana por apresentar adaptação a variadas condições de solo e clima, e proporcionar boa sombra e características ornamentais. Por ser de rápido crescimento, ela é empregada em reflorestamentos heterogêneos destinados à reconstituição vegetal de áreas degradadas de preservação permanente (Carvalho, 2024; Lorenzi, 2008). Além disso, suas

sementes e seus frutos apresentam atividades antinociceptivas, anti-inflamatórias e antioxidantes, sendo utilizados pela medicina e na produção de fármacos (Annegowda *et al.*, 2013, Negrão *et al.*, 2020).

Estudos indicam que o sombreiro é rico em flavonoides, principalmente do tipo rotenoide, apresentando diversas propriedades biológicas como ação inseticida, pesticida, atividade antiestrogênica e anticancerígena (Conceição *et al.*, 2006; Paulino, 2022; Santos, 2014; Taiz, Zeiger, 2009). Dessa maneira, a espécie pode ser uma importante fonte natural para extração de flavonoides. Além disso, há presença de fitoesteroides e triterpenos, em diferentes partes da planta, e a maior parte de componentes químicos voláteis das flores dessa espécie, é de sesquiterpenos (Béz, 2011). A partir de estudos fitoquímicos de Negrão *et al.*, (2020) realizados nas folhas da espécie, foi possível detectar presença de fenois e taninos, depsídios e depsidonas, catequina, ácidos orgânicos, açúcares redutores, polissacarídeos e taxas altas de flavonoides.

Em um estudo de prospecção química da madeira de sombreiro foi detectado presença de estruturas compostas por açúcares, esteróides e triterpenóides, sacarídeos, flavonóides, saponinas e alcalóides (Lunz *et al.*, 2007).

2.1.2 *Bauhinia forficata* Link

Bauhinia forficata, conhecida como pata-de-vaca, pertence à família Fabaceae-Caesalpiniaceae e é uma espécie arbórea/arbustiva de porte médio nativa da Mata Atlântica, possuindo ampla distribuição nas regiões do Brasil, como no norte (Acre, Amazonas, Pará e Rondônia), nordeste (Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte), centro-oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás), e principalmente na sul (Rio Grande do sul, Paraná e Santa Catarina) e sudeste (Espírito Santos, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) para arborização urbana, e sendo muito comum na vegetação secundária, principalmente em capoeiras e nas margens das estradas, caminhos e abertura nos bosques e em Floresta Ombrófila Densa (Carvalho, 2003; Palsikowski, 2020).

Trata-se de uma espécie caducifólia e heliófila que possui entre 4 a 10 m de altura e 10 a 20 cm de DAP, com copa arredondada ou estendida e aberta. Seu tronco é tortuoso, curto e delgado, atingindo até 5 m de comprimento, revestido por casca externa cinza-escura, lisa ou fissurada com espessura de até 7 mm. A casca interna geralmente é branca e fibrosa, e após uma incisão a casca fica pardo-escura. As folhas são alternas, simples, ovadas, coriáceas com até 10 cm de comprimento e até 6 cm de largura, bilobadas e lâmina foliar lisa. Quando jovem, os ramos têm dois espinhos curvos como estípulas na base do pecíolo. As flores são de coloração branca e de antese noturna, que florescem a partir do final do mês de outubro, prolongando-se até janeiro. A inflorescência é em racemo axilar, com flores vistosas, pétalas de até 9 cm de comprimento e com dez estames compridos. Seus frutos são legume aplainado, marrom-acinzentado, de até 20 cm de comprimento por 2,5 cm de largura, com 5 a 10 sementes e geralmente a maturação desses frutos ocorrem durante os meses de julho-agosto. Suas sementes são achatadas com poros de coloração castanha a pretas, medindo cerca de 1 cm de comprimento (Carvalho, 2003; Figueredo, 2021; Lorenzi, 1992; Marafeli, 2024) (Figura 2).

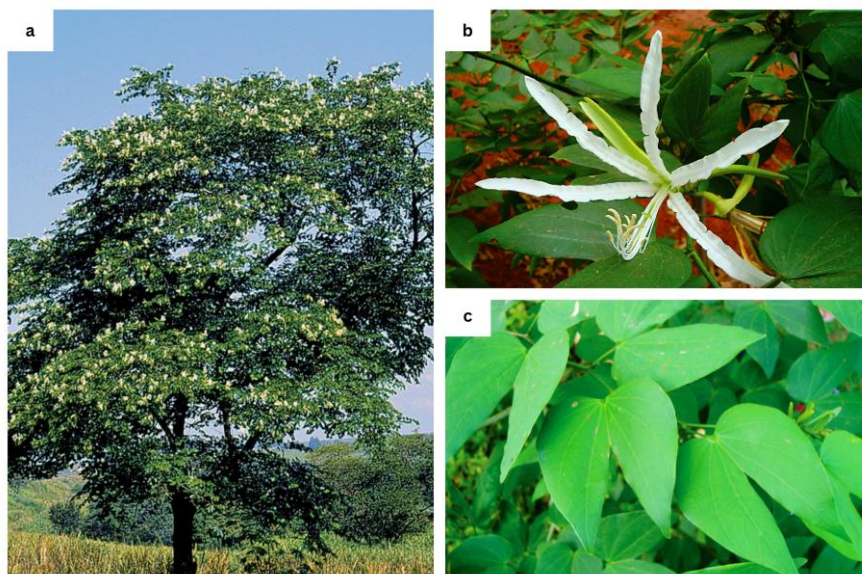


Figura 2. *B. forficata*. (a) indivíduo adulto; (b) flor; (c) folha.

Fontes: Gilbert, Alves, Favoreto (2022) / Domingos, Capellari-Júnior (2016).

Sua madeira pode ser utilizada para caixotarias e obras leves. Para lenha carvão, podem ser utilizados ramos e troncos inteiros. Além disso, é recomendada para paisagismo e arborização de ruas estreitas e sob rede elétrica. Por ser de rápido crescimento, é indicada para plantios mistos em áreas degradadas destinadas à recomposição da vegetação arbórea. (Lorenzi, 1992; Maciel, Torres, 2023). Suas folhas são utilizadas em chás e infusões, importantes para a medicina popular brasileira como agente diurético, hipoglicemiante, tônico, depurativo, no combate à elefantíase e na redução da glicosúria, mas, além das folhas, todos os seus órgãos são usados para diferentes propósitos terapêuticos (Figueredo, 2021; Pizzolatti *et al.*, 2003; Trojan-Rodrigues *et al.*, 2012).

Alguns estudos mostram que a pata-de-vaca é rica em esteróis, flavonoides (principalmente em Kampferol, rutina e quercetina), pinitol, taninos (flobatênicos e pirogálicos), cumarinas, ácidos orgânicos, glicosídeos, heterosídeos (cianogênicos e saponínicos), gomas, mucilagens e sais minerais (Lira, *et al.*, 2022; Pinheiro, *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2000). Por esse motivo, essa espécie é considerada muito mais eficaz para a medicina do que outras espécies de *Bauhinia*. Segundo estudos de Silva *et al.* (2000), há a presença de esteroides e terpenos em todas as partes da planta (folhas, caule e raízes), sendo predominantemente nas folhas, e encontrado canferitrina (flavonoide) apenas nas folhas dessa espécie. Além disso, a partir de estudos de Simões (2015) de prospecção fitoquímica das cascas do caule, foi encontrado flavonoides, fenois e taninos, depsídeos e depsidonas, açúcares redutores e quinonas.

2.2 Espécies arbóreas em estudos de biomonitoramento ambiental

O biomonitoramento ambiental vem sendo amplamente reconhecido como uma ferramenta relevante para avaliar a qualidade do ambiente, principalmente em regiões urbanas, nas quais a elevada intensidade das ações humanas contribui para o aumento da emissão e do acúmulo de poluentes (Cardoso *et al.*, 2017). Nesse cenário, diferentes espécies têm sido utilizadas como bioindicadoras da poluição do ar e do solo, permitindo identificar a presença de metais pesados em diferentes ambientes. Este potencial está correlacionado com sua longevidade, ampla ocorrência em áreas urbanas e habilidade de acumular poluentes (Alves *et al.*, 2025; Cardoso *et al.*, 2017; Jardim *et al.*, 2021).

Souza *et al.* (2019) e Costa (2018) investigaram as espécies arbóreas pertencentes à família Fabaceae, como *Caesalpinia pluviosa* (DC.) Gagnon & G.P Lewis, *Delonix regia* (Bojer ex. Hook.) Raf., *Senna spectabilis* (DC.) H.S.Irwain & Barneby e *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth, onde tais espécies demonstraram viabilidade para aplicação como biomonitores ambientais, além de alterações morfológicas. Santos *et al.* (2021) averiguaram que a casca de espécies da família Fabaceae (*Caesalpinia pluviosa* (DC.) Gagnon & G.P Lewis e *Tipuana tipu* (Beth.) Kuntze), permitiram a detecção de metais pesados. Foram identificados elementos como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e zinco (Zn), porém em concentrações diferentes entre as espécies.

Além disso, Alves *et al.* (2025), estudaram a espécie *Cenostigma tocaninum* Ducke, também pertencente à família Fabaceae, no monitoramento da poluição por contaminantes ambientais, que identificaram a presença de elementos potencialmente tóxicos, principalmente cromo (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn). Esses achados evidenciam seu potencial de aplicação em estudos de biomonitoramento ambiental.

2.3 Metais pesados

Os metais pesados são frequentemente definidos como elementos que apresentam densidade superior a 5 g/cm³. Entretanto, essa classificação não é consensual, e diversos autores incluem outros elementos potencialmente tóxicos, como estrôncio (Sr) e bário (Ba), independentemente de sua densidade específica (Burakov *et al.*, 2018; Duffus, 2002). Além disso, os metais pesados possuem características como: capacidade de conduzir calor e eletricidade, possuir brilho e coloração prateada (com exceção cobre); e são elementos de baixa elasticidade, resultando em alta resistência à tração e elevada resistência mecânica (Bernardino *et al.*, 2024; Schmidt, 2010). Esses metais podem estar ligados ao material particulado (MP) atmosférico, que são uma mistura de partículas sólidas e líquidas no ar, e sua composição varia dependendo de suas fontes de emissão e suas reações químicas presentes na atmosfera podem acarretar diferentes propriedades física ou químicas, as tornando mais tóxicas (WHO, 2021; Sliwinski, 2022). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o MP_{2,5}, que são as partículas com diâmetro inferior a 2,5 µm, possui altas concentrações desses metais pesados no ar atmosférico.

Com o aumento da urbanização e da industrialização, o ar atmosférico vem se tornando preocupante à humanidade, contendo substâncias tóxicas, dentre elas, os metais pesados como Pb, Cd, Cr, As, Cu, Mn, Hg, Fe, Ni, Zn, além de outros que ao serem inalados pelos organismos vivos, em contato com a corrente sanguínea, podem trazer doenças respiratórias, cardiovasculares, intoxicações, convulsões e cânceres de médio a longo prazo (Aikes, 2019). As fontes desses metais pesados podem ser de forma natural, como atividade vulcânica, ressuspensão de sedimentos, erosão do solo, intemperismo geológico, incêndios florestais. Porém, a poluição por metais pesados vem aumentando devido à atividade antropogênica, principalmente devido às atividades industriais, como mineração, fundição e combustão de combustíveis fósseis (carvão, óleo e coque) e produção de energia, de emissões de atividades veiculares, com o tráfego de veículos que podem causar abrasão da superfície da estrada, desgastes dos pneus, componentes das ligas metálicas dos motores, desgaste dos freios, materiais de construção das vias de tráfego e ressuspensão do solo, sendo essas atividades mais comuns em ambientes urbanos (Ali *et al.*, 2019; Briffa, 2020). Além disso, o uso desses metais para atividades agrícolas também tem sido fonte de poluição, como uso excessivo de pesticidas, inseticidas e fertilizantes e aplicação de dejetos agroindustriais, pode afetar diretamente os níveis de metais no solo (Bawa, *et al.*, 2021; Briffa, 2020). Os íons metálicos que se encontram adsorvidos ao MP se acumulam por via deposição úmida e/ou seca dos solos, corpos d'água e folhas da vegetação (Sliwinski, 2022).

Segundo as Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS (2021), que inclui os limites de concentração para o MP_{2,5} (partículas finas ou respiratórias), a concentração média de 24 horas

não deve ultrapassar o valor de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e média anual 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para o MP10 (partículas grossas ou inaláveis), não deve ultrapassar o valor da concentração média de 24 horas de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e média anual de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.3.1 Cádmio

O cádmio (Cd) é um metal não essencial para processos biológicos e possui elevada toxicidade ambiental. Acumula-se em solos, corpos aquáticos e tecidos biológicos, e sua exposição afeta a saúde humana, plantas e animais. Esse metal é liberado na atmosfera principalmente por meio de fontes antropogênicas como produção de ligas, ferro, aço, cimento, couro, pigmentos, baterias, incineração de resíduos, descargas industriais, detergentes, além da combustão de combustível, uso de fertilizantes fosfatados, lodo de esgoto e queima de combustíveis fósseis, contribuindo para a contaminação ambiental (Andrade, 2023; Santos, 2019).

Segundo estudos de Costa *et al.* (2007), o Cd apresenta elevada mobilidade, o que aumenta o seu potencial de risco ambiental, especialmente em solos com baixo teor de matéria orgânica, teores de óxidos de ferro e baixa capacidade de troca catiônica, comum em ambientes urbanos. Além disso, devido à sua fácil absorção pelas raízes pode ser transportado para outras partes da planta e contribuir na inibição do crescimento vegetal, mesmo em concentrações baixas (Texeira *et al.*, 2023).

2.3.2 Chumbo

O chumbo (Pb) é um metal naturalmente presente em baixas concentrações na crosta terrestre, cuja disponibilidade ambiental aumentou devido a atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis, a utilização de materiais para blindagem contra raios X e sua aplicação na fabricação de baterias, ligas metálicas e pneus reciclados. Em ambientes urbanos, uma das principais fontes de dispersão desse elemento está associada ao intenso tráfego de veículos, que favorece sua emissão e deposição no ambiente. Além disso, o chumbo é considerado um metal potencialmente tóxico, mesmo quando presente em baixas concentrações (Moreira, 2010; Sliwinski, 2022).

O Pb possui reduzida mobilidade para a parte aérea das plantas, sendo assim o seu conteúdo fica retido nas raízes. Porém, com a deposição atmosférica, este metal pode instalar-se nas folhas das plantas (Pacheco, 2015).

Segundo o CONAMA (2018), por meio da Resolução nº 491/2018, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, que inclui os limites de concentração especificamente para o metal Pb no ar atmosférico, este metal não deve ultrapassar o valor da concentração média anual de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.3.3 Estrôncio

O estrôncio (Sr) é um metal que possui disponibilidade sujeita ao material de origem dos solos ou por contaminação ambiental devido à atividade antropogênica, como queima de combustíveis fósseis e de resíduos sólidos urbanos, aumentando a contribuição do acúmulo do metal em solos e poeiras suspensas nas cidades (Moyen, Roblin, 2010; Machado *et al.*, 2018).

Porém, apenas uma parte pequena desse metal é depositada nas folhas e é absorvida e translocada para outras partes da planta, devido à baixa mobilidade do Sr no floema. Contudo, a concentração dessa pequena parte em plantas de áreas urbanas pode ser absorvida diretamente do solo, sendo assim, utilizada como bioindicadora de contaminação por atividades antrópicas (Moyen, Roblin, 2010).

2.3.4 Níquel

O níquel (Ni) é o 22º metal mais abundante na crosta terrestre, e é liberado, principalmente, através de atividades antropogênicas como queima de combustíveis fósseis, emissões de veículos, resíduos urbanos e industriais, fabricação do aço inoxidável, além de ser encontrado em produtos como baterias, automóveis, joias e outros. (Pacheco, 2015; Santana, 2021).

Este metal não costuma permanecer acumulado em plantas ou animais, e por esse motivo, não causa biomagnificação na cadeia alimentar, mas acima do limite tolerado, pode ocasionar toxicidade. Além disso, estudos indicam que o níquel apresenta potencial genotóxico, reforçando sua relevância como contaminante de preocupação ambiental e em saúde pública (Cameron, Buchner, Tchounwou, 2011; Santos, 2019).

2.3.5 Zinco

O zinco (Zn) é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, e ele vem sofrendo aumento de sua concentração devido à atividades antrópicas. Ele é muito utilizado para atividades industriais de mineração, carvão, combustão de resíduos, processamento de aço, galvanização, pintura, baterias, fundição, fertilizantes e pesticidas, combustão de combustíveis fósseis, pigmentos, estabilizadores de polímeros, as quais geram águas residuais altamente concentradas de zinco. Além disso, o Zn é um dos componentes dos produtos utilizados na vulcanização de pneus de automóveis (Moreira, 2010; Sliwinski, 2022)

O Zn é um micronutriente essencial para processo fisiológicos, mas em concentrações acima de 200 mg/kg pode se tornar fitotóxico. Seu excesso interfere no uso do Fe por várias proteínas, substitui o Mg no fotossistema II, reduz o crescimento e o metabolismo das plantas e ainda pode induzir danos oxidativos em diferentes espécies (Pacheco, 2015; Edelsteins, Benhur, 2018). A sua mobilidade na planta é classificada de alta a intermediária, contudo a maior parte desse elemento concentra-se na raiz (Prolo Júnior, Paixão, Virgílio, 2024).

2.4 Mobilidade dos metais nas árvores

2.4.1 Raízes e folhas

A absorção de metais pelas espécies arbóreas ocorre principalmente por duas vias: pelo sistema radicular e pela superfície foliar (Chaves, 2008).

Segundo Clemens (2001), a biodisponibilidade dos metais no solo é condicionada por diversos fatores, como pH, potencial de oxirredução e níveis de oxigenação. Após sua disponibilização no solo, os metais podem ser retidos inicialmente nas raízes, onde são sequestrados pelas paredes celulares por meio de processos de troca iônica, geralmente com baixa afinidade e seletividade. O transporte através da membrana plasmática é mediado por proteínas específicas, que controlam a entrada dos metais nas células. Após ultrapassar essa região, os metais atingem o estelo, sendo conduzidos predominantemente pelo xilema para as partes aéreas da planta. Durante esse processo, a presença de metais pode influenciar a diferenciação dos tecidos vasculares. Em menores concentrações, esses elementos alcançam as folhas, podendo provocar alterações estruturais e funcionais nas células fotossintéticas (Barceló, Poscherieder 1992; Chaves, 2008).

O transporte via xilema constitui a principal rota de deslocamento dos metais das raízes para a parte aérea da planta, incluindo caule e folhas. No entanto, a mobilidade desses elementos varia de acordo com suas propriedades químicas, podendo resultar em acúmulo preferencial nas raízes ou em tecidos específicos. Esse processo envolve etapas como a absorção do metal pelas células radiculares, seu possível sequestro intracelular e, posteriormente, sua condução através do simplasto até alcançar os vasos do xilema, sendo esse fluxo regulado por proteínas transportadoras (Clemens, 2001; Correira, 2017).

Além da absorção radicular, os metais também podem ser incorporados pelas folhas por meio da deposição de partículas presentes na atmosfera, oriundos de fontes como emissões veiculares e industriais (Clemens, 2001). Nesse caso, os elementos podem penetrar na epiderme foliar e, posteriormente, serem redistribuídos internamente, podendo inclusive integrar os fluxos de transporte da planta (Clemens, 2001). Esse mecanismo reforça a importância das folhas como vias adicionais de entrada de contaminantes, especialmente em ambientes urbanos.

Dessa forma, tanto as raízes quanto as folhas desempenham papéis fundamentais na entrada e no acúmulo de metais nas espécies arbóreas, influenciando diretamente a distribuição desses elementos nos diferentes tecidos, incluindo a madeira.

2.4.2 Distribuição dos metais pesados na madeira

Após a absorção pelas raízes ou, em menor proporção, pelas folhas, os metais são transportados para os diferentes órgãos da planta por meio do sistema vascular. A principal via de condução desses elementos até a madeira é o xilema, responsável pelo transporte ascendente da seiva, composta por água e solutos minerais provenientes do solo (Moreira, Salvador, Moraes, 2024).

Ao longo do crescimento da planta, parte desses metais é incorporada aos tecidos lenhosos em formação, especialmente durante a atividade do câmbio vascular, responsável pela produção de novas células do xilema secundário. Nesse processo, os elementos podem ser imobilizados nas paredes celulares, adsorvidos por componentes como lignina e celulose ou ainda armazenados em células do parênquima axial e radial. Essa incorporação tende a ser relativamente estável, uma vez que muitas das células da madeira perdem sua atividade metabólica após a diferenciação (Anjitha *et al.*, 2025; Cuyper, *et al.*, 2012).

Alguns elementos químicos presentes na atmosfera também podem ser absorvidos pela casca das árvores por meio de deposição seca e úmida. Esses elementos tendem a se concentrar nas camadas mais externas da casca, apresentando redução progressiva de suas concentrações em direção ao interior do lenho. Esse padrão de distribuição evidencia uma difusão limitada desses compostos através dos tecidos da árvore (Bellis, *et al.*, 2002).

Além disso, elementos com maior mobilidade podem ser redistribuídos ao longo do tempo, enquanto outros tendem a se acumular em regiões específicas da madeira. Esse comportamento pode resultar em padrões de deposição ao longo dos anéis de crescimento, permitindo análises temporais da exposição a contaminantes (Neto, 2022). Dessa forma, a madeira atua como um importante compartimento de armazenamento de metais pesados, funcionando como um registro histórico da poluição ambiental (Neto, 2022; Souza *et al.*, 2019). Essa característica torna o tecido lenhoso especialmente relevante em estudos de biomonitoramento, possibilitando a avaliação da contaminação ao longo do tempo e contribuindo para a compreensão da dinâmica dos poluentes em ambientes urbanos (Mulenga *et al.*, 2023).

2.4.3 Madeira como bioindicadora de metais pesados

A madeira é um tecido vegetal lenhoso com estrutura complexa e heterogênea, apresentando propriedades anisotrópicas, higroscópicas e porosas.

É constituída principalmente por células de paredes espessas, cujas formas e dimensões variam de acordo com a espécie, organizadas nas direções radial, tangencial e longitudinal. A coesão estrutural desses tecidos é garantida pela lamela média, uma camada responsável por manter as células vizinhas unidas entre si (Carvalho *et al.*, 2009). Esse material é constituído por diversos tipos celulares originados do câmbio, uma delgada camada de tecido vivo situada entre a casca e a madeira, isto é, entre o xilema e o floema, que se mantém ativa ao longo de toda a vida da planta e é responsável pela formação dos tecidos secundários do xilema e da casca (Burger, Richter, 1991).

As células jovens originadas do câmbio, ao se desenvolverem, diferenciam-se em variadas formas e funções, passando, em sua maioria, a desempenhar papéis na condução da seiva ou na sustentação da árvore, como ocorre com os elementos de vaso, traqueídeos e fibras. Em contraste, as células do parênquima permanecem vivas por mais tempo e atuam no armazenamento de substâncias (Gerolamo, 2021; Hoadley, 1990). Além disso, a madeira também apresenta raios, que correspondem a menos de 10% do seu volume e são formados por células orientadas perpendicularmente ao eixo do caule, formadas por células parenquimática especializadas no armazenamento e transporte horizontal de substâncias nutritivas, dispostas no sentido radial do tronco. Essas estruturas se estendem da medula até o câmbio, atravessando os anéis de crescimento, e variam em tamanho conforme a espécie, sendo relevantes para a identificação da madeira. Ocupando o centro da madeira, a medula tem a função de armazenar substância nutritivas e possui também papel importante nas plantas jovens, participando da condução ascendente de líquidos. Em termos de formação, a medula corresponde à porção mais antiga do eixo caulinar, enquanto os tecidos mais externos, próximos à casca, representam as regiões mais recentes de crescimento. De modo geral, a estrutura do caule é composta por casca, câmbio, alburno, cerne, anéis de crescimento e medula (Hoadley, 1990).

Quimicamente, a madeira é formada por três compostos principais: celulose, hemicelulose e lignina. Esses componentes são complementados por extrativos (óleos, resinas, taninos etc.) e cinzas (Klock, 2000). A celulose é o principal constituinte da madeira, correspondendo, em geral, a cerca de 40–50% de sua massa seca, e devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supramolecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais. As hemiceluloses correspondem entre 15–35% da composição da parede celular e são constituídas por um amplo conjunto de polissacarídeos complexos, caracterizados por baixo peso molecular, estrutura amorfa (baixa cristalinidade), menor estabilidade dos monômeros e presença de grupos acetila. Além disso, apresentam solubilidade em água e em soluções alcalinas, o que facilita sua remoção, solubilização e degradação (Klock, 2000; Oliveira, 2016). A lignina, por sua vez, corresponde a cerca de 20–30% da composição e suas moléculas são formadas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares (Klock *et al.*, 2013). Cerca de 3 a 10% da massa seca da madeira corresponde aos extrativos, que consistem em compostos formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteroides, resinas ácidas, ceras e outros compostos orgânicos. Esses componentes podem ser encontrados nas células do parênquima, nos canais secretores, na lamela média, nos espaços intercelulares e na parede celular; contudo, não integram a fração estrutural dessa parede. (Oliveira, 2016).

Além de sua importância anatômica e funcional, a madeira tem sido amplamente estudada quanto à sua capacidade de atuar como bioindicadora e acumuladora de poluentes, especialmente metais pesados. Devido à presença de grupos funcionais na lignina, celulose e hemiceluloses, a madeira apresenta potencial para adsorção e fixação de elementos metálicos, tornando-se uma ferramenta útil em estudos ambientais e de monitoramento da poluição (Anjitha *et al.*, 2025; Chagas, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de coleta

A coleta do material foi realizada em duas regiões: Rio de Janeiro e Paracambi. No município do Rio de Janeiro, capital do estado homônimo, localizado nas coordenadas 22°45'05"–23°04'10" S e 43°06'30"–43°47'40" W (Figura 3) (RIO DE JANEIRO, 2018), a área territorial é de aproximadamente 1.200,33 km², onde cerca de 640,34 km² correspondem à área

urbanizada, com população estimada em 6.211.223 habitantes (IBGE, 2024). Foram definidos oito pontos de coleta na cidade (Figura 3), em bairros onde as espécies sombreiro (*C. fairchildiana*) e pata-de-vaca (*B. forficata*) são utilizadas na arborização urbana.

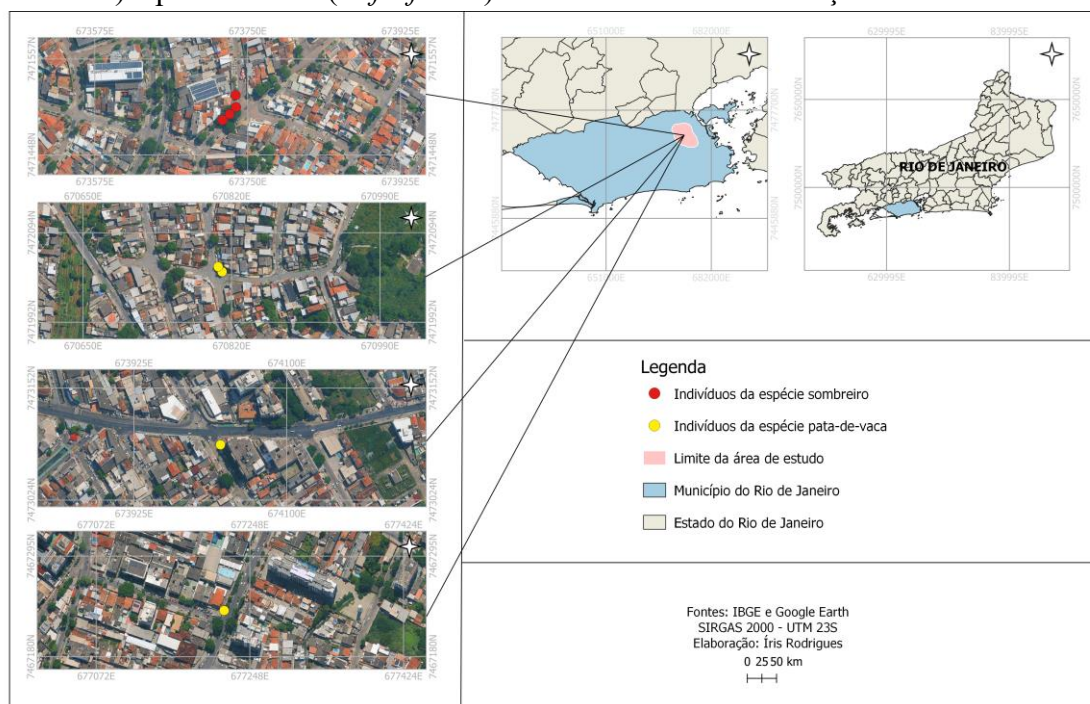
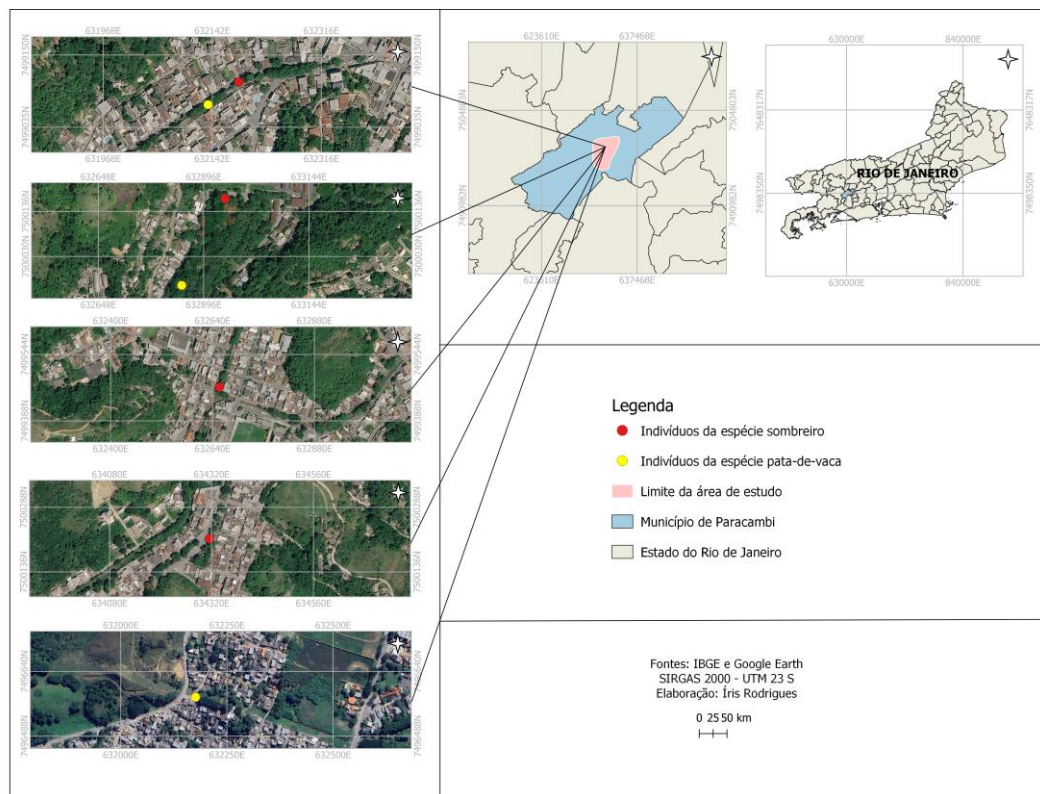


Figura 3. Localização dos pontos de coleta na zona norte da cidade do Rio de Janeiro.

O município de Paracambi, por sua vez, localiza-se na região metropolitana oeste do estado do Rio de Janeiro, nas coordenadas 22°36'39" S e 43°42'33" W (Figura 4), abrangendo uma área de 190,949 km² e população de 41.375 habitantes (IBGE, 2024). Nesse município, foram definidos sete pontos de coleta (Figura 4) em bairros onde as espécies sombreiro (*C. fairchildiana*) e pata-de-vaca (*B. forficata*) são utilizadas na arborização urbana.



3.2 Coleta do material

Foram coletados quatro indivíduos de sombreiro e quatro de pata-de-vaca no município do Rio de Janeiro, enquanto em Paracambi foram coletados quatro indivíduos de sombreiro e três de pata-de-vaca, selecionando-se árvores aparentemente saudáveis e íntegras. As espécies foram escolhidas por serem amplamente utilizadas na arborização urbana, nativas da flora brasileira e apresentarem madeira de densidade média, característica que favorece a retirada das amostras. As amostras de madeira foram coletadas utilizando-se um trado de incremento (Figura 5), sendo retirada uma amostra de cada árvore na altura padronizada do DAP (1,30 m do solo). Em seguida, foram identificadas e acondicionadas adequadamente para as análises laboratoriais.



Figura 5. Remoção da amostra de madeira utilizando o trado de incremento.

3.3 Preparo das amostras

Em laboratório, as amostras foram acondicionadas em estufa a 40 °C até atingirem peso constante (Figura 6a), garantindo estabilidade dimensional para o preparo dos cortes. Em seguida, as amostras foram seccionadas em intervalos de 3,5 cm (Figura 6b) a partir da medula, tomando-se como referência a menor amostra, cujo raio apresentava 11 cm. De cada porção, retirou-se um segmento de 1 cm destinado à preparação dos cortes histológicos (Figura 6c).



Figura 6. (a) amostras acondicionadas em estufa; (b) amostra seccionada; (c) amostra com segmento de 1cm.

As amostras foram orientadas no plano transversal e seccionadas com espessura de 20 μm no micrótomo de deslizamento MICRON HM 450 (Figura 7). Foram selecionados cortes transversais representativos em três posições distintas ao longo do perfil radial da madeira: próximo à medula, em região intermediária e próximo ao câmbio.

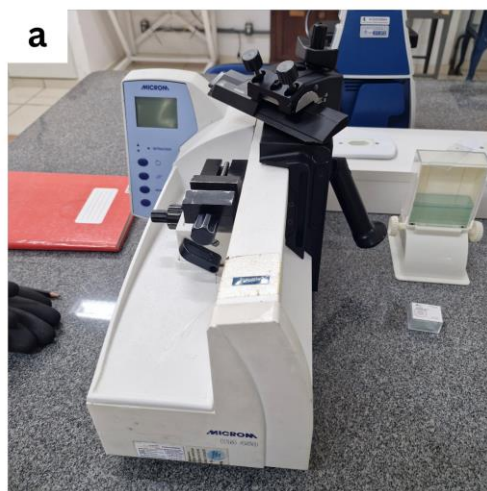


Figura 7. Micrótomo de deslizamento MICRON HM 450.

3.3.1 Caracterização anatômica

3.3.1.1 Caracterização macroscópica

Confeccionaram-se corpos de prova com 1,5 cm de comprimento, obtidos a partir das amostras de madeira de cada espécie por meio de cortes realizados com estilete. A face transversal de cada amostra foi cuidadosamente polida, a fim de melhorar a visualização das estruturas anatômicas. A observação e identificação dos elementos macroscópicos, como vasos, parênquima e raios, seguindo a metodologia proposta pela Associação Internacional de Anatomistas da Madeira (IAWA, 1989), foram conduzidas com o auxílio de uma lupa.

As fotomacrorgrafias da superfície transversal foram produzidas utilizando uma câmera de 13 MP acoplada a uma lupa com aumento de 10x. Posteriormente, as imagens digitais foram processadas no *software ImageJ* para análise.

3.3.1.2 Caracterização microscópica

Os corpos de prova de cada espécie foram fixados em um micrótomo de deslizamento MICROM HM 450, a partir do qual se obtiveram seções transversais com 20 µm de espessura. Os cortes histológicos passaram por dupla coloração com safranina e azul de astra, na proporção 9,5:0,5, seguindo adaptação da metodologia proposta por Bukatsch (1972).

As imagens foram registradas por uma câmera de alta resolução acoplada a um microscópio óptico *Olympus BX51*. A captura foi realizada com o *software cellSens Standard* e, posteriormente, as imagens foram tratadas e processadas no *ImageJ*.

3.3.2 Teste histoquímico

Os testes histoquímicos, adaptados a partir de metodologias descritas por Seregin e Kozhevnikoa (2011) foram realizados para identificação de metais pesados. Essas análises basearam-se na exposição do tecido vegetal a reagentes específicos que, ao interagirem com os elementos de interesse, formam produtos insolúveis e coloridos, indicados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Relação dos metais com a cor do complexo produzido.

Metal	Cor do complexo produzido
Cádmio e/ou chumbo	Vermelho
Estrôncio	Cinza
Níquel	Vermelho
Zinco	Azul

3.3.2.1 Detecção de cádmio e/ou chumbo

Inicialmente, preparou-se o reagente de ditizona pela dissolução de 0,004 g do composto em uma mistura de 6 ml de acetona e 2 ml de água destilada. Em seguida, 6 ml da solução obtida foram transferidos para um béquer limpo, ao qual se adicionaram 1 a 2 gotas de ácido acético. A solução foi utilizada imediatamente após o preparo.

Posteriormente, os cortes histológicos foram posicionados em lâminas de vidro devidamente identificadas e observados ao microscópio *Biofocus* (Figura 8a), sendo registradas imagens iniciais. Sobre cada corte, adicionaram-se de 3 a 4 gotas do reagente (Figura 8b) preparado para a investigação de cádmio e/ou chumbo, mantendo-se as lâminas em contato com o reagente por 6 minutos, tempo necessário para a formação dos complexos coloridos, cuja coloração vermelha indica resultado positivo para a presença desse metal.

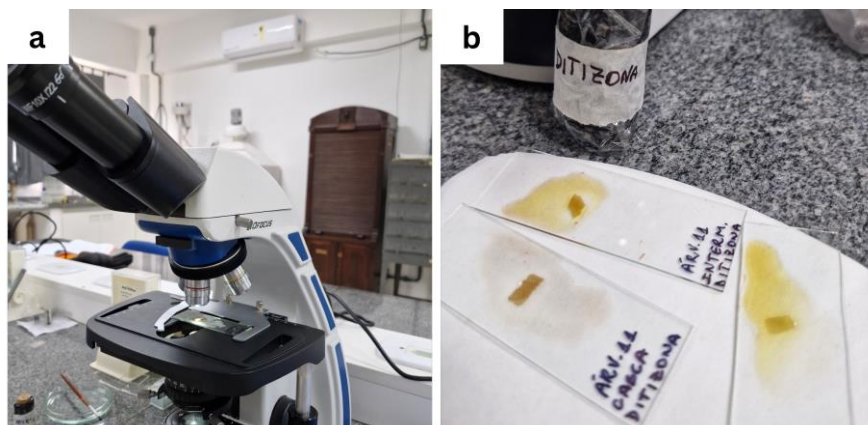


Figura 8. (a) Microscópio *Biofocus*; (b) aplicação do reagente na amostra para identificação de cádmio e chumbo.

Após esse período, as lâminas foram novamente observadas ao microscópio para comparação com as imagens iniciais, a fim de verificar possíveis variações de coloração. As imagens utilizadas na análise foram registradas por meio de uma câmera de 50 MP acoplada ao microscópio, com aumentos de 10x e 100x, permitindo a comparação entre o antes e o depois do tratamento. Cada lâmina foi analisada individualmente para registrar a presença ou ausência de metais pesados com base na reação histoquímica, possibilitando a comparação entre as distintas posições ao longo do perfil radial da madeira (próximo a medula, região intermediária e próximo ao cádmio).

3.3.2.2 Detecção de estrôncio

Foi preparado o reagente para detecção de estrôncio por meio da dissolução de 0,002 g de rodizonato de sódio em 100 ml de água destilada (Figura 9a). A solução foi utilizada imediatamente após o preparo, a fim de garantir sua eficácia.

Posteriormente, os cortes histológicos foram posicionados em lâminas de vidro devidamente identificadas e observados ao microscópio *Biofocus*, sendo registradas imagens iniciais. Sobre cada corte, adicionaram-se de 3 a 4 gotas do reagente (Figura 9b) preparado para a investigação de estrôncio, mantendo-se as lâminas em contato com o reagente por 6 minutos, tempo necessário para a formação dos complexos coloridos, cuja coloração cinza indica resultado positivo para a presença desse metal.

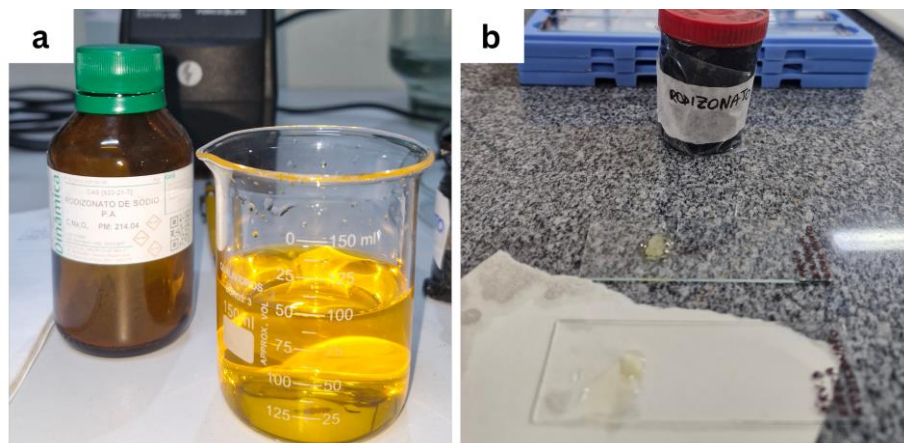


Figura 9. (a) Reagente preparado; (b) aplicação do reagente na amostra para identificação de estrôncio.

Após esse período, as lâminas foram novamente observadas ao microscópio para comparação com as imagens iniciais, a fim de verificar possíveis variações de coloração. As imagens utilizadas na análise foram registradas por meio de uma câmera de 50 MP acoplada ao microscópio, com aumentos de 10x e 100x, permitindo a comparação entre o antes e o depois do tratamento. Cada lâmina foi analisada individualmente para registrar a presença ou ausência de metais pesados com base na reação histoquímica, possibilitando a comparação entre as distintas posições ao longo do perfil radial da madeira.

3.3.2.3 Detecção de níquel

Inicialmente, foi preparada a solução de dimetilglicoxima a 1% pela transferência de 5 ml da solução para um tubo de ensaio ou béquer limpo. Em seguida, foram adicionados 0,075 g de hidróxido de sódio (NaOH) e 0,095 g de bórax decahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), agitando-se a mistura até a completa dissolução dos sólidos.

Posteriormente, os cortes histológicos foram posicionados em lâminas de vidro devidamente identificadas e observados ao microscópio *Biofocus*, sendo registradas imagens iniciais. Sobre cada corte, adicionaram-se de 3 a 4 gotas do reagente preparado para a investigação de níquel (Figura 10), mantendo-se as lâminas em contato com o reagente por 6 minutos, tempo necessário para a formação dos complexos coloridos, cuja coloração vermelha indica resultado positivo para a presença desse metal.



Figura 10. Aplicação do reagente nas amostras para identificação de níquel.

Após esse período, as lâminas foram novamente observadas ao microscópio para comparação com as imagens iniciais, a fim de verificar possíveis variações de coloração. As imagens utilizadas na análise foram registradas por meio de uma câmera de 50 MP acoplada ao microscópio, com aumentos de 10x e 100x, permitindo a comparação entre o antes e o depois do tratamento. Cada lâmina foi analisada individualmente para registrar a presença ou ausência de metais pesados com base na reação histoquímica, possibilitando a comparação entre as distintas posições ao longo do perfil radial da madeira.

3.3.2.4 Detecção de zinco

Inicialmente, foram pesados 0,0065g de zincon, os quais foram transferidos para um béquer limpo. Em seguida, adicionaram-se 0,2 ml de solução de hidróxido de sódio (NaOH), previamente pela dissolução de 0,4g de NaOH sólido em 5ml de água destilada.

Posteriormente, foram adicionados 0,1907g de bórax decahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), e o volume da solução foi completado com água destilada até atingir 10 ml. A mistura foi aquecida a 80°C até a completa dissolução dos reagentes e, em seguida, resfriada à temperatura ambiente. Após o resfriamento, o volume da solução foi completado com água destilada até 10 ml. A solução preparada foi utilizada imediatamente após o preparo, a fim de garantir sua estabilidade e eficiência na reação histoquímica.

Os cortes histológicos foram posicionados em lâminas de vidro devidamente identificadas e observados ao microscópio *Biofocus*, sendo realizados registros fotográficos prévios ao tratamento. Sobre cada corte, adicionaram-se de 3 a 4 gotas do reagente específico para zinco (Figura 11), mantendo-se as lâminas em contato com o reagente por 6 minutos, tempo necessário para a formação dos complexos coloridos, cuja coloração azul indica resultado positivo para a presença desse metal.

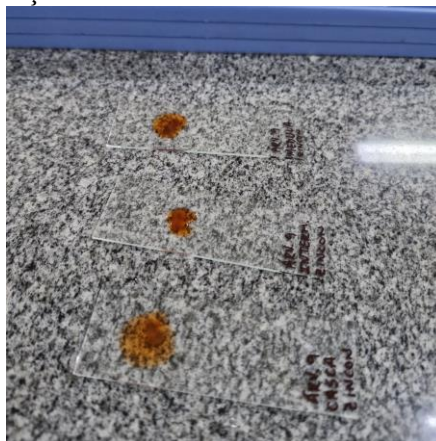


Figura 11. Aplicação do reagente nas amostras para identificação de zinco.

Após o período de reação, as lâminas foram novamente analisadas ao microscópio para comparação com as imagens iniciais, a fim de verificar possíveis variações de coloração. As imagens foram registradas por meio de uma câmera de 50 MP acoplada ao microscópio, com aumentos de 10x e 100x. Cada lâmina foi analisada individualmente para registrar a presença ou ausência de metais pesados com base na reação histoquímica, possibilitando a comparação entre as distintas posições ao longo do perfil radial da madeira.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização anatômica

4.1.1 Caracterização macroscópica

A madeira de sombreiro apresenta coloração bege-amarelada, sem odor característico e com gosto indistinto. Sua textura varia de fina a média, com grã levemente irregular e brilho discreto, pouco contrastante.

No plano transversal, é possível observar claramente o parênquima axial (Figura 12), que se destaca por ocorrer em faixas largas e alongadas, facilmente visíveis a olho nu. Os raios (Figura 12) também são evidentes sem o uso de ampliação, apresentando-se como estruturas finas e numerosas, distribuídas ao longo do tecido lenhoso.

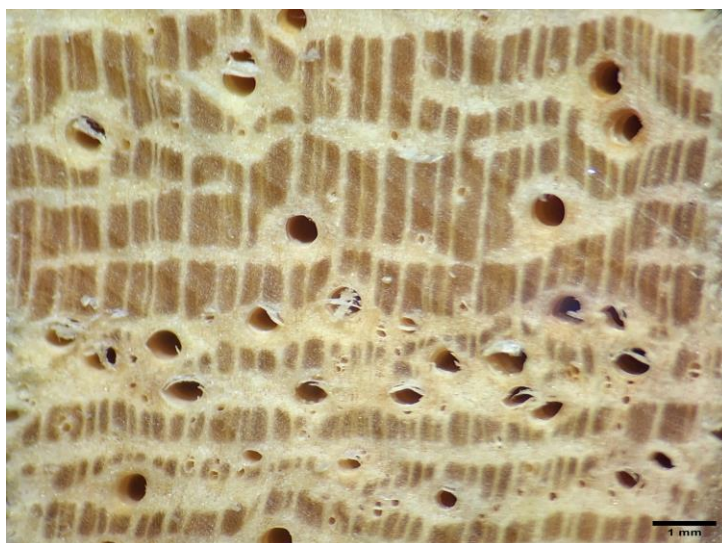


Figura 12. Seção transversal em 10x da espécie sombreiro.

Os vasos (Figura 12) são igualmente perceptíveis sem auxílio de lente, variando de pequenos a médios e ocorrendo em grande quantidade. Apresentam porosidade difusa, sendo encontrados predominantemente de forma solitária. No entanto, também podem ocorrer em múltiplos radiais, geralmente compostos por dois a três elementos, formando um arranjo radial característico.

As camadas de crescimento são bem definidas, podendo ser identificadas pela presença de zonas fibrosas que delimitam os incrementos de crescimento do lenho ao longo do tempo.

A madeira de pata-de-vaca apresenta coloração castanho-escuro, sem odor característico e com gosto indistinto. Sua textura varia de fina a média, com grã levemente irregular e brilho pouco contrastante.

No plano transversal, o parênquima axial (Figura 13) é facilmente identificado a olho nu, distribuindo-se em faixas largas e alongadas que se destacam no tecido lenhoso. Os raios (Figura 13) também são visíveis sem o uso de lente de aumento, apresentando-se como estruturas finas e numerosas ao longo da madeira.

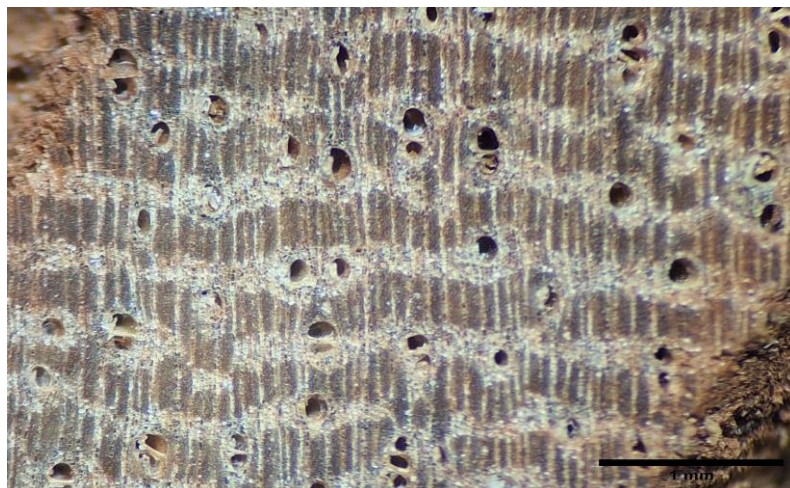


Figura 13. Seção transversal em 10x da espécie pata-de-vaca.

Os vasos (Figura 13) são igualmente perceptíveis sem amplificação, variando de pequenos a médios e ocorrendo em grande quantidade. Apresentam porosidade difusa, sendo encontrados principalmente de forma solitária. Entretanto, também ocorrem em múltiplos radiais, geralmente compostos por dois a três elementos, formando um arranjo radial característico.

As camadas de crescimento são bem delimitadas, podendo ser reconhecidas por zonas fibrosas que marcam os incrementos de crescimento do lenho ao longo do tempo.

4.1.2 Caracterização microscópica

Microscopicamente, a madeira de sombreiro apresenta vasos com presença frequente de tilos (Figura 14a), estruturas que podem ser observadas obstruindo parcialmente o lume dos elementos vasculares. Em alguns casos, também são identificados tilos esclerificados (Figura 14b), que apresentam paredes mais espessas e conferem maior rigidez às obstruções no xilema. Observa-se ainda a presença de conteúdo (Figura 14c), visíveis no interior do lume, indicando possíveis substâncias acumuladas no sistema vascular.

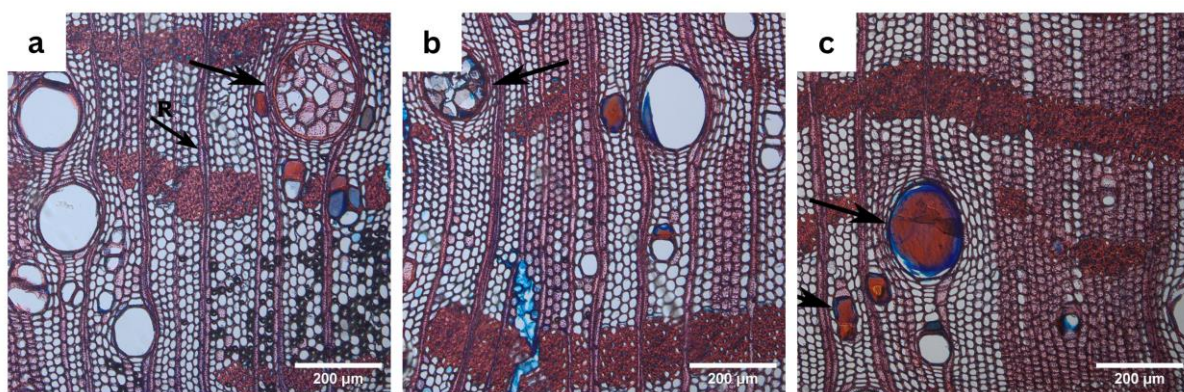


Figura 14. Seção transversal em 10x do sombreiro. (a) vasos com tilos (indicado por seta). (b) vasos com tilos esclerificados (indicado por seta). (c) vasos com conteúdo (indicado por seta). R: raios.

Os raios (Figura 14a) são numerosos e destacam-se por serem predominantemente multisseriados, podendo ser visualizados como faixas de células que se estendem radialmente no lenho.

Microscopicamente, a madeira de *Bauhinia forficata* apresenta vasos com conteúdo visível em seu interior (Figura 15a), evidenciando a presença de substâncias acumuladas ou possíveis depósitos minerais no lume dos elementos vasculares.

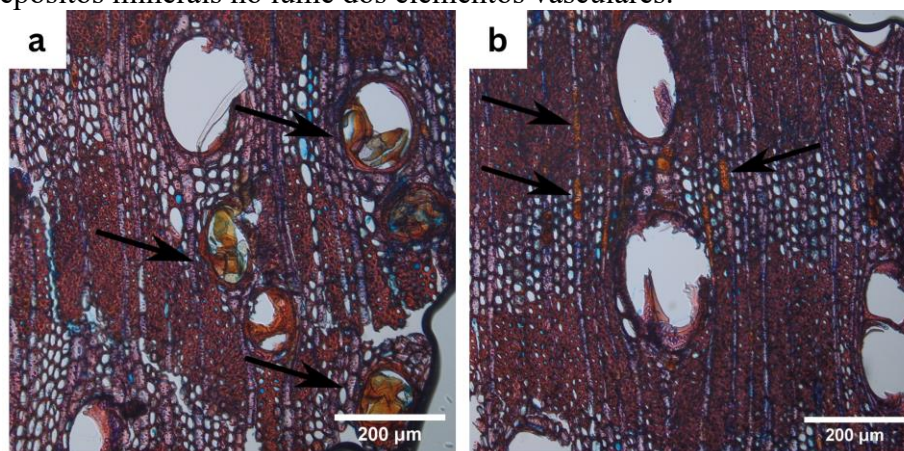


Figura 15. Seção transversal em 10x da pata-de-vaca. (a) vasos com conteúdo (indicado por setas). (b) raios com conteúdo (indicado por setas).

Os raios são numerosos e predominantemente multisseriados, sendo observados como estruturas organizadas radialmente no lenho. Em alguns desses raios, também se verifica a presença de conteúdo intracelular (Figura 15b), caracterizado pelo acúmulo de materiais no interior das células radiais.

4.2 Análise histoquímica

4.2.1 Sombreiro

Os testes histoquímicos realizados na madeira de indivíduos de sombreiro permitiram identificar a presença de determinados metais nas amostras coletadas nos municípios de Paracambi e Rio de Janeiro (Figura 16, 17, 18).

A detecção de chumbo (Pb) e/ou cádmio (Cd) foi registrada em indivíduos provenientes tanto do município do Rio de Janeiro quanto de Paracambi, evidenciando a presença desses metais nas espécies analisadas (Figura 16). No entanto, observou-se maior frequência de resultados positivos nos indivíduos do Rio de Janeiro, indicando maior exposição desses metais no ambiente (Tabela 2). Chagas (2013) analisou a casca de *Caesalpinia pluviosa*, e evidenciou a presença de cádmio (Cd), indicando o potencial de retenção e acúmulo desse metal em tecidos lenhosos de Fabaceae. Santos *et al.* (2021) ao investigarem o uso de amostras de casca de árvores no monitoramento da poluição atmosférica, identificaram a presença de chumbo (Pb) e cádmio (Cd), em espécie que pertence à família Fabaceae.

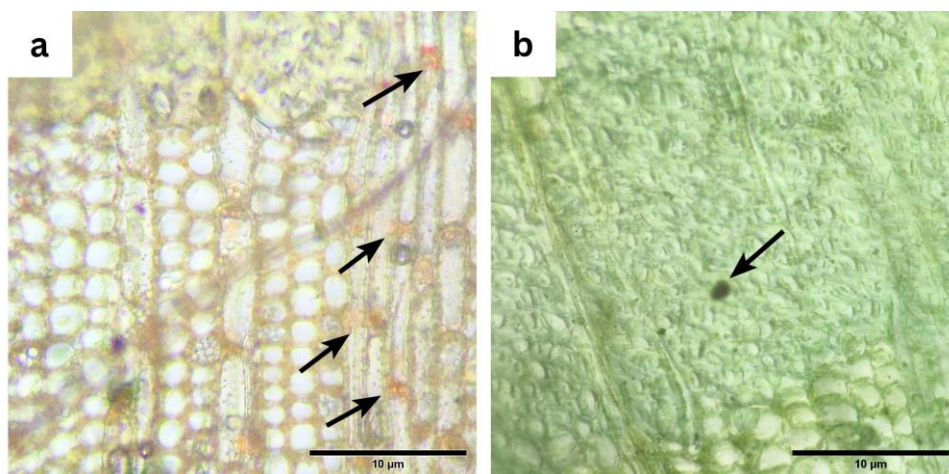


Figura 16. Reação histoquímica de chumbo e/ou cádmio em madeira de sombreiro. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (b) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 100x.

Tabela 2. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de cádmio e chumbo na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próxima ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	1	+	+	+
	2	-	-	-
	3	+	+	+
	4	-	+	+
Paracambi				
AMOSTRAS	1	-	-	-
	2	+	-	-
	3	-	-	-
	4	+	-	-

Legenda: (+) positivo e (-) negativo.

A maior ocorrência de chumbo (Pb) e/ou cádmio (Cd) nas amostras do Rio de Janeiro pode ser atribuída ao maior grau de urbanização e à intensificação de atividades antrópicas, como emissões veiculares, processos industriais, queima de combustíveis e deposição de partículas atmosféricas (Moreira, 2010; Andrade, 2023). Esses metais são amplamente associados a essas fontes, sendo frequentemente utilizados como indicadores de poluição urbana. Dessa forma, os resultados sugeriram que o ambiente urbano do Rio de Janeiro apresenta maior nível de contaminação desses metais pesados em comparação a Paracambi.

A distribuição dos metais (Pb e/ou Cd) ao longo do perfil radial da madeira, sugere a incorporação temporal desses elementos durante o crescimento da árvore, conforme observado em estudos dendroquímicos (Locosselli *et al.*, 2018). Pode-se verificar nos indivíduos do Rio de Janeiro a ocorrência de metais em todas as regiões estudadas (próxima à medula, intermediária e próxima ao câmbio), a presença desses metais pode indicar exposição contínua ou recorrente ao longo do desenvolvimento da planta (Tabela 2).

Além disso, observou-se que a marcação histoquímica ocorreu predominantemente associada aos raios da madeira, (Figura 16a). Esse padrão pode estar relacionado ao papel dos raios no transporte radial e no armazenamento de substâncias, favorecendo o acúmulo de metais nesses tecidos (Hoadley, 1990).

De modo geral, uma vez incorporados à madeira, os metais tendem a permanecer nesses tecidos por longos períodos, uma vez que a madeira não é rapidamente renovada (Taiz *et al.*, 2017). Essa característica permite que a análise ao longo do perfil radial da madeira funcione como um registro temporal da poluição ambiental. Nesse contexto, a ocorrência dos metais em diferentes regiões da madeira no município do Rio de Janeiro sugere que o ambiente já apresentava contaminação por esses metais no momento do plantio das mudas, mantendo-se ao longo do tempo.

Em contraste, em Paracambi, a detecção dos metais (chumbo (Pb) e/ou cádmio (Cd)) concentrou-se principalmente na região próxima à medula, associada ao parênquima (Figura 16b). Esse resultado indicou um padrão distinto de distribuição, possivelmente relacionado a uma exposição mais antiga a esses metais. A localização no parênquima reforça o papel desse tecido no armazenamento de substâncias, incluindo metais. De acordo com Mohamed *et al.* (2025), metais pesados como chumbo e cádmio podem ser acumulados em diferentes tecidos vegetais ao longo do tempo, apresentando distribuição variável conforme a mobilidade dos elementos, as características da planta e as condições ambientais.

Nos testes histoquímicos para detecção de estrôncio (Sr), os indivíduos provenientes do município do Rio de Janeiro e Paracambi obtiveram resultados positivos (Figura 17), ainda que em menor frequência quando comparado a outros metais avaliados. Martins (2009), ao investigar o uso de cascas arbóreas no biomonitoramento da poluição atmosférica, identificou a ocorrência de estrôncio (Sr) em espécies da família Fabaceae, entre elas *Peltophorum dubium*, *Piptadenia gonoacantha*, *Parapiptadenia rigida* e *Caesalpinia peltophoroides*. Os resultados evidenciaram a capacidade dessas espécies em acumular elementos provenientes das emissões associadas ao tráfego veicular em ambientes urbanos.

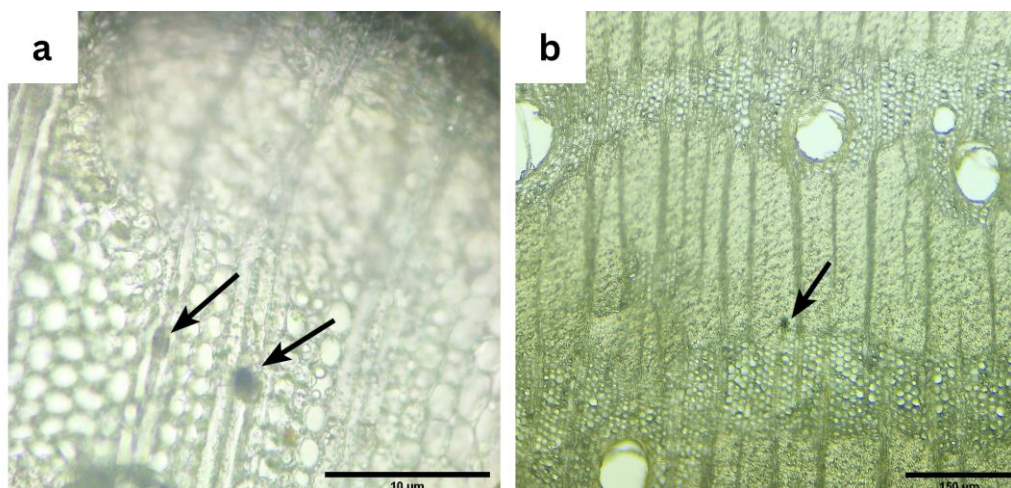


Figura 17. Reação histoquímica de estrôncio em madeira de sombreiro. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (b) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 10x.

Pode-se verificar uma maior frequência de detecção de estrôncio nos indivíduos provenientes do município do Rio de Janeiro, indicando uma maior exposição dessa espécie a fontes de poluição, como a queima de combustíveis fósseis e de resíduos sólidos urbanos, que contribuem para o aumento desse elemento em solos e poeiras suspensas no ambiente (Moyen, Roblin, 2010; Machado *et al.*, 2018). Nesse sentido, sugere-se que o ambiente urbano do Rio

de Janeiro pode apresentar maior acúmulo de estrôncio quando comparado ao município de Paracambi (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de estrôncio na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próxima ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	1	+	+	+
	2	-	-	-
	3	-	+	+
	4	-	-	-
Paracambi				
AMOSTRAS	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	+	-	-
	4	-	-	-

Legenda: (+) positivo e (-) negativo.

Conforme apresentado na Tabela 3, os indivíduos provenientes do Rio de Janeiro apresentaram reações positivas em todas as regiões analisadas (próxima à medula, intermediária e próxima ao câmbio), sugerindo tanto deposição recente quanto registro de exposição ao longo do tempo a esse metal. A marcação histoquímica ocorreu principalmente nos raios lenhosos (Figura 17a), que reforça o papel desses tecidos no transporte radial e no armazenamento de substâncias (Gerolamo, 2021; Hoadley, 1990). Os raios lenhosos facilitam a movimentação lateral de solutos, enquanto o parênquima atua como tecido de reserva, favorecendo o acúmulo de elementos minerais, incluindo metais (Hoadley, 1990).

Em contraste, no município de Paracambi, a detecção de estrôncio (Sr) foi encontrada apenas na região próxima à medula e associada ao raio (Figura 17b), indicando um padrão mais pontual e possivelmente relacionado a uma exposição mais antiga a esse metal. Esse resultado pode refletir menores níveis de contaminação ambiental quando comparado ao Rio de Janeiro, além de sugerir diferenças nas fontes e na intensidade de poluentes entre os dois municípios.

No teste para indicar a presença de níquel (Ni), os indivíduos provenientes do município do Rio de Janeiro e Paracambi obtiveram resultados positivos (Tabela 4 e Figura 18). A presença de níquel indicou maior exposição dos indivíduos a fontes de contaminação associadas às atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis, emissões veiculares, o descarte irregular de baterias, geração de resíduos urbanos e industriais, além de processos como a fabricação de aço inoxidável (Pacheco, 2015; Santana, 2021). Sendo assim, a detecção do níquel, mesmo em um número reduzido de indivíduos, reforça o potencial da espécie analisada como bioindicadora ambiental, visto que são capazes de indicar a presença de contaminante no ambiente em que estão inseridas. Jáuregui *et al.* (2015), ao avaliarem a casca de *Prosopis laevigata*, espécie pertencente à mesma família do sombreiro, Fabaceae, como bioindicadora de contaminação por metais pesados, registraram elevadas concentrações de níquel (Ni) nos tecidos analisados, evidenciando o potencial dessa família botânica para retenção e acúmulo desse elemento em ambientes sujeitos à poluição atmosférica.

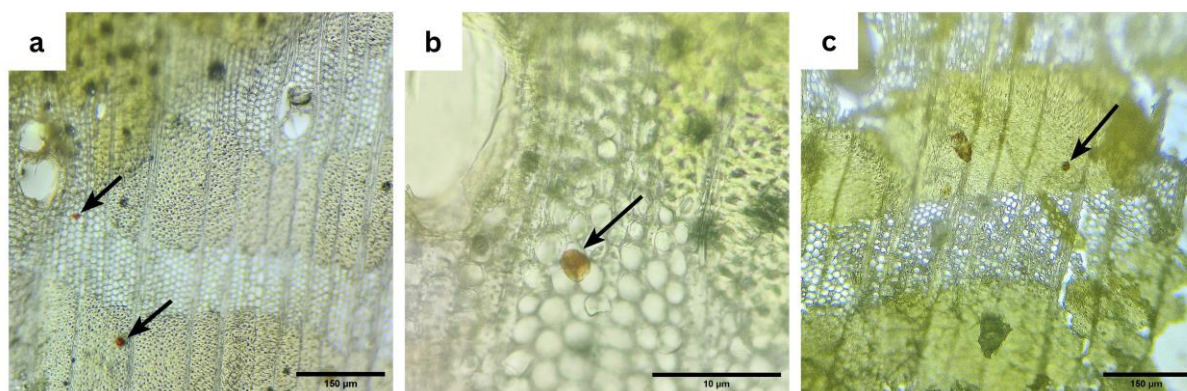


Figura 18. Reação histoquímica de níquel em madeira de sombreiro. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (c) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 10x.

Tabela 4. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de níquel na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próximo ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	1	-	-	-
	2	-	+	+
	3	-	+	+
	4	-	-	-
Paracambi				
AMOSTRAS	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	+	+

Legenda: (+) positivo e (-) negativo.

Além disso, análise do teste evidenciou que a distribuição do níquel ao longo do perfil radial das madeiras obteve uma maior frequência de reações positivas nas regiões intermediária e próxima ao câmbio, tanto para o município do Rio de Janeiro quanto para Paracambi (Tabela 4 e Figura 18). Assim, a maior ocorrência do metal nessas regiões sugere a deposição mais recente desse elemento no ambiente.

Observou-se que a presença do metal esteve associada às estruturas anatômicas específicas, como as células de parênquima, tanto no Rio de Janeiro quanto em Paracambi. De acordo com Taiz e Zeiger (2017), células de parênquima apresentam elevada atividade metabólica e capacidade de armazenamento, podendo atuar como compartimentos de acúmulo de diferentes substâncias. Sendo assim, a ocorrência de metais nesses tecidos pode estar relacionada à sua função fisiológica e à dinâmica de distribuição interna dos elementos na planta.

Segundo Mohamed (2025), a distribuição de metais em plantas é influenciada por fatores como mobilidade dos elementos, características da espécie e condições ambientais, não ocorrendo de maneira uniforme nos tecidos vegetais. Além disso, Chagas (2013) destaca que, em ambientes urbanos, a deposição atmosférica representa um importante via de entrada de

metais nas plantas, contribuindo para o acúmulo desses elementos principalmente em regiões mais externas dos tecidos.

Em relação ao teste de zinco (Zn), não foram observadas reações positivas em nenhum dos indivíduos analisados, tanto no município do Rio de Janeiro quanto em Paracambi (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de zinco na madeira de sombreiro, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próxima ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-
Paracambi				
AMOSTRAS	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	-	-

Legenda: (-) negativo.

A mobilidade do zinco nos tecidos vegetais pode influenciar sua distribuição. Segundo Prolo Junior, Paixão e Virgílio (2024), esse elemento está majoritariamente concentrado nas raízes. Esse comportamento pode contribuir para a menor acumulação no lenho, uma vez que parte significativa do elemento permanece retida em órgãos subterrâneos. Dessa forma, mesmo quando presente no ambiente, o elemento pode não se acumular em níveis detectáveis na madeira, especialmente quando comparado a metais, como chumbo e cádmio.

O zinco é um micronutriente essencial para as plantas, participando de diversos processos metabólicos, que controlam sua absorção, transporte e armazenamento (Pacheco, 2015). De acordo com Taiz e Zeiger (2017), nutrientes essenciais tendem a ser regulados pelas plantas, evitando acúmulo excessivo em determinados tecidos. Outro fator relevante está relacionado à sensibilidade dos testes histoquímicos, que podem não detectar concentrações muito baixas do elemento, diferentemente de técnicas analíticas mais sensíveis, como espectrometria.

4.2.2 Pata-de-vaca

Os testes histoquímicos realizados na madeira de indivíduos de pata-de-vaca também permitiram identificar a presença de determinados metais nas amostras coletadas nos municípios de Paracambi e Rio de Janeiro (Figura 19, 20, 21).

A detecção de chumbo (Pb) e/ou cádmio (Cd) foi registrada em indivíduos provenientes tanto do município do Rio de Janeiro quanto de Paracambi, evidenciando a presença desses metais na espécie analisada (Figura 19). No entanto, observou-se maior frequência de resultados positivos nos indivíduos do Rio de Janeiro, sugerindo uma maior exposição desses metais no ambiente (Tabela 6). Souza *et al.* (2019), ao determinarem as concentrações de metais pesados na casca de *Poincianella pluviosa* registraram a presença de chumbo (Pb) e cádmio (Cd) nos

tecidos analisados. Esses estudos reforçam o potencial das espécies da família Fabaceae na retenção de metais.

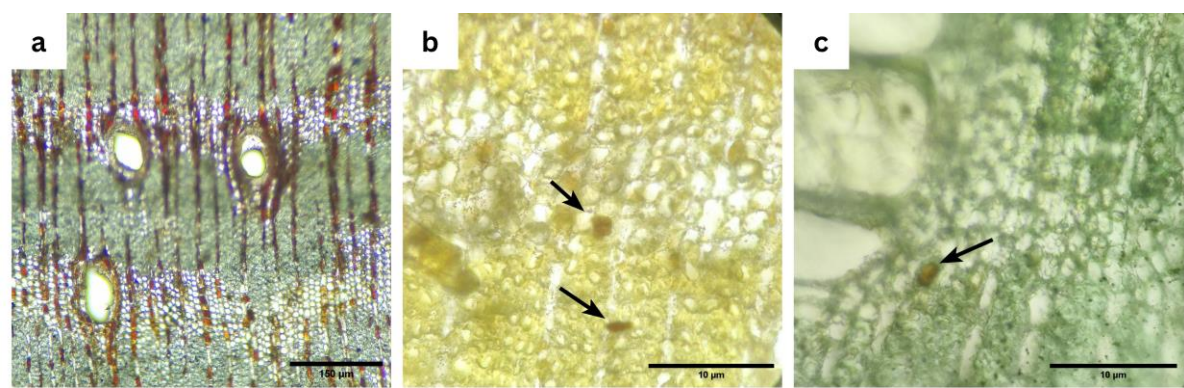


Figura 19. Reação histoquímica de chumbo e/ou cádmio em madeira de pata-de-vaca. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (c) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 100x.

Tabela 6. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de cádmio e/ou chumbo na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próxima ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	5	+	+	+
	6	-	-	-
	7	-	+	+
	8	-	+	+
Paracambi				
AMOSTRAS	5	-	-	-
	6	+	-	-
	7	-	-	-

Legenda: (+) positivo e (-) negativo.

A elevada ocorrência de chumbo (Pb) e/ou cádmio (Cd) nos indivíduos provenientes do Rio de Janeiro pode estar relacionada ao intenso processo de urbanização e ao aumento das atividades antrópicas, incluindo emissões veiculares, atividades industriais, combustão de combustíveis fósseis e deposição atmosférica de partículas (Moreira, 2010; Andrade, 2023). Esses elementos são frequentemente associados a tais fontes de contaminação, sendo amplamente empregados como indicadores de poluição em ambientes urbanos. Dessa forma, os resultados sugeriram que o ambiente urbano do Rio de Janeiro apresenta maior nível de contaminação desses metais pesados em comparação a Paracambi.

A distribuição dos metais chumbo (Pb) e/ou cádmio (Cd) ao longo do perfil radial da madeira, sugere a incorporação desses elementos ao longo do desenvolvimento da planta. Nos indivíduos provenientes do Rio de Janeiro, observou-se a presença desses metais tanto na região da medula, correspondente à porção mais antiga da madeira, quanto nas regiões próximas ao

câmbio, associadas aos tecidos mais recentes. Esse padrão de distribuição pode indicar exposição contínua ou recorrente da planta a esses elementos ao longo do tempo (Tabela 6).

Além disso, observou-se que a marcação histoquímica ocorreu predominantemente associada aos raios da madeira, (Figura 19a). Esse padrão reforça o papel dessas estruturas no transporte radial e no acúmulo de substâncias, favorecendo a retenção de metais nesses tecidos (Hoadley, 1990).

Em relação a Paracambi, a detecção dos metais chumbo (Pb) e/ou cádmio (Cd) limitou-se à região da medula, associada ao parênquima axial (Figura 19c). Esse padrão distinto de distribuição sugere uma exposição mais antiga a esses metais, enquanto a sua localização no parênquima reforça o papel desse tecido no armazenamento de substâncias, incluindo metais (Hoadley, 1990).

Em relação ao estrôncio (Sr), apenas um indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro apresentou resultado positivo, embora a marcação observada tenha sido fraca, o que sugere baixa concentração do elemento na amostra (Figura 20). Ainda assim, sua ocorrência evidencia a presença desse metal no ambiente urbano, que para alguns autores pode estar correlacionada com a queima de combustíveis fósseis e de resíduos sólidos urbanos (Moyen, Roblin, 2010; Machado *et al.*, 2018). Fleck *et al.* (2013), utilizando cascas de outra espécie do gênero *Bauhinia* no monitoramento de metais pesados em áreas urbanas, identificaram a ocorrência de estrôncio (Sr) nos tecidos analisados, evidenciando a capacidade desse gênero em acumular elementos associados à poluição atmosférica de origem antrópica.

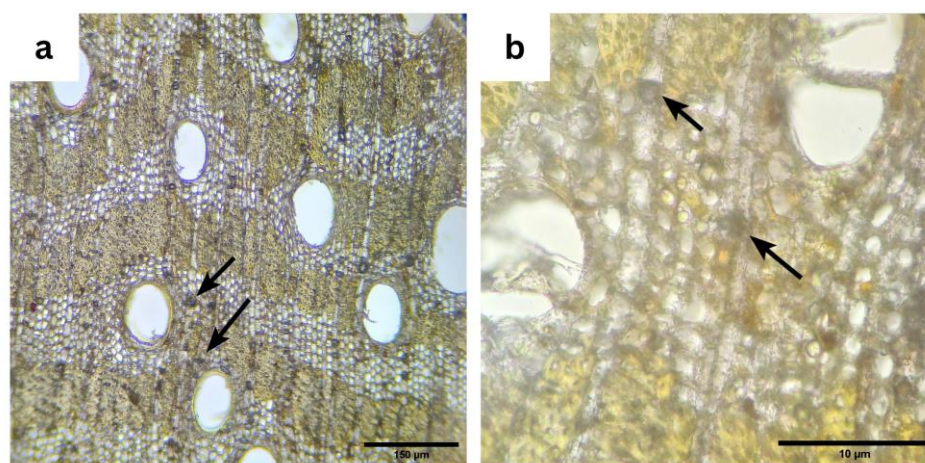


Figura 20. Reação histoquímica de estrôncio em madeira de pata-de-vaca. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x.

Conforme apresentado na Tabela 7, o indivíduo proveniente do Rio de Janeiro apresentou reação positiva apenas na região próxima ao câmbio, indicando possível deposição recente, embora em baixa intensidade. Além disso, a marcação histoquímica foi observada apenas no parênquima axial (Figura 20a e 20b).

Tabela 7. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de estrôncio na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próxima ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	5	-	-	-
	6	-	-	-
	7	-	-	+
	8	-	-	-
Paracambi				
AMOSTRAS	5	-	-	-
	6	-	-	-
	7	-	-	-

Legenda: (+) positivo e (-) negativo.

Em Paracambi, nenhum dos indivíduos analisados apresentou detecção de estrôncio, sugerindo que o elemento esteja ausente no ambiente ou presente em concentrações inferiores ao limite de detecção do método histoquímico utilizado. Dessa forma, os resultados indicaram que a pata-de-vaca possui potencial limitado como bioindicadora de estrôncio, especialmente em ambientes caracterizados por menores níveis de poluição.

A detecção de níquel (Ni) na espécie de pata-de-vaca apresentou reações positivas, tanto no município do Rio de Janeiro quanto em Paracambi (Tabela 8 e Figura 21). Logo, indica ampla ocorrência desse elemento nos ambientes estudados, sugerindo sua presença disseminada, independentemente do grau de urbanização. Sedano *et al.* (2023), ao investigarem a presença de metais pesados na casca de quatro espécies arbóreas, identificaram níquel em *Senna multiglandulosa*, espécie pertencente à família Fabaceae. O estudo de Fleck *et al.* (2013), utilizando cascas de outra espécie do gênero *Bauhinia* no monitoramento de metais em áreas urbanas, registrou a presença de níquel nos tecidos analisados.

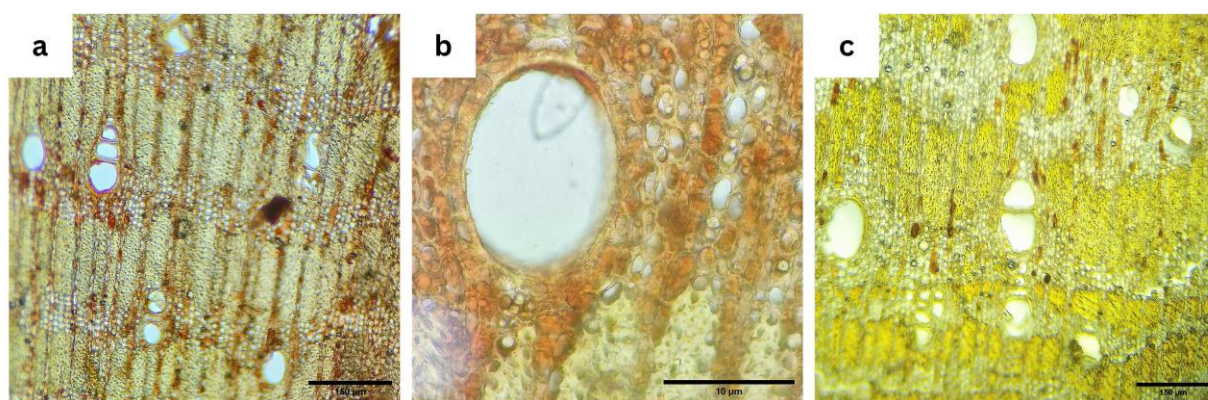


Figura 21. Reação histoquímica níquel em madeira em pata-de-vaca. (a) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 10x; (b) indivíduo proveniente do município do Rio de Janeiro em 100x; (c) indivíduo proveniente do município de Paracambi em 10x.

Tabela 8. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de níquel na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próxima ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	5	-	+	+
	6	+	+	-
	7	+	+	+
	8	+	+	+
Paracambi				
AMOSTRAS	5	-	+	+
	6	-	+	+
	7	+	-	-

Legenda: (+) positivo e (-) negativo.

A elevada ocorrência de níquel (Ni) nos indivíduos provenientes do Rio de Janeiro e de Paracambi pode estar relacionada à múltiplas fontes de emissão, como atividades industriais, queima de combustíveis e deposição de partículas metálicas no ambiente, além da possível contribuição de fontes naturais presentes no solo (Pacheco, 2015; Santana, 2021). Nos indivíduos provenientes do Rio de Janeiro e de Paracambi, observou-se a presença desses metais tanto na região próxima à medula, correspondente à porção mais antiga da madeira, quanto nas regiões próximas ao câmbio, associadas aos tecidos mais recentes. Essa ampla distribuição pode ser influenciada por fatores como disponibilidade no ambiente, condições do solo e características fisiológicas das plantas.

Já em relação ao teste para detecção de zinco (Zn), não foram observadas reações positivas em nenhum dos indivíduos analisados, tanto no município do Rio de Janeiro quanto em Paracambi (Tabela 9).

Tabela 9. Resultados dos testes histoquímicos para detecção de zinco na madeira de pata-de-vaca, no município do Rio de Janeiro e de Paracambi.

		Próxima à medula	Intermediário	Próxima ao câmbio
Rio de Janeiro				
AMOSTRAS	5	-	-	-
	6	-	-	-
	7	-	-	-
	8	-	-	-
Paracambi				
AMOSTRAS	5	-	-	-
	6	-	-	-
	7	-	-	-

Legenda: (+) positivo e (-) negativo.

A distribuição do zinco nos tecidos vegetais pode ser influenciada pela sua mobilidade na planta. De acordo com Prolo Junior, Paixão e Virgílio (2024), esse elemento apresenta maior concentração nas raízes, o que pode explicar sua menor acumulação no lenho, já que parte significativa do metal tende a permanecer retida nos órgãos subterrâneos. Dessa forma, mesmo quando presente no ambiente, o elemento pode não se acumular na madeira em concentrações detectáveis, especialmente quando comparado a metais como chumbo e cádmio.

Entretanto, a ausência de reação positiva para zinco neste estudo não implica necessariamente a inexistência desse elemento no ambiente, mas indica que suas concentrações podem estar abaixo do limite de detecção do método empregado ou sendo controladas fisiologicamente pela espécie analisada. Esse resultado ressalta a importância de considerar o comportamento específico de cada elemento na interpretação de estudos de bioindicação, bem como a necessidade da utilização de métodos mais específicos para sua detecção.

5. CONCLUSÕES

- A madeira mostrou-se uma matriz complementar relevante para a avaliação da retenção de metais em áreas urbanas.
- As análises histoquímicas evidenciaram a presença de metais pesados, especialmente cádmio, chumbo e níquel, nas amostras analisadas, com distribuição variável entre as espécies.
- A ausência de zinco nas análises sugere concentrações abaixo do limite de detecção do método ou baixa disponibilidade do elemento nas áreas estudadas
- O município do Rio de Janeiro apresentou maior ocorrência e intensidade de metais quando comparado a Paracambi, evidenciando um ambiente mais poluído e sujeito à maior pressão antrópica.
- De modo geral, as espécies estudadas demonstraram ser promissoras para o monitoramento da qualidade ambiental, podendo, inclusive, ser priorizadas em projetos de arborização urbana, especialmente em áreas sujeitas à poluição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKES, M. A. **Avaliação de metais em material particulado MP10 na fronteira Brasil-Paraguai (Ponte da amizade)**. 2019. 113p. Tese (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

ALI, H.; KHAN, E. Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. **Environmental Chemistry Letters**, v. 16, p. 903-917, 2019.

ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA, U. R.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; CANETTI, A. **Arborização urbana no semiárido: espécies potenciais na Caatinga**. Embrapa Florestal: Colombo, PR, 2012.

ALVES, R. H. L.; JARDIM, I. N.; HAMADA, M. O. S. Uso de espécies da arborização urbana com potencial bioindicadoras de poluentes metálicos. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 7, n. 1, p. 67-80, 2025.

ANDRADE, J. L. S. **Contribuição de silício e micorrizas arbusculares para atenuação da toxidez por cádmio em *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.** 2023. 82p. Tese (Mestrado em Ciências do solo) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

ANJITHA, K. S.; PUTHUR, J. T.; DHANKHER, O. P. Plant cell wall remodeling under toxic metal stress: structural adaptation and functional implications. **Environmental Science & Technology**, v. 59, n. 40, p. 21386-21400, 2025.

ANNEGOWDA, H. V.; BHAT, R.; TZE, L. M.; KARIM, A. A.; MANSOR, S. M. The free radical scavenging and antioxidant activities of pod and seed extract of *Clitoria fairchildiana* (Howard)- an underutilized legume. **J Food Sci Technol**, v. 50, n. 3, p 535-41, 2011.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelo y Planta**, v. 2, n. 2, p.345-361, 1992.

BASSO, J. M.; CORRÊA, R. S. Arborização urbana e qualificação da paisagem. **Paisagem e Ambiente: Ensaio**, n. 34, p. 129-148, 2014.

BAWA, U.; AHMAD, A.; AHMAD, J. N.; EZRA, A. G. Assessment of health risks from consumption of food crops fumigated with metal based pesticides in Gwadam, Gombe State, Nigeria. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 14, n. 1, p.100-110, 2021.

BELLIS, D. J.; KENICHI, S.; NODA, M.; NISHIMURA, N.; CAMERON, W. M. Evaluation of the historical records of lead pollution in the annual growth rings and bark pockets of a 250-year-old *Quercus crispula* in Nikko, Japan. **Science of the Total Environment**, v. 295, n. 1-3, p. 91-100, 2002.

BERNARDINO, D. C. A. M.; MADEIRA, C. S. P.; NOGUEIRA, F. A. M.; PINNA, F. V.; SOUZA, H. P.; POÇA, K. S.; MELLO, M. S. C.; ACCIOLY, M. T. S.; OTERO, U. B. **Metais pesados, câncer e risco ambiental**. Instituto Nacional de Câncer / Ministério da Saúde, 2024. 22p.

BERTONCELI, M. A. A.; OLIVEIRA, A. E. A.; PASSOS, M. S.; VIEIRA, I. J. C.; BRAZ-FILHO, R.; LEMOS, F. J. A.; MARTINS, B. X.; FAÇANHA, A. R.; PIREDAS, S.; CUNHA, M.; FERNANDES, K. V. S. Rotenoids from *Clitoria fairchildiana* R. Howard (Fabaceae) seeds affect the cellular metabolism of larvae of *Aedes aegypti* L. (Culicidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v 186, art. 105167, 2022.

BÉZ, D.; PINO, J. A.; MORALES, D. Scent Composition in Sonme Cuban Flowers: *Clitoria fairchildiana* R.A. Hward, *Brunfelsia nitida* Benth. and *Crinum oliganthum* Urban. **Journal of essential oil-bearing plants**, v. 14, n.4, p. 383-386, 2011.

BRAGA, I. F. **Presença de metais pesados em área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Indinópolis-MG**. 2022. 42p. Tese (Mestrado em Processos Ambientais) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

BRIFFA, J.; SINAGRA, E.; BLUNDELL, R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. **Heliyon**, v. 6, n. 9, 2020.

BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. **Mikrokosmos**, v. 61, n. 8, p. 255, 1972.

BURAKOV, A. E. GALUNIN, E. V.; BURAKOVA, I. V.; KUCHEROVA, A. E.; AGARWAL, S.; TKACHEV, A. G.; GUPTA, V. K. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 148, p. 702-712, 2018.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991, 160p.

CAMERON, K. S.; BUCHNER, V.; TCHOUNWOU, P. B. Exploring the Molecular Mechanisms of Nickel-Induced Genotoxicity and Carcinogenicity: A Literature Review. **Rev Environ Health**, v. 26, n. 2, p. 81-92, 2011.

CARDOSO, K. M.; PAULA, A.; SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P. Uso de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de poluição ambiental. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 535-547, 2017.

CARVALHO, C. A.; ORTEGA, G. P.; AMARO, M. A.; SILVA, J. B.; ALVES, C. Z. Caracterização da curva de absorção de água e germinação de sementes de *Clitoria fairchildiana* R. A. Howard. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 13, p. 01-19, 2024.

CARVALHO, P. E. R. Pata-de-vaca: *Bauhinia forficata*. In: **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa, Brasília-DF, v. 1. p. 711-716, 2003.

CARVALHO, W.; CANILHA, L.; FERRAZ, A.; MILAGRES, A. M. F. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, v. 32, n. 8; p. 2191-2195, 2009.

CHAGAS, M. P. **Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo.** 2013. 159p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, 2013.

CHAVES, E. V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de planta *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata*.** 2008. 100p. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

CLEMENS, S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. **Planta**, n. 212, p. 475-486, 2001.

COCOZZA, C.; RAVERA, S.; CHERUBINI, P.; LOMBARDI, F.; MARCHETTI, M.; TOGNETTI, R. Integrated biomonitoring of airborne pollutants over space and time using tree rings, bark, leaves and epiphytic lichens. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 17, p. 177-191, 2016.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. **Padrões de qualidade do ar**, 2018.

CONCEIÇÃO, H. E. O.; PINTO, J. E. B. P.; VIÉGAS, I. J. M.; FRAZÃO, D. A. C.; QUADROS, B. R.; RIPARDO, A. K. S. Nutrição mineral e detecção de rotenóides durante a manutenção de calos de timbó vermelho. **Revista Ciências Agrárias**, n. 45, p. 205-214, 2006.

CORREIRA, L. O. **Bioacumulação de Ni²⁺ e Pb²⁺ em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e cenoura (*Daucus carota* L.), seus riscos à saúde humana e implicações agroambientais.** 2017. 188p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, 2017.

COSTA, C. N., MEURER, E. J., BISSANI, C. A., TEDESCO, M. J. Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos. **Ciência Rural**. v. 37, n. 5, p. 1323-1328, 2007.

COSTA, V. B. S. **Biomonitoramento da arborização em áreas urbanas: caracteres vegetais como indicadores de poluição atmosférica.** 2018. 121p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

CRUZ, E. D. **Germinação de sementes de espécies amazônicas: palheteira (*Clitoria fairchildiana* R. A. Howard).** Embrapa Amazônia Oriental, 2019.

CUNNINGHAM, S. D.; OW, D. W. Promises and prospects of phytoremediation. **Plant physiology**, v. 110, n. 3, p. 715-719, 1996.

CUYPERS, A.; REMANS, T.; WEYENS, N.; COLPAERT, J.; VASSILEV, A.; VANGRONSVELD, J. Soil-plant relationships of heavy metals and metalloids. **Environmental Pollution**, v. 22, p. 161-193, 2012.

DEECKEN, B. P.; ANDRADE, E.; COSTA, C. A.; ANDRADE, R. L. T.; BATTIROLA, L. D. Arborização urbana como bioindicadora de poluição atmosférica por mercúrio: um estudo de caso com *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae) na região sul da Amazônia. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022.

DUFFUS, J. H. “Heavy metals” – a meaningless term. **Chemistry International Newsmagazine for IUPAC**, v. 23, n. 6, p. 163-167, 2002.

EDELSTEINS, M.; BENIN-HUR, M. Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**. v. 234, p. 431-444, 2018.

FÁTIMA, M. **Estudo dos impactos ambientais da interação da rede de distribuição de energia elétrica com a arborização urbana nos municípios da Região Metropolitana do Recife**. 2005. 176p. Tese (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Univerisade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

FIGUEREDO, A. S. **Prospecção da ação leishmanicida de inibidores de proteases extraídas de *Bauhinia forficata* Link**. 2021. 112p. Tese (Mestrado em Saúde do Adulto) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

FLECK, A. S.; CARNEIRO, M. F. H.; BARBOSA JR, F.; AMANTEA, S. L.; RHODEN, C. R. The use of tree barks and human fingernails for monitoring metal levels in urban areas of different population densities of Porto Alegre, Brazil. **Environmental Science and Pollution Reserch**, v. 24, p. 2433-2441, 2017.

GEROLAMO, C. S. Transporte de água em plantas: da anatomia as funções do xilema. In: MONTEIRO, S. S.; LÍRIO, E. J.; LOPES, A. S.; AMARAL, F. P. M.; ESPOSITO, M. P.; FURLAN, C. M. (org.). **Botânica no inverno 2021**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2021, 233p.

HOACLEY, R. B. **Identifying wood:** accurate results with simple tools. The Taunton Press, 1990.

IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p. 219-332. 1989.

IBGE. **Cidades e Estados 2022**. Paracambi: IBGE, 2024.

IBGE. **Cidades e Estados 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

JARDIM, W. S.; CARDOSO, K. M.; DE JESUS, C. P. Caracterização e utilização de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de material particulado. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, 2021.

JÁUREGUI, J. A.; ORTÍZ, J. C. R.; MONTOYA, A. H.; FLORES, P. E. D.; FILIPPINI, M. F.; CARRETERO, E. M. Cortezas de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) y *Schinus molle* (Anacardiaceae) como bioindicadoras de contaminación por metales pesados. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo**, v. 47, n. 2, p. 83-95, 2015.

KLINGENBERG, D. **Caracterização da madeira da arborização urbana visando sua valorização em produtos com maior valor agregado**. 2022. 97p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. 4ª ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 320p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOMENO, B. K. M. **Absorção de metais pesados por macrófitas em unidades *Wetlands***. 2023. 98p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

LIRA, C. F.; NASCIMENTO, J. W. A.; SILVA, M. G. M.; ARAÚJO, L. C.; SEIXAS, K. B. Atividade biológica e perfil químico relatados para espécie *Bauhinia forficata*. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, 2022.

LISBOA, A. K. M. **A importância da resistência da madeira de espécies arbóreas usadas na arborização urbana–revisão**. 2023. 62p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2023.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: Platarum, 2008. 384p.

LOCOSSELLI, G. M. CHACÓN-MADRID, C.; ARRUDA, M. A. Z.; CAMARGO, E. P.; MOREIRA, T. C. L.; ANDRÉ, C. D. S.; ANDRÉ, P. A.; SINGER, J. M.; SALDIVA, P. H. N.; BUCKERIDGE, M. S. Tree rings reveal the reduction of Cd, Cu, Ni and Pb pollution in the central region of São Paulo, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 320-328, 2018.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352p.

LUNZ, A. M.; CARVALHO, A. G.; JORGE, A. C.; CARVALHO, M. G.; GOMES, M. S. R. Prospeção fitoquímica de três leguminosas e associação com incidência de coleópteros xilófagos. **Floresta e Ambiente**, v. 14, n.1, p. 06 - 13, 2007.

MACIEL, C. G.; TORRES, A. Sanidade de sementes e patogenicidade de *Fusarium* sp. em *Bauhinia forficata* Link. **Revista do Instituto Florestal**, v. 35, n. 1, p. 92-98, 2023.

MACHADO, L. C.; COSTA, C. C.; TAROUCO, C. P.; MILANESI, G. D.; NICOLOSO, F. T. Efeito do estrôncio na concentração de clorofilas e carotenoides de *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen. **Anais 10º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE)** - Universidade Federal do Pampa, 2018.

MARAFELI, E. A. M.; OLIVEIRA, J. A. C.; GAVILANES, M. L. Determinação da área foliar de *Bauhinia forficata* por modelos matemáticos. **Scientia Naturalis**, v. 6, n. 2, p. 768-778, 2024.

MARQUES JÚNIOR, H.; SILVA, M. V. A.; FERREIRA, N. C. A arborização urbana e os planos de arborização: desafios para o planejamento urbano. **Revista UniAraguaia**, v. 20, n. 3, p. 209-224, 2025.

MARTINS, A. P. G. **Cascas de árvores como biomonitoradores da poluição atmosférica de origem veicular em parques urbanos da cidade de São Paulo**. 2009. 110p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, 2009.

MILANO, M. S.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light. 1. Ed. Rio de Janeiro: Light, 2000.

MOHAMED, H. I.; ULLAH, I.; TOOR, M. D.; TANVEER, N. A.; DIN, M. M. U.; BASIT, A.; SULTAN, Y.; MUHAMMAD, M.; REHMAN, M. U. Heavy metals toxicity in plants: Understanding mechanisms and developing coping strategies for remediation: A review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 12, n. 1, p. 95, 2025.

MOREIRA, A.; SALVADOR, J. O.; MORAES, L. A. C. **Manual prático de agronomia**. 1. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2024.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 9, n. 1, p. 167-181, 2004.

MOREIRA, T. C. L. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Interação da vegetação arbórea e a poluição atmosférica na cidade de São Paulo**. 2010. 80p. Tese (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MOYEN, C.; ROBLIN, G. Uptake and translocation of strontium in hydroponically grown maize plants, and subsequent effects on tissue ion content, growth and chlorophyll a/b ratio: comparison with Ca effects. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 3, p. 247-257, 2010.

MULENGA, C.; PHIRI, D. ORTEGA-RODRIGUEZ, D. R.; MEINCKEN, M. Bioaccumulation of potentially toxic elements by indigenous and exotic trees growing around a copper leaching plant in Mufulira, Zambia. **Environmental Systems Research**, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2023

NEGRÃO J. C. F. *et al.* Estudo fitoquímico da planta *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard (Palheteira/Sombreiro). **Arigó - Revista do Grupo PET e Acadêmicos de Geografia da UFAC**, v. 3, n. 2, 2021.

NETO, T. C. C. **Sensibilidade da espécie *Terminalia catappa* L. desenvolvida em ambiente urbano de intensa atividade siderúrgica**. 2022. 71p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2022.

NOVAES, D. S; BRUN, E. J.; BRUN, F. G. K. Compactação do solo em uma área livre com árvores urbanas em solos argilosos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 2, 2021.

OLIVEIRA, E. M. **Avaliações não destrutivas para o monitoramento de madeiras submetidas a fungos apodrecedores**. 2016. 142p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Diretrizes de qualidade do ar: atualização global 2021**. 2021.

- PACHECO, J. M. A. S. **Concentração de metais pesados em espécies hortícolas em agricultura urbana**. 2015. 72p. Tese (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.
- PALSIKOWSKI, P. A. **Avaliação de métodos de extração de compostos bioativos das folhas de Pata de vaca (*Bauhinia forficata* subespécie *pruinosa*)**. 2020. 175p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2020.
- PAULINO, A. S. S. **Síntese de óxido de cobre II mediado pelo extrato da biomassa - *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard empregando os sais precursores nitrato, sulfato e cloreto**. 2022. 85p. Tese (Mestrado em Química) - Universidade do Estado da Bahia, Salvador, 2022.
- PINHEIRO, T. S. D. B.; JOHANSSON, L. A. P.; PIZZOLATTI, M. G.; BIAVATTI, M. W. Comparative assessment of kaempferitrin from medicinal extracts of *Bauhinia forficata* Link **Journal of Pharmaceutical and Biomedica Analysis**, v. 41, n. 2, p. 431-436, 2006.
- PIZZOLATTI, M. G.; CUNHA-JUNIOR, A. SZPOGANICZ, B.; SOUZA, E.; BRAZ-FILHO, R.; SCHRIPSEMA, J. Flavonóides glicosilado das folhas e flores de *Bauhinia forficata* (Leguminosae). **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 466-469, 2003.
- PROLO JÚNIOR, S. L.; PAIXÃO, H. C. S.; VIRGÍLIO, L. R. (org.). **Ciência e Tecnologia: Pesquisas Interdisciplinares no Brasil**. Acre: Stricto Sensu, 2024.
- RABELLO, R. J. M. M.; **Espécies nativas adequadas à arborização de uma cidade no ecótono Cerrado-Pantanal: seleção baseada em atributos morfológicos e serviços ecossistêmicos**. 2023. 40p. Tese (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2023.
- RIO DE JANEIRO (Cidade). Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. **Plano de Diretor de Arborização Urbana da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2015, 448p.
- RIO DE JANEIRO (Cidade). Secretaria Municipal de Urbanismo do Rio de Janeiro. **Diagnóstico intersetorial integrado da cidade do Rio de Janeiro: relatório técnico**. 2018.
- ROCHA, A. G. F.; FERMINO, F. S. Percepção/Diagnóstico da arborização Urbana na cidade de Santana do Livramento/RS. **Conjecturas**, v. 22, 2022.

SANTANA, C. A. F. **Análise fitossanitária da *Libidibia ferrea* na arborização urbana do campus da UFRRJ**. 2018. 31p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

SANTANA, F. F. V. **Toxicologia do arsenato, arsenito, cádmio, chumbo, cromo e níquel em testículos de camundongos Swiss adultos após exposição crônica por via intraperitoneal**. 2021. 62p. Tese (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

SANTOS, D. S. **Metais pesados em áreas agrícolas e cerrado nativo no oeste da Bahia**. 2019. 103p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SANTOS, E. C.; MAIHARA, V. A.; GENEZINI, F. A.; SAIKI, M. A study on tree bark samples foratmospheric pollution monitoring. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 9, n. 1A, 2021.

SANTANA, N. A.; MORALES, C. A. S.; JACQUES, R. J. S. **Estratégias biológicas na fitorremediação do cobre**. 1 ed. Simplíssimo: Porto Alegre, 2019.

SANTOS, R. A. F. **Estudo fitoquímico e avaliação biológica dos flavonoides isolados de *Clitoria fairchildiana* R. A. Howard**. 2014. 137p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SCHARNWEBER, T.; HEVIA, A.; BURAS, A.; MAATEN, E.; WILMKING, M. Common trends in elements? Within-and between-tree variations of wood-chemistry measured by X-ray fluorescence — a dendrochemical study. **Science of the Total Environment**, v. 566, p. 1245-1253, 2016.

SCHMIDT, W. **Materiais elétricos**, v.1 : Condutores e semicondutores. 3 ed. Editora : Edgar Blucher Ltda. : São Paulo, 2010.

SEDANO, N. M. B.; VALVERDE, A. J. S.; CHIRI, A. J. G.; HINOSTROZA, S. D. C. Tree Bark as a Bioindicator of Atmospheric Contamination by Heavy Metals According to Vehicular Traffic Intensity in El Tambo, Huancayo, Peru. *In: International Conference on Advances in Environment Research*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 3-17.

SEREGIN, I. V.; KOZHEVNIKOVA, A. D. Histochemical methods for detection of heavy metals and strontium in the tissues of higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, p. 721-727, 2011.

SILVA, B. M. S.; MÔRO, F. V. Aspectos morfológicos do fruto, da semente e desenvolvimento pós-seminal de Faveira (*Clitoria fairchildiana* R. A. Howard. - Fabaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 195-201, 2008.

SILVA, B. M. S.; SANTOS, I. M. B.; ARAÚJO, P. A. A.; SOARES, R. N.; SILVA, C. O. Emergência de plântulas de Faveira (*Clitoria fairchildiana* R. A. Howard) em diferentes substratos. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (PR), v. 10, n. 2, p. 555-566, 2017.

SILVA, K. L.; BIAVATTI, M. W.; LEITE, S. N.; YUNES, R. A.; MONACHE, F. D.; FILHO, V. C. Phytochemical and Pharmacognostic Investigation of *Bauhinia forficata* Link (Leguminosae). **Zeitschrift für Naturforschung C**. v. 55, p. 478- 480, 2000.

SIMÕES, R. C. S.; ALMEIDA, S. S. M. S. Estudo fitoquímico de *Bauhinia forficata* (Fabaceae). **Biota Amazônica**, Macapá, v. 5, n. 1, p. 27-31, 2015.

SLIWINSKI, J. **Meta-análise dos metais pesados presentes no material particulado da atmosfera: uma perspectiva global**. 2022. 59p. Tese (Bacharel em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

SOUZA, M. S. D., SANTOS, F. S. D.; MAGALHÃES, L. M.; FREITAS, W. K. D.; GOIS, G. D.; OLIVEIRA, J. F. D. *Pluviosa* as biomonitor of heavy metals in the municipality of Volta Redonda, RJ, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 71-76, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. In: **Metabólitos secundários e defesa vegetal**. 4º ed. Porto Alegre: Artmed, p 342 - 372, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed., Porto Alegre: Artmed, 888p., 2017.

TROJAN-RODRIGUES, M; ALVES, T. L. S.; SOARES, G. L. G.; RITTER, M. R. Plants used as antidiabetics in popular medicine in Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 139, n. 1, p. 155-163, 2012.

TURKYILMAZ, A. SEVIK, H.; ISINKARALAR, K. CETIN, M. Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 5122-5130, 2019.

VASCONCELLOS, B. M. Arborização urbana: essencial para a qualidade de vida da população. *In*: GOÉS, M. B. (org.). **Pensando sustentável**: reflexões interdisciplinares para um futuro resiliente. Editora Científica Digital, 2024, p. 33-43.