

GRACIELE DAIANE DINIZ SOARES

**ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS FOLIARES EM TRÊS ESPÉCIES DE
MATA ATLÂNTICA EXPOSTAS À DEPOSIÇÃO PARTICULADA EM
CONGONHAS (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Luzimar Campos da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S676a
2023
Soares, Graciele Daiane Diniz, 1997-
Alterações morfoanatômicas foliares em três espécies de
Mata Atlântica expostas à deposição particulada em Congonhas
(MG) / Graciele Daiane Diniz Soares. – Viçosa, MG, 2023.
1 dissertação eletrônica (48 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Luzimar Campos da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Vegetal, 2023.
Referências bibliográficas: f. 30-34.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.622>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Croton urucurana* - Efeito da poluição do ar. 2. *Lithraea molleoides* - Efeito da poluição do ar. 3. *Luehea* - Efeito da poluição do ar. 4. Folhas - Anatomia - Efeito da poluição do ar. 5. Monitorização biológica. 6. Ferro - Minas e mineração - Congonhas (MG). I. Silva, Luzimar Campos da, 1971-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Botânica. III. Título.

CDD 22. ed. 583.69

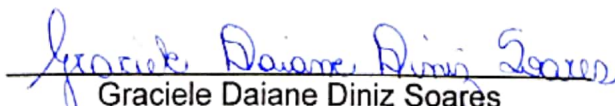
GRACIELE DAIANE DINIZ SOARES

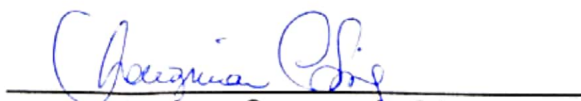
**ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS FOLIARES EM TRÊS ESPÉCIES DE
MATA ATLÂNTICA EXPOSTAS À DEPOSIÇÃO PARTICULADA EM
CONGONHAS-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de agosto de 2023.

Assentimento:


Graciele Daiane Diniz Soares
Autora


Luzimar Campos da Silva
Orientadora

Aos meus avós maternos (*in memoriam*)
Aos meus pais
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha maior e melhor companhia, por dar forças e ser meu melhor amigo nesta jornada.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Botânica por oferecerem a infraestrutura para que eu pudesse desenvolver minha pesquisa.

À CAPES pela concessão de bolsa e pelos seis meses de extensão, os quais foram fundamentais para que eu pudesse concluir o monitoramento. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Congonhas-MG pela recepção e todo o apoio.

Aos queridos Alex e Lara (*in memoriam*), proprietários do local onde parte do experimento foi realizado. Agradeço pela recepção, pela permissão e por todas as conversas, copos de água e pelo maravilhoso churrasco na última coleta do experimento.

Aos meus pais, José e Maria, que são o meu suporte e sempre apoiaram todas as minhas decisões. Agradeço com muito carinho à minha mãe, que fez dos meus sonhos os sonhos dela. Mãe, a senhora é a minha maior referência de amor, de fidelidade e de gratuidade, obrigada por tanto!

Aos meus avós maternos (*in memoriam*), que mesmo analfabetos sempre foram os maiores incentivadores da educação na nossa família. Vocês são exemplos para mim, e mesmo não estando presente fisicamente a muitos anos, a nossa foto na escrivaninha me faz lembrar todos os dias quem eu sou e o porquê estou aqui.

À minha irmã e ao meu cunhado por todo o carinho e apoio.

À minha família materna, por sempre me receberem em casa com muita alegria e festa. Por serem suporte emocional aos meus pais na minha ausência.

À minha orientadora, Luzimar, que me recebeu com muito carinho na pós-graduação. Sou eternamente grata pelas horas dedicadas a mim, pela disposição em me sanar dúvidas. É uma honra trabalhar ao seu lado e aprender com você todos os dias.

Ao meu grupo de pesquisa Adriana, Camila, Esneider, Franklin, Hugo, Luzimar e Michel, eu não consigo descrever o quanto aprendi com vocês nesta jornada. Obrigada pelas discussões, pelas contribuições, pelas inúmeras sugestões, por me deixarem aprender com o experimento de vocês e por sempre terem uma palavrinha de conforto no meio do meu desespero.

Aos meus colegas de trabalho e de grupo Hugo e Michel, sem vocês a minha jornada seria bem mais difícil. Obrigada Michel, por estar comigo em todas as fases da minha pesquisa, e por toda a ajuda e suporte. Obrigada Hugo, você foi um colega/amigo de trabalho incrível, obrigada por ir para a bancada comigo, por me ensinar coisas novas e sempre estar disposto a me ajudar e a me ouvir nos meus surtos. Nada que eu escreva seria o suficiente para agradecer tudo o que vocês dois já fizeram por mim.

Aos colegas Camila, Djalma, Hugo, Julia, Lhoraynne, Michel, Miller e Raylla que se disponibilizaram a ir para campo comigo e me auxiliaram nas coletas.

Aos estagiários Lucas e Gabriela que sempre estavam dispostos a me ajudar e cuidaram com muito carinho do meu material.

Aos bolsistas BICJr. que me acompanham alguns meses no laboratório. Mesmo sem saber vocês me ensinaram muito, nunca esquecerei a carinha de vocês quando aprenderam a usar o microscópio. Com vocês eu entendi na prática a importância de tornar a ciência acessível.

Às técnicas Aurora e Rosana por sempre estarem dispostas a me ajudar e por fazerem do laboratório um ambiente de trabalho agradabilíssimo.

Às professoras Aristeia e Renata, foi incrível aprender com vocês nas disciplinas.

Aos meus professores da graduação no IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho, por todo o incentivo e apoio. Vocês são fontes de inspiração para mim. Agradeço com muito carinho às professoras Karina e Priscila pelas aulas maravilhosas de botânica, que me fizeram apaixonar pela área.

Aos meus colegas de Laboratório, que se tornaram meus amigos com o passar dos dias. Vocês me mostraram que a pós-graduação pode ser leve e que as horas de trabalho na bancada podem ser divertidas. Obrigada Camila, por me apresentar o laboratório e por deixar eu aprender com o seu experimento. Obrigada Clara, por

dedicar parte do seu tempo para me ajudar, pelos bloquinhos cortados e pelas vezes que foi para a bancada comigo, você é exemplo de gratuidade. Obrigada Elienai, pelas horas incontáveis de conversas, pelos conselhos, pelos lanchinhos e por me ensinar tanto sobre o trabalho prático do anatomista. Obrigada Hugo, Letícia e Rafael por se dedicarem a cortar o meu material, sem vocês o meu teste histoquímico estaria arruinado. Obrigada Miller por me receber tão bem, por me dar dicas valiosíssimas, por deixar o seu trabalho muitas vezes para me acudir no desespero, principalmente agora na reta final. Obrigada Luís Henrique, por ser minha dupla botânica desde a graduação, por me incentivar a entrar no mestrado, pela parceria nas disciplinas e na vida.

Agradeço aos queridos amigos, jogadores de uno, Analú, Clara, Daniela, Danizete, Elienai, Giovana, Hugo, João, Letícia, Lucas, Luís Henrique, Miller, Victorina. Obrigada pelos rolês, partidas de uno pós-almoço, pelos cafés e pela amizade. É maravilhoso ter vocês para partilhar os dias aqui em Viçosa.

Aos membros da banca examinadora Dr. Daniel e Dr. Karina pelas contribuições.

RESUMO

SOARES, Graciele Daiane Diniz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2023. **Alterações morfoanatômicas foliares em três espécies de Mata Atlântica expostas à deposição particulada em Congonhas (MG)**. Orientadora: Luzimar Campos da Silva.

A Mata Atlântica é um bioma ameaçado pela grande destruição em virtude da intensa atividade antrópica de exploração e ocupação desordenada do ambiente. Parte do estado de Minas Gerais possui vegetação de Mata Atlântica, onde há intensa atividade minero-metalúrgica, a qual é responsável pela emissão de poluentes atmosféricos, dentre eles está o material particulado (MP). Pouco se sabe acerca do impacto da deposição particulada em plantas nativas do Brasil, porém, acredita-se que poluição atmosférica pode estar contribuindo para o declínio da Mata Atlântica. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar, através de biomonitoramento passivo, a responsividade de *Croton urucurana*, *Lithraea molleoides* e *Luehea* sp. expostas à constante poluição atmosférica emitida pela atividade minerária em uma cidade de Minas Gerais. O experimento de biomonitoramento ocorreu longo de um ano, em dois locais do município Congonhas – MG, sudeste do Brasil: Lobo Leite e Parque Ecológico da Cachoeira (PEC). Foram analisados parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar. Foram avaliados nas folhas das três espécies as alterações visuais, anatômicas e micromorfológicas. Foi realizada a quantificação do teor de ferro nas folhas e a histolocalização deste metal foi realizada através de teste histoquímico. Análises químicas de solo também foram realizadas. A avaliação dos parâmetros de qualidade do ar indicou os altos índices de partículas totais em suspensão e de partículas inaláveis em Lobo Leite. A quantificação mostrou que as três espécies estudadas tinham alto teor de ferro nas folhas e através da histoquímica foi possível observar presença deste metal nos tecidos foliares. *Croton urucurana* apresentou danos apenas nos indivíduos localizados em Lobo Leite. Foi observado retenção de MP, acompanhado de lesões nos tricomas e erosão de cera epicuticular. Também se observou colapso epidérmico e colapso de células parenquimáticas do mesófilo e da nervura central. Foram observados danos em plantas da espécie *Lithraea molleoides* localizadas em Lobo Leite e no PEC. A abrasão do material particulado ocasionou descamação da cera epicuticular, perda de turgidez na crista estomática e obliteração de estômatos. Houve hipertrofia de células parenquimáticas, colapso de células epidérmicas e subepidérmicas com formação de tecido de cicatrização. Também foi observado

colapso do canal secretor. Foram observados danos em plantas da espécie *Luehea* sp. nos dois locais de monitoramento. Foi observado quebra e perda de turgidez de tricomas da epiderme e de células parenquimáticas, com formação de muitos espaços intercelulares. Pode-se concluir que os altos índices de poluentes atmosféricos em Congonhas são capazes de causar danos na vegetação nativa em ambos os locais de monitoramento, sendo Lobo Leite o local que apresenta um maior número de danos.

Palavras-chave: Biomonitoramento passivo. *Croton urucurana*. Danos anatômicos. Ferro. *Lithraea molleoides*. *Luehea* sp. Material particulado.

ABSTRACT

SOARES, Graciele Daiane Diniz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2023. **Leaf morphoanatomical changes in three Atlantic Forest species exposed to particulate deposition in Congonhas (MG)**. Adviser: Luzimar Campos da Silva.

The Atlantic Forest is a biome threatened by great destruction due to intense human activity of exploration and disordered occupation of the environment. Part of the state of Minas Gerais has Atlantic Forest vegetation, where there is intense mining and metallurgical activity, which is responsible for the emission of atmospheric pollution, including particulate matter (PM). Little is known about the impact of particulate deposition on native plants in Brazil, however, it is believed that atmospheric pollution may be contributing to the decline of the Atlantic Forest. Therefore, the objective of this study was to evaluate, through passive biomonitoring, the responsiveness of *Croton urucurana*, *Lithraea molleoides* and *Luehea* sp. exposed to constant atmospheric pollution emitted by mining activities in a city in Minas Gerais. The biomonitoring experiment took place over a year, in two locations in the municipality of Congonhas – MG, southeastern Brazil: Lobo Leite and Parque Ecológico da Cachoeira (PEC). Meteorological and air quality parameters were analyzed. Visual, anatomical and micromorphological changes were evaluated in the leaves of the three species. The iron content in the leaves was quantified and the histolocalization of this metal was performed using histochemical testing. Soil chemical analyzes were also carried out. The evaluation of air quality parameters indicated high levels of total suspended particles and inhalable particles in Lobo Leite. Quantification showed that the three species studied had a high iron content in the leaves and through histochemistry it was possible to observe the presence of this metal in the leaf tissues. *Croton urucurana* showed damage only in individuals located in Lobo Leite. MP retention was observed, accompanied by trichome lesions and epicuticular wax erosion. Epidermal collapse and collapse of parenchyma cells in the mesophyll and midrib were also observed. Damage was observed in plants of the *Lithraea molleoides* species located in Lobo Leite and PEC. The abrasion of particulate material caused peeling of the epicuticular wax, loss of turgidity in the stomatal crest and obliteration of stomata. There was hypertrophy of parenchymal cells, collapse of epidermal and subepidermal cells with formation of scar tissue. Collapse of the secretory duct was also observed. Damage was observed in plants of the species *Luehea* sp. at both monitoring locations. Breakage and loss of turgidity of epidermal

trichomes and parenchyma cells were observed, with the formation of many intercellular spaces. It can be concluded that the high levels of atmospheric pollution in Congonhas are capable of causing damage to native vegetation in both monitoring locations, with Lobo Leite being the location that presents the greatest number of damages.

Keywords: Passive biomonitoring. *Croton urucurana*. Anatomical damage. Iron. *Lithraea molleoides*. *Luehea* sp. Particulate matter.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se organizado sob a forma de artigo científico, como disposto nas normas de redação de dissertação da Universidade Federal de Viçosa. A ser enviado ao periódico *Environmental Science and Pollution Research*.

SUMÁRIO

Introdução	13
Materiais e Métodos	16
Local de estudo	16
Material Vegetal	16
Biomonitoramento	16
Avaliações meteorológicas e qualidade do ar	17
Sintomatologia visual	17
Determinação do teor de ferro no material vegetal	17
Análises Morfoanatômicas	17
Análises anatômicas	17
Análises micromorfológicas - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	18
Análises de solo	19
Análises de dados	19
Resultados	19
Avaliações meteorológicas e qualidade do ar e solos	19
Determinação do teor de ferro	20
Sintomatologia visual	20
Análises anatômicas e micromorfológicas	21
Caracterização da folha	21
Histoquímica	24
Discussão.....	24
Conclusão	29
Referências bibliográficas	30
FIGURAS	35
QUADRO.....	48

Introdução

Durante os processos industriais, uma quantidade significativa de poluentes atmosféricos é liberada na natureza. Dentre estes processos industriais praticados no Brasil, a mineração é considerada uma potencial fonte emissora de poluentes atmosféricos.

Minas Gerais apresenta atividade mineradora intensa e, em escala nacional, apresenta 74,4% das reservas, onde 41,1% correspondem a minério de ferro (DNPM 2017). O quadrilátero ferrífero é uma região localizada no centro-sudeste do estado de Minas Gerais e possui aproximadamente 7.000 km² de extensão territorial (Dorr 1969). Todas as cidades que compõem esta região possuem em comum alta concentração de jazidas de ferro (Machado 2009).

Localizado na porção Sudoeste do Quadrilátero Ferrífero, o município de Congonhas possui 304 km² de extensão territorial, onde 7,49 % desta extensão corresponde a área urbana, a qual é ocupada por 52.890 habitantes (IBGE 2022). Este município detém aproximadamente 30% de sua extensão territorial com cobertura vegetal, onde 19% da vegetação corresponde à floresta estacional semidecidual, pertencente ao bioma Mata Atlântica (Cândido 2014). E estima-se que 50,7% da extensão territorial de Congonhas esteja ocupada pela atividade minerária (Ferreira 2012).

Atualmente, a Mata Atlântica apresenta apenas 12,4% de sua cobertura original (SOSMA 2021), é considerada área prioritária de conservação no Brasil (Pinto et al. 2021) e um “*hotspot*” de conservação mundial (Myers et al. 2000). Embora grande parte da sua área esteja desmatada, a Mata Atlântica é altamente diversa e possivelmente a poluição atmosférica pode estar contribuindo para o declínio dos remanescentes florestais deste bioma, afetando os serviços ecossistêmicos providos por ele.

Apesar dos avanços e pesquisas sobre o impacto da poluição atmosférica na vegetação, muitos aspectos ainda são desconhecidos, em especial sobre os efeitos na vegetação nativa de ambientes tropicais. Entender esses impactos permite selecionar espécies úteis para programas de biomonitoramento ambiental e compreender melhor os impactos nas comunidades vegetais.

A alta distribuição de mineradoras e indústrias de processamento de minério de ferro é responsável pela liberação de poluentes atmosféricos em forma de gases (NO, SO₂ e CO₂) (Oliveira 2014).

Outro poluente emitido em grande escala é o material particulado (MP), cuja composição pode ser de carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio ou de ferro (Oliveira 2014). Além destes compostos, alguns processos industriais podem produzir partículas finas de MP associadas a metais pesados, o que torna as emissões ainda mais problemáticas (Khan et al. 2016; Ulrichs et al. 2008).

Atualmente, sabe-se que as características aerodinâmicas do MP viabilizam que ele possa ser transportado através das correntes de vento a locais afastados da área de emissão (Khan et al. 2016; Ulrichs et al. 2008). Desta forma, uma ampla distribuição deste poluente é garantida. Estudos recentes mostram que o MP gerado pelas queimadas florestais podem ser transportados pelo vento por mais de 4.000 km (Scott 2023).

A abundância de MP na atmosfera é responsável por alterar a qualidade do ar, o que é prejudicial à vida animal e vegetal. A prática de monitoramento de ar através de estações meteorológicas é inviável ou inacessível em alguns locais, então, novas alternativas para o monitoramento da qualidade do ar vêm sendo levantadas. A prática de monitorar organismos vivos em ambientes supostamente poluídos e utilizar as respostas dos mesmos como indicativo de qualidade ambiental é denominada biomonitoramento (Yalaltdinova et al. 2018). Existem dois tipos de biomonitoramento, o ativo, que corresponde à exposição de indivíduos por determinado período em um local poluído, e passivo, que corresponde ao monitoramento de indivíduos que ocorrem naturalmente na área poluída (Gupta e Kulshrestha 2016).

De acordo com Rai (2016) plantas são excelentes indicadores de poluição atmosférica, especialmente quando se refere ao poluente material particulado. A deposição de MP sobre a superfície foliar está diretamente associada com a frequência e a intensidade dos ventos, à variação na temperatura do ar, a precipitação e a aerossóis marinhos (Grantz et al., 2003; Castro, 2010).

A folha é o principal órgão receptor de MP (Rai 2016). A deposição particulada neste órgão promove sombreamento, interferindo diretamente na síntese de pigmentos e no processo fotossintético (Kuki et al, 2008b; Neves et al, 2009; Pereira et al, 2009). Também ocorre a obliteração dos estômatos (Pereira et al.

2009; Rocha et al. 2014; Silva et al. 2017; 2020) que contribui para o aumento da temperatura foliar e interfere na transpiração (Pereira et al, 2009).

Em altas concentrações, o MP, pode ocasionar estresse oxidativo em plantas sensíveis através de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Jucoski, et al., 2013. As EROs podem causar peroxidação lipídica ocasionando danos na membrana plasmática e, por consequência, extravasamento de eletrólitos da célula (Edreva, 2005; Kuki, et al., 2008b). O aumento da intensidade da atividade enzimática é um indicativo de que a planta está em estresse oxidativo e que está reagindo para eliminar as EROs (Becana et al. 1998, Jucoski et al. 2013; Kuki, et al, 2008b, Neves et al. 2009).

O MP possui propriedades abrasivas, quando em contato com o tecido epidérmico é capaz de ocasionar lesões na cutícula e na cera epicuticular (Riederer et al.1994, Rocha et al.2014, Silva et al. 2017). Esta abrasão também é capaz de ocasionar danos nos tricomas como perda de turgidez e posterior plasmólise celular em tricomas glandulares e não glandulares (Silva et al. 2020). Além de danos micromorfológicos, a abrasão pode promover colapso em células epidérmicas (Rocha et al. 2014).

Lesões no tecido epidérmico facilitam a entrada de poluentes na folha (Silva et al. 2020). Quando MP adentra no órgão ele pode ser responsável por uma série de alterações como colapso de células epidérmicas e subepidérmicas (Silva et al. 2017; Silva et al. 2020), hipertrofia em algumas células no parênquima paliçádico (Silva et al 2020), grandes espaços intercelulares na nervura central e parênquima lacunoso ocasionados pelo colapso de células (Silva et al 2020), deformação de cavidades secretoras (Silva et al 2020), colapso no floema (Silva et al 2020), retração do protoplasto de células parenquimáticas (Silva et al. 2020).

Os danos fisiológicos, micromorfológicos e anatômicos ocasionados por poluentes precedem os sintomas visuais. Clorose e necrose são sintomas mais relatados para poluição atmosférica (Silva et al. 2006; Castro 2010)

Croton urucurana Baill. (Euphorbiaceae), *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (Anacardiaceae) e *Luehea* sp. Willd (Malvaceae) são espécies nativas do Brasil e ocorrem naturalmente na floresta estacional semidecidual (Mata Atlântica) do município mineiro de Congonhas. Até o momento, não há registros de estudos que avaliem as respostas destas espécies à poluição atmosférica. A vegetação do município está constantemente exposta às emissões minerárias da região, logo,

pressupõe-se que as três espécies supracitadas estão susceptíveis aos efeitos nocivos da poluição.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar, durante um ano de biomonitoramento passivo, a responsividade de *C. urucurana*, *L. molleoides* e *Luehea* sp. expostas à constante poluição atmosférica emitida pela atividade minerária de uma cidade de Minas Gerais. A hipótese a ser testada é que a poluição emitida pelos processos minero-metalúrgicos atinge plantas nativas dos remanescentes vegetais de Mata Atlântica, causando danos anatômicos e micromorfológicos.

Materiais e Métodos

Local de estudo

O estudo consistiu em um trabalho de campo, realizado no município de Congonhas (MG). Foram selecionadas duas localidades: o local de referência foi o Parque Ecológico da Cachoeira (20°27'35" latitude sul e 43°51'37" longitude oeste) e Lobo Leite, distrito da cidade (20°31'17" latitude sul e 43°47'54" longitude oeste) (Figura 1A).

Material Vegetal

Foram monitoradas e avaliadas três espécies arbóreas nativas do Brasil que ocorrem naturalmente no bioma Mata Atlântica em Congonhas. As espécies são: *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) (figura 2A), *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (Anacardiaceae) (figura 2B) e *Luehea* sp. Willd (Malvaceae) (figura 2C). A seleção das espécies foi realizada considerando a representatividade nos locais de estudo e pela diferença morfológica entre elas.

Biomonitoramento

Três indivíduos adultos de cada espécie foram selecionados no Parque Ecológico da Cachoeira e em um fragmento de mata de uma reserva particular em Lobo Leite, configurando o estudo como biomonitoramento passivo. Os indivíduos foram monitorados de junho de 2022 a maio de 2023 e as coletas foram realizadas em junho, setembro e novembro de 2022 e em março e maio de 2023.

Avaliações meteorológicas e qualidade do ar

Os dados sobre qualidade do ar e meteorologia foram coletados pelo Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar de Congonhas – Estação Lobo Leite, e disponibilizados pela secretaria municipal de meio ambiente do município.

Os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade do ar foram os níveis de partículas totais em suspensão (PTS). A velocidade do vento, umidade do ar e temperatura também foram avaliados.

A região do Parque Ecológico da Cachoeira não tem estação de monitoramento de qualidade de ar, uma vez que o parque é considerado área preservada.

Sintomatologia visual

O registro da sintomatologia visual foi realizado em todas as coletas, considerando o período de seca e o período de chuva. O tipo e a localização dos sintomas (clorose e necrose) foram registrados com câmera fotográfica.

Determinação do teor de ferro no material vegetal

Para determinar o teor de ferro foliar, no último mês de monitoramento, foram coletadas vinte folhas totalmente expandidas de ramos aleatórios das três espécies monitoradas e com três repetições em cada local de estudo. Posteriormente, as folhas foram lavadas em água corrente e foram secas, moídas e digeridas solução de ácido nítrico-perclórico (3:1) a 200°C (Kampfenkel et al. 1995). O teor total de ferro nas folhas foi determinado utilizando espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP- OES; Perkin Elmer Modelo Optima 8300 DV).

Análises Morfoanatômicas

Análises anatômicas

As amostras para microscopia de luz foram coletadas em junho, setembro e novembro de 2022 e março e maio de 2023. Os fragmentos foram retirados da região mediana de folhas totalmente expandidas com e sem sintomas visuais e fixadas em formalina neutra tamponada (Kraus e Arduin 1997). Posteriormente procedeu-se a desidratação em série etílica e incluídas em historesina (Historesin, Leica Instruments®, Heidelberg, Germany) conforme recomendações do fabricante.

Foram feitos cortes transversais seccionados à 5µm de espessura em micrótomo rotativo de avanço automático Leica RM 2155 (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Alemanha) com utilização de navalhas de vidro. Os cortes foram corados com azul de toluidina a 0,05%, pH 4,7 (O'Brien et al. 1964) e montados entre lâmina e lamínula com resina sintética "Permout®" (Kraus e Arduin, 1997).

Para a detecção histoquímica de ferro, fragmentos da nervura principal de folhas totalmente expandidas e sem sintomas foram fixadas em 2% de glutaraldeído e 4% de paraformaldeído em tampão fosfato de sódio pH 7,0 (Karnovsky, 1965). Foram obtidos manualmente cortes transversais das folhas das três espécies estudadas. Posteriormente foram colocados em solução de ferricianeto de potássio 4% e ácido clorídrico 4% por 72 horas (Bancroft et al., 1996 modificado). Este teste evidencia a presença de ferro (Fe²⁺) pela formação do Azul de Prússia. Após a lavagem em água destilada, os segmentos foliares foram montados entre lâmina e lamínula com solução de glicerina a 50%.

Para as análises anatômicas, as lâminas foram analisadas e fotografadas em fotomicroscópio (modelo AX70TRF, Olympus Optical®, Tóquio, Japão), equipado com sistema de captura de imagens (modelo Axio Vision Release® 4.8.1, Carl Zeiss Vision® GmbH, Germany), localizado no Laboratório de Anatomia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa.

Análises micromorfológicas - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram coletados fragmentos foliares da região mediana de folhas totalmente expandidas sem sintomas visuais das três espécies estudadas. As amostras foram fixadas em formalina neutra tamponada (Kraus e Arduin 1997), desidratadas em série etílica e submetidas à secagem em ponto crítico com CO₂ líquido com equipamento Critical Point Dryer (CPD030 Bal-Tec Balzers®, Balzers, Liechtenstein).

Em seguida, as amostras foram fixadas em suporte metálico "stubs" e submetidas à metalização com ouro por meio de pulverização catiônica utilizando-se metalizador modelo Sputter Coater (modelo FDU 010 from Balzers®, Balzers, Liechtenstein). Após o preparo das amostras, procedeu-se a análise em microscópio eletrônico de varredura (modelo Leo 1430VP, Zeiss®, Cambridge, England) com posterior captura de imagens.

Análises de solo

Amostras do solo de foram coletadas em Lobo Leite e no PEC e posteriormente secas em temperatura ambiente. Foram quantificados os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, enxofre, cobre, zinco, manganês, ferro, soma de bases trocáveis, capacidade de troca catiônica efetiva, capacidade de troca catiônica a pH 7,0, índice de saturação por bases, índice de saturação por alumínio, fósforo remanescente, extrator acetato de cálcio e pH em água seguindo métodos descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA 1997, 2009). As análises foram executadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Análises de dados

Os dados quantitativos foram tabulados e submetidos posteriormente a uma análise de variância de dois fatores (ANOVA). Os pressupostos da ANOVA, normalidade dos dados e homogeneidade de variâncias, foram testados pelos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente. Em caso de significância na análise de variância, os dados foram submetidos ao teste post hoc de Duncan para comparação das médias. Para todos os testes foi considerado nível de significância de 5%.

Resultados

Avaliações meteorológicas e qualidade do ar e solos

No período do monitoramento, a temperatura do ar variou de 16°C a 23°C (Figura 3A). E a precipitação variou de 19 mm a 326 mm (Figura 3B). Os ventos que predominaram durante o monitoramento foram o nordeste e sul (Figura 1B).

Neste estudo, foi considerado o período de junho a setembro de 2022 e abril e maio de 2023 foi considerado período seco e de outubro de 2022 a março de 2023 como período chuvoso.

Ao longo do monitoramento, na estação de Lobo Leite, as partículas totais em suspensão (PTS) não ultrapassaram o padrão de qualidade do ar apenas nos meses de novembro, dezembro, janeiro e abril. O maior índice de partículas totais em

suspensão (PTS) foi registrado em julho com $130 \mu\text{m}/\text{m}^3$ e o menor em dezembro com $60 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (Figura 3C).

As partículas inaláveis (PI) ultrapassaram o padrão intermediário para este poluente em todos os meses, atingindo os maiores índices em fevereiro e março de 2023 com 80 e $70 \mu\text{m}/\text{m}^3$ respectivamente.

Em análise granulométrica, verificou-se que o solo de Lobo Leite é franco-argilosa e do PEC é franco-arenosa.

Os teores de macronutrientes no solo em Lobo Leite e no PEC foram considerados bons (Quadro 1). Nos dois locais de estudo foi observado altos teores de micronutrientes. Verificou-se altos teores de cobre e zinco, enquanto os teores de manganês e ferro ultrapassaram muito os valores considerados bons/altos. Em Lobo Leite, foi encontrado o teor de manganês $224,9 \text{ mg}/\text{dm}^3$ e ferro $70,06 \text{ mg}/\text{dm}^3$. No PEC, observou-se $214,86 \text{ mg}/\text{dm}^3$ para manganês e $198,76 \text{ mg}/\text{dm}^3$ para ferro (Quadro 1).

Determinação do teor de ferro

O teor de ferro em *Croton urucurana* e *Lithraea molleoides* não diferiram estatisticamente entre os dois locais de monitoramento. Em *Luehea* sp. o teor de ferro foi maior nas plantas de Lobo Leite quando comparado às plantas do PEC e das demais espécies, apresentando diferença estatística nos dois parâmetros (Figura 4).

Sintomatologia visual

As folhas de *C. urucurana* apresentaram pontos cloróticos nas plantas localizadas em Lobo Leite no período seco (Figura 5D) bem como as plantas localizadas no PEC durante todo o monitoramento (Figura 5A, B).

Em *L. molleoides* não foram vistos sintomas visuais ao longo do monitoramento (Figura 5E, H) porém, nas plantas de Lobo Leite foram observados grande acúmulo de material particulado na lâmina foliar (Figura 5H).

Em *Luehea* sp. foi possível encontrar pontos cloróticos (Figura 5I, L) e pequenas regiões necróticas foram observados nas plantas localizadas em Lobo Leite no período seco (Figura 5L).

Análises anatômicas e micromorfológicas

Caracterização da folha

A folha de *C. urucurana* é dorsiventral e anfiestomática, possui epiderme unisseriada (Figura 6A) com aglomerados de tricomas estrelados na face abaxial (Figura 6 A, H). Na adaxial ocorre tricomas estrelados e tectores (Figura 6B). Há presença de cristais na extensão do mesofilo (Figura 6H).

As plantas do PEC não apresentaram alterações anatômicas, enquanto as plantas de Lobo Leite apresentaram alterações ao longo de todo o monitoramento.

No período de seca, as plantas localizadas em Lobo Leite apresentaram alteração no formato em células epidérmicas com colapso celular (Figura 6E), acúmulo de compostos fenólicos em células epidérmicas (Figura 6D e colapso em células do mesofilo (Figura 6E). Na região da nervura central foi observado alteração no formato de células parenquimáticas (Figura 6F), e colapso de células epidérmicas e subepidérmicas (Figura 6G).

No período chuvoso foi observado colapso epidérmico em ambas as faces da epiderme, e do mesofilo (Figura 6J). Houve também hipertrofia nas células do parênquima lacunoso e acúmulo de compostos fenólicos em células próximas do colapso celular (Figura 6J). As células parenquimáticas da nervura central apresentaram alterações no formato (Figura 6K, L).

Nas folhas de plantas localizadas em Lobo Leite foram observados mais células com inclusões cristalífera (Figura 6N) do que nas folhas de plantas localizadas no PEC (Figura 6M).

Na análise com MEV, os indivíduos monitorados no PEC apresentaram quebra e flacidez de tricomas em ambas as faces da folha (Figura 7 A, E). No período de chuva não foram observadas alterações na face adaxial (Figura 7I), porém, é possível observar algumas partículas na lâmina foliar (Figura 7I). Na face abaxial constatou-se quebra e flacidez de tricomas (Figura 7M).

Nas plantas localizadas em Lobo Leite foi observado rompimento epidérmico e exposição do mesofilo na face adaxial (Figura 7J), acúmulo de MP (Figura 7B, G, H, K, N, O), quebra de tricoma (Figura 7C, D, L, O) e flacidez nas cristas estomáticas (Figura 7N).

A folha de *L. molleoides* é dorsiventral hipoestomática. A epiderme é unisseriada com cutícula espessa na face adaxial (Figura 8A, H). Apenas em MEV é possível observar tricomas unicelulares em ambas as faces (Figura 9 A, G). O

mesofilo é denso com canais secretores e cristais no parênquima lacunoso e na nervura central (Figura 8H).

No período de seca, foi possível observar um desarranjo do mesofilo, com muitos espaços intercelulares no parênquima paliçádico e no lacunoso (Figura 8A). Houve alterações no canal secretor, foi possível observar hiperplasia do epitélio, no epitélio secretor do canal, onde nas células adjacentes (Figura 8C). As plantas do PEC (Figura 8 H, I, J) não apresentaram alterações estruturais no período chuvoso.

As plantas de Lobo Leite apresentam alterações morfoanatômicas em ambas as estações. No período de seca, as plantas coletadas em Lobo Leite apresentaram colapso de células epidérmicas (Figura 8 D, F), com formação de tecido de cicatrização (Figura 8F). Também ocorreram deformações e hipertrofia em células do parênquima lacunoso (Figura 8D) e deformidades nas células que circundam o canal secretor (Figura 8G).

No período de chuva foi observado hipertrofia de células do parênquima paliçádico (Figura 8K) e de células do parênquima lacunoso (Figura 8L). Também foi observado hiperplasia no tecido epidérmico na face abaxial da nervura central (Figura 8M). Colapso no canal secretor e deformação em algumas células próximas a ele, e outras células hipertrofiadas (Figura 8N).

Em luz polarizada não foram observadas diferenças no número de cristas entre os dois locais de monitoramento nem nas estações do ano (Figura 8 O, P).

Em MEV os indivíduos do PEC apresentaram alterações em ambos os locais de monitoramento. Na face adaxial das folhas houve perda de turgidez nos tricomas tanto no período seco (Figura 9A), como no período chuvoso (Figura 9G). No período seco foi observado quebra de tricomas também (Figura 9A). Na face abaxial é observado hifas fúngicas (Figura 9 D, J) e poucas partículas ao longo de todo o monitoramento (Figura 9D,J).

Folhas de plantas ocorrentes em Lobo Leite, no período de seca, na face adaxial, houve rompimento epidérmico na região de nervura (Figura 9B). No período chuvoso embora não tenha ocorrido danos celulares na face adaxial há acúmulo de MP, hifas fúngicas próxima a nervura central (Figura 9H).

Na face abaxial das plantas de Lobo Leite, ao longo de todo o monitoramento, ocorreu descamação da cera epicuticular (Figura 9E, K), obliteração dos estômatos (Figura 9E, K), deformação na borda dos estômatos (Figura 9 F, K, L). No período

de seca ocorreu acúmulo de partículas próximas da nervura principal (Figura 9C), e no período de chuva ocorreu erosão da cera epicuticular na região (Figura 9I).

A folha de *Luehea* sp. é dorsiventral hipoestomática. Possui epiderme unisseriada, com tricomas tectores na face abaxial da folha. Na região dos feixes vasculares na lâmina foliar há extensão de bainha (Figura 10A, I). Esta espécie possui dois tipos de tricomas, os afilados e os estrelados. Na face adaxial ocorre tricomas estrelados (Figura 11A, G) e na face abaxial ocorre tricomas estrelados (Figura 11E, K) e afilados em grande quantidade os quais recobrem o estômato (Figura 11F, L).

As plantas do PEC apresentaram alterações. No período de seca, foi observado colapso de células parenquimáticas na nervura central (Figura 10E). No período de chuva ocorreu hiperplasia na epiderme e em células subepidérmicas com acúmulo de compostos fenólicos na nervura central (Figura 10K).

As plantas de Lobo Leite apresentaram alterações ao longo de todo o monitoramento. No período de seca as células de todo o mesofilo (Figura 10B) e as células parenquimáticas da nervura central (Figura 10H) apresentaram formato irregular indicando o início de colapso (Figura 10N). Na estação chuvosa ocorreu colapso de células no mesofilo (Figura 10L), e células com o formato irregular na epiderme e no parênquima da região da nervura central (Figura 10N).

A análise dos cortes transversais das folhas de *Luehea* sp. em luz polarizada evidenciou que as plantas do PEC possuem menos células com inclusões cristalíferas (Figura 10 O), enquanto as plantas ocorrentes em Lobo Leite possuem mais células com inclusões cristalíferas na lâmina foliar (Figura 10P). Este resultado se repetiu ao longo de todo o monitoramento.

Em análise de MEV, as plantas do PEC não apresentaram alterações estruturais (Figura 11 A, D, G, J), porém, algumas partículas podem ser vistas (Figura 11A). Nas plantas localizadas em Lobo Leite, houve retenção de MP na face adaxial e abaxial (Figura 11 B, C, E, H, I, K). Alguns tricomas estrelados da face adaxial colapsaram (Figura 11C) e os tricomas tectores da face abaxial ficaram flácidos (Figura 11F). Na estação chuvosa os estômatos ficaram protegidos pelos tricomas (Figura 11L) e na estação seca os estômatos ficaram expostos (Figura 11F).

Histoquímica

Foi observado reação positiva para o teste de histolocalização de ferro em indivíduos de *C. urucurana* em ambos os locais de monitoramento. Nos indivíduos do PEC houve reação na epiderme (Figura 12 A). E os indivíduos de Lobo Leite testaram positivo para Fe pela reação de Azul de Prússia nos tricomas, no xilema e nas células parenquimáticas (Figura 12 B, D).

Em *L. molleoides* a reação foi considerada positiva em plantas de ambos os locais. Nos indivíduos do PEC foram observadas de azul de Prússia nas células parenquimáticas da nervura central e no tecido epidérmico (Figura 12E), enquanto na lâmina foliar não houve reação (Figura 12G).

Nos indivíduos de Lobo Leite a reação foi positiva nas células parenquimáticas, no colênquima e no xilema. (Figura 12F). Enquanto na lâmina foliar foi evidenciado reação intensa para Fe na epiderme adaxial, e no epitélio secretor do canal (Figura 12H).

Luehea sp. reagiu positivamente para Fe para indivíduos dos dois locais de estudo. As plantas do PEC apresentaram uma reação intensa no xilema e na epiderme (Figura 12Q, K). As plantas de Lobo Leite apresentam reação nas mesmas regiões, porém menos intensas (Figura 12J, L).

Discussão

A resolução n° 491 de 2018 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) define padrões intermediários de qualidade do ar para o alcance gradual e um padrão final baseado nos valores definidos pela Organização Mundial de Saúde em 2005.

Ao longo do experimento, o monitoramento de qualidade do ar na estação de Lobo Leite, apontou a ultrapassagem do padrão intermediário de partículas inaláveis (PI) na atmosfera em todos os meses. O valor padrão vigente para PI é de $20 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (CONAMA 2018). Já as partículas totais em suspensão (PTS) desta estação, ultrapassaram os padrões intermediários de $80 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (CONAMA 2018) em oito meses do monitoramento. A ultrapassagem desses padrões indica que a área de estudo está com quantidade elevada de material particulado (MP) na atmosfera.

A poluição em Congonhas tem influência minero-metalúrgica, e esta atividade vem se expandindo ao longo dos anos em direção e avança em direção à região

central do município (Ferreira 2012). Além disso, o distrito possui tráfego intenso de veículos e transporte ferroviário de minério, que também são fontes emissoras de MP.

O MP é facilmente transportado pelas correntes de vento (Khan et al. 2016; Ulrichs et al. 2008). Embora ocorra a predominância dos ventos nordeste e sul no município de Congonhas, os ventos não predominantes também atuam na dispersão deste poluente. Levando em consideração que o MP pode ser transportado por mais de 4.000 km (Scott 2023), os locais monitorados neste estudo estão próximos das fontes emissoras. Lobo Leite está a 6,5 km de distância do complexo metalúrgico e a 8,47 km da mina de extração de ferro mais próxima. E o PEC está a 3,07 km de uma barragem de rejeitos, a 4,2 km da mina de extração de ferro mais próxima e a 12,6 km do complexo metalúrgico. Desta forma, os dois locais monitorados neste estudo estão susceptíveis a receber MP pelas correntes de vento devido à proximidade de várias fontes emissoras.

O distrito de Lobo Leite registra os maiores índices de poluentes atmosféricos em Congonhas nos últimos anos. Além de estar próximo do complexo metalúrgico e das minas de extração de Fe, em Lobo Leite há um tráfego intenso de veículos pela BR040 passa pelo distrito e há uma área onde ocorre descarte de rejeito particulado de algumas empresas. Todas estas fontes emissoras contribuem para os altos índices de MP atmosférico no distrito.

O PEC, por sua vez, não possui estação de monitoramento de qualidade do ar. Desta forma, não há dados quantitativos para demonstrar a quantidade de MP no ar dessa área. Porém, a região está muito próxima da região das minas de extração de ferro, que são fontes emissoras de MP, certamente este poluente atinge o PEC.

A mineração e o processamento de ferro ocupam parte da extensão territorial de Congonhas, supõe-se que o MP seja composto por partículas deste metal. Sugere-se que futuramente seja realizada análise com MEV acoplado a EDS para descrever a composição deste poluente.

O Ferro é um elemento biomarcador de atividades minerárias e siderúrgicas (Calvo et al., 2013). Ele é um micronutriente essencial, porém, em altas concentrações é fitotóxico. De acordo com Broadley et al. (2012) níveis que ultrapassem 0,5g/kg de ferro podem ser tóxicos para plantas. Neste estudo foi verificado teores mais altos que 0,5 g/kg em todas as espécies, sendo o teor mais alto encontrado em *Luehea* sp. localizadas em Lobo Leite. Este alto teor de ferro

pode estar relacionado com a absorção de ferro pela deposição particulada na folha, e com a absorção deste elemento do solo, uma vez que a análise de solo aponta teores elevados de ferro.

Os dados obtidos na análise de solo mostram que a fertilidade é considerada boa, porém os níveis de micronutrientes apresentaram muito alterados. Verificou-se teores de ferro e manganês muito acima dos valores de referência em ambos os locais de estudo. A literatura indica que os teores >8 mg/dm³ para manganês e >30 mg/dm³ para ferro são considerados teores bons/altos (Ribeiro et al. 1999). O solo do PEC apresentou maiores teores de P, K, S e Fe quando comparados com o solo de Lobo Leite.

As características morfológicas, anatômicas e o micromorfológicas de folhas podem ser determinantes para a retenção de MP nas folhas (Andrade e Silva 2016; Popek et al. 2013).

As espécies *C. urucurana* e *Luehea* sp. possuem muitos tricomas estrelados na epiderme, esta característica otimiza a adesão de material particulado nessas espécies (Arrivabene et al. 2015; Kuki et al 2008a; Ridge 2002). Neste estudo, foi observado o acúmulo de MP na base e entre os tricomas em ambas as espécies, acompanhado de quebra e flacidez dessas estruturas. Assim, a perda de turgidez dos tricomas sugerem que estas estruturas foram afetadas pelo MP retido próximos à base dos tricomas (Silva et al. 2020). As lesões provavelmente foram ocasionadas pelas propriedades abrasivas do material particulado (Riederer et al.1994, Rocha et al.2014, Silva et al. 2017). Após a abrasão, as bases dos tricomas podem ser regiões permeáveis à entrada de poluentes (Chaves et al., 2002; Silva et al., 2006). Em *Luehea* sp. foi observado que as alterações nos tricomas expõe os estômatos, os quais podem se tornar mais vulneráveis à entrada de poluentes (Kozlov et al. 2000).

A folha de *L. molleoides* é glabra e possui parede periclinal externa espessa, estas características não favorecem a retenção de MP no órgão (Grantz et al. 2003). Embora o MP não fique retido por muito tempo na superfície foliar, durante a deposição, ele é capaz de ocasionar danos devido às propriedades de abrasão (Riederer et al.1994). Nesta espécie, foi observado o acúmulo de partículas nos estômatos, descamação de cera epicuticular e quebra dos poucos tricomas existentes. Danos semelhantes já foram relatados em outras espécies de folhas glabras (Rocha et al. 2014; Silva et al. 2017).

Em *C. urucurana* e *L. molleoides* foi observado um acúmulo de MP nos estômatos. A deposição do MP pode promover a obliteração dos estômatos (Pereira et al., 2009). Esta obliteração pode desencadear uma série de alterações fisiológicas, como diminuição da taxa fotossintética (Neves, et al., 2009), da transpiração (Neves, et al., 2009; Pereira et al., 2009) da condutância estomática (Neves, et al., 2009), sendo alterações observadas com frequência em plantas sensíveis. Em consequência, ocorre elevação da temperatura foliar, o que pode vir a afetar enzimas associadas ao metabolismo celular (Kuki et al., 2008b; Neves et al., 2009; Pereira et al., 2009).

Foi observado colapso de células epidérmicas e parenquimáticas nas três espécies estudadas e no epitélio secretor de *L. molleoides* em plantas localizadas em Lobo Leite. O colapso de células epidérmicas está relacionado com o efeito abrasivo do MP (Rocha et al. 2014). O colapso das células parenquimáticas e do epitélio secretor pode estar relacionado com o estresse oxidativo. Embora não tenha sido avaliado os parâmetros bioquímicos neste estudo, sabe-se que ferro nos tecidos ocasiona estresse oxidativo, gerando alto índice de espécies reativas de oxigênio (Jucoski, et al., 2013). Em excesso, as EROs podem ocasionar morte celular (Mittler, 2017). Os espaços intercelulares observados em *Luehea* sp. e *L. molleoides* provavelmente foram ocasionados por morte celular assim como ocorrido em *C. urucurana*.

Em plantas de *Luehea* sp. localizadas em Lobo Leite foi observado no período de seca colapso do mesofilo incluindo a região da extensão de bainha. Este fato foi capaz de reduzir a espessura da lâmina foliar e descaracterizar o formato típico da espécie. A redução do mesofilo já foi relatada para plantas nativas (Silva et al. 2017).

Houve formação de tecido de cicatrização delimitando uma região colapsada em *L. molleoides*. Este tecido é formado para isolar uma região colapsada e impedir o avanço do dano para as demais células (Dickison 2000). Ele atua como mecanismo de defesa observado em plantas expostas à poluentes atmosféricos (Silva et al. 2017, 2023).

Em *C. urucurana* e *Luehea* sp. observou-se maior quantidade de células com inclusões cristalíferas em plantas ocorrentes no distrito de Lobo Leite quando comparadas com as plantas do PEC. De acordo com Gupta et al. (2017) o aumento na quantidade de cristais pode estar relacionado com o estresse ocasionado pela

poluição. Este padrão não se repetiu em *L. molleoides*. De acordo com Fink (1991), poluentes atmosféricos são capazes de aumentar a permeabilidade de membrana celular. Este aumento permite a entrada de Ca^{2+} no interior da célula. Para garantir o equilíbrio iônico da planta o excesso de cálcio é compartimentalizado formando os cristais de oxalato de cálcio.

As cloroses observadas em *C. urucurana* e em *Luehea* sp. provavelmente estão relacionadas com alterações na síntese de pigmentos justificado pelo sombreamento ocasionado pela deposição particulada (Pereira et al 2009, Silva et al 2017). E as necroses observadas indicam o colapso de células epidérmicas e do mesofilo. Cloroses e necroses já foram observadas em outras plantas nativas consideradas sensíveis (Silva et al. 2006, 2015, 2017). *L. molleoides* não apresentou sintomas visuais, entretanto, danos anatômicos e micromorfológicos foram observados ao longo do monitoramento. Os danos anatômicos precedem os sintomas visuais como observado nos trabalhos de Gomes et al. (2021), Silva et al. (2005) e Rocha et al. (2014).

Plantas das espécies *C. urucurana*, *L. molleoides* e *Luehea* sp. monitoradas apresentaram danos anatômicos e micromorfológicos nos dois locais estudados. A nível comparativo, os danos observados em plantas localizadas em Lobo Leite são mais severos do que os danos observados em plantas localizadas no PEC. Os resultados aqui obtidos mostram que o PEC também está sobre impacto da deposição particulada.

Em acréscimo, os danos visualizados no período de chuva são mais leves quando comparados com o período de seca. Embora a chuva seja capaz de lavar a folha e evitar a retenção de MP, ela não impede que este poluente cause danos durante a deposição. Desta forma, o índice pluviométrico não está correlacionado com o nível de danos em *C. urucurana*, *L. molleoides* e *Luehea* sp.

Entre 2020 e 2021, houve um aumento de 66% do desmatamento na Mata Atlântica, quando comparado período entre 2019 e 2020. Cinco estados acumulam aproximadamente 91% do desflorestamento da Mata Atlântica, e Minas Gerais é o estado que possui maior área desmatada, com 7.456 ha. (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE 2022).

Além do desmatamento, estudos apontam a poluição atmosférica como potencializadora do declínio florestal da Mata Atlântica em relação à ciclagem de nutrientes e conteúdo nutricional em plantas e solos (Klumpp et al. 2002; Lopes et al.

2015; Bulbovas et al. 2020). Ademais, estudos recentes apresentam os efeitos morfoanatômicos da poluição atmosférica em espécies nativas do Brasil ocorrentes na Mata Atlântica (Gomes et al. 2021; Silva et al. 2020; 2023).

Atualmente, sabe-se que a poluição atmosférica atinge as remanescentes de Mata Atlântica e seus principais efeitos. Entretanto, não há conhecimento da magnitude destes efeitos sobre o declínio florestal e serviços ecossistêmicos deste bioma. Os dados obtidos neste estudo indicam que três espécies da Mata Atlântica de Minas Gerais estão sob impacto de poluição atmosférica por material particulado na região de mineração de ferro.

Conclusão

A partir do monitoramento passivo em Congonhas é possível concluir que, os altos índices de poluentes atmosféricos no município, são capazes de causar danos na em três espécies nativas de Mata Atlântica. Embora o Parque Ecológico da Cachoeira (PEC) seja considerado uma área preservada, os resultados aqui obtidos apontam que o material particulado atinge esta vegetação, ainda que em menor escala quando comparado com as plantas localizadas em Lobo Leite.

As plantas de Lobo Leite, de fato, apresentaram danos mais severos do que as plantas do Parque Ecológico da Cachoeira (PEC), porém, foram observados danos nos dois locais de estudo.

Os resultados aqui obtidos apontam que as três espécies foram afetadas pela deposição particulada. *C. urucurana*. apresenta uma maior resistência este tipo de poluição, uma vez que a poluição do PEC não foi capaz de ocasionar danos anatômicos nos indivíduos deste local.

Lithraea molleoides não apresentou sintomas visuais e *C. urucurana* e *Luehea* sp. apresentaram sintomas visuais leves. Assim, os resultados aqui obtidos mostram a importância dos estudos anatômicos como prognóstico dos efeitos da poluição por deposição particulada.

Sugere-se estudos posteriores com análises fisiológicas e bioquímicas para compreender os mecanismos envolvidos nas respostas de *C. urucurana*, *L. molleoides* e *Luehea* sp. diante da deposição particulada em Congonhas (MG). Também sugere-se monitoramento fenológico de *Luehea* sp., visto que no decorrer deste estudo não foram observados flores e frutos em nenhum dos indivíduos monitorados.

Referências bibliográficas

- Andrade GC, Silva LC (2016) Responses of tropical legumes from the Brazilian Atlantic Rainforest to simulated acid rain. *Protoplasma*, 254:1639-1649.
- Arrivabene HP, Souza I C, Có WLO, Conti MM, Wunderlin DA, Milanez, CRD (2015) Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil. *Chemosphere*, 127:27–34. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.011>
- Bancroft JD, Stevens A, Turner DR (1996) Theory and practice of histological techniques 4 ed. Churchill Livingstone, New York, p 766.
- Becana M, Moran JF, Iturbe-Ormaetxe I. (1998) Iron-dependent oxygen free radical generation in plants subjected to environmental stress: toxicity and antioxidant protection. *Plant Soil*, 201:137–147. <https://doi.org/10.1023/A:1004375732137>
- Broadley M, Brown P, Cakmak S et al (2012) Function of nutrients: micronutrients. in: Marschner P (ed.) Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3^{ed}, Academic Press, London, pp. 191-248.
- Cândido FR (2014) Seleção e espacialização de variáveis indicadoras de pressão socioambiental: O caso do município de Congonhas – MG. 121 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal de São del-Rei - Campus Alto Paraopeba, Ouro Branco, MG.
- Castro LN (2010) Avaliação ecofisiológica do impacto causado pelo aerossol marinho e pela deposição de ferro particulado em *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae). Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Chaves ALF, Silva EAM, Azevedo AA, Cano MAO, Matsuoka K (2002) Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. e *Chloris gayana* Kunth – Poaceae. *Acta Botanica Brasílica*, 16:395–406. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000400003>
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018, dispõe sobre padrões da qualidade do ar. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895. Acesso em 23 mai. 2023.
- Dickison WC (2000) Defense mechanisms and structural responses of plants to diseases, pests, and mechanical injury. In: Integrative Plant Anatomy. Harcourt academic press, San Diego, pp 357–381
- DNPM. COSTA MMD, Fernandes L, Duarte JEC, Recuero JC (2017) Anuário Mineral Estadual – Minas Gerais: Anos Base 2010 -2014. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília, pp 133.

- Dorr JVN (1969) Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geological Survey Professional Paper, 641 <https://doi.org/10.3133/pp641A>
- Edreva A (2005) Generation and scavenging of reactive oxygen species in chloroplast: a submolecular approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106:119-133. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.022>
- Ferreira AAM (2012) A expansão da mineração no município de Congonhas (MG) e implicações socioambientais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.
- Fink S. (1991) Unusual patterns in the distribution on calcium oxalate in spruce needles in their possible relationships to the impact of pollutants. *New Phytologist* 119: 41-51. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb01006.x>
- Gomes TF, Lima AM, Marques APP, Silva LC (2021) Effects of fluoride emission on the morphoanatomy of three plant species endemics to Brazil using passive biomonitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 28:33083–33095. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13017-2>
- Grantz DA, Garner JHB, Johnson DW (2003) Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29:213–239. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2)
- Gupta A, Gupta S, Vishnuprasad V (2017) Druses in the secondary xylem of *Mangifera indica* collected from coal mines, India. *Journal of Tropical Forest Science*, 29:179-184.
- Gupta GP, Kulshrestha U (2016) Biomonitoring and Remediation by Plants. In: Kulshrestha, U., Saxena, P. (ed) *Plant Responses to Air Pollution*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1201-3_11
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022) Cidades | Minas Gerais | Congonhas. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/congonhas/panorama>, Acesso em: 18/06/2023.
- Jucoski GO, Cambraia J, Ribeiro C, Oliveira JA, Paula SO, Oliva MA (2013) Impact of iron toxicity on oxidative metabolism in young *Eugenia uniflora* L. plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35:1645–1657. <https://dx.doi.org/10.1007/s11738-012-1207-4>
- Kampfenkel K, VanMontagu M, Inze D (1995). Effects of iron excess on *Nicotiana plumbaginifolia* plants. *Plant Physiology*, 107:725–735. <https://doi.org/10.1104/pp.107.3.725>
- Karnovsky M J (1965) A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *Journal of Cell Biology*, 27:137. <https://doi.org/10.1038/srep27790>

- Khan MF, Latif MT, Saw WH, Amil N, Nadzir MSM, Sahani M, Tahir NM, Chung JX (2016) Fine particulate matter in the tropical environment: Monsoonal effects, source apportionment, and health risk assessment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16:597–617. <https://doi.org/10.5194/acp-16-597-2016oli>
- Kozlov MV, Haukiojaa E, Bakhtiarovb AV, Stroganovc D, Ziminac SN (2000) Root versus canopy uptake of heavy metals by birch in an industrially polluted area: contrasting behaviour of nickel and copper. *Environmental Pollution*, 107:413–420. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00159-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00159-1)
- Kraus JE; Arduin M (1997) Manual básico de métodos em morfologia vegetal. EDUR, Rio de Janeiro, pp 198.
- Kuki KN, Oliva MA, Pereira EG (2008) Iron ore industry emissions as a potential ecological risk factor for tropical coastal vegetation. *Environmental Management*, 42:111–121. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9093-7>
- Kuki KN, Oliva MA, Pereira EG, Costa AC, Cambraia J (2008) Effects of simulated deposition of acid mist and iron ore particulate matter on photosynthesis and the generation of oxidative stress in *Schinus terebinthifolius* Raddi and *Sophora tomentosa* L. *Science of the Total Environment*, 403:207–214. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>
- Machado MMM (2009) Construindo a imagem geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e representações. Tese (Doutorado em Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais).
- Mittler R (2017) ROS are good. *Trends in Plant Science*. 22: 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG et al (2000) Hotspots de biodiversidade para prioridades de conservação. *Natureza* 403:853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Neves NR, Oliva MA, Centeno DC, Costa AC, Ribas RF, Pereira EG (2009) Photosynthesis and oxidative stress in the restinga plant species *Eugenia uniflora* L. exposed to simulated acid rain and iron ore dust deposition: Potential use in environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, 407:3740–3745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.035>
- O'Brien TP, Feder N, McCully ME (1964) Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma* 59:368–373. <https://doi.org/10.1007/BF01248568>
- Oliveira AAB (2014) Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica. Monografia (Curso de Engenharia Metalúrgica), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Pereira EG, Oliva MA, Kuki KN, Cambraia J (2009) Photosynthetic changes and oxidative stress caused by iron ore dust deposition in the tropical CAM tree *Clusia hilariana*. *Trees - Structure and Function*, 23:277–285. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0275-y>

- Pinto LFGP, Potenza R, Piatto M, Azevedo T (2021). Contribuição da Mata Atlântica para a NDC brasileira: análise histórica das emissões de GEE e potencial de mitigação até 2050. Fundação SOS Mata Atlântica, pp 49.
- Popek R, Gawronska H, Wrochna M, Gawronski SW, Sæbø A (2013). Particulate matter on foliage of 13 woody species: deposition on surfaces and phytostabilisation in waxes e a 3-year study. *International Journal of Phytoremediation*, 15:245–256. <https://dx.doi.org/10.1080/15226514.2012.694498>.
- Rai PK (2016) Impacts of particulate matter pollution on plants: implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 129:120-136.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VVH (1999). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa, MG. 359 p.
- Ridge I (2002) *Plants*. Oxford University Press, Oxford.
- Riederer M, Jetter R, Markstädter C, Schreiber L (1994) Air pollutants and the cuticle: implications for plant physiology. In: Percy KE, Cape JN, Jagels R, Simpson CJ (eds) *Air pollutants and the leaf cuticle*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 36: 107–111.
- Rocha DI, Silva LC, Pereira EG, Sant’Anna-Santos BF, Gontijo ER, Oliva MA (2014) Early detection of injuries in leaves of *Clusia hilariana* Schldl. (Clusiaceae) caused by particulate deposition of iron. *Revista Árvore*, 38:423–432. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622014000300004>
- Sahrawat KL (2004) Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *Journal Plant Nutrition*, 27:1471-1504.
- Scott E. (2023). Brazilian forest fires cause toxic air pollution. *Nature Reviews Earth & Environment*, 7:431–431. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00462-5>
- Silva DR, Souza SR, Silva LC (2023) Deterioration of extrafloral nectaries and leaf damages caused by air pollution in a Brazilian native species from the Atlantic Forest. *Environmental Science and Pollution Research*, 30:43505–43521. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25295-z>
- Silva LC, Araújo TO, Martinez CA, Lobo FA, Azevedo AA, Oliva MA (2015) Differential responses of C3 and CAM native Brazilian plant species to a SO₂- and SPMFe-contaminated Restinga. *Environmental Science and Pollution Research*, 22:14007–14017. <https://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4391-0>
- Silva LC, Araújo TO, Siqueira-Silva AI, Pereira TAR, Castro LN, Silva EC, Oliva M A, Azevedo AA (2017) *Clusia hilariana* and *Eugenia uniflora* as bioindicators of atmospheric pollutants emitted by an iron pelletizing factory in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 24:28026–28035. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0386-3>
- Silva LC, Freitas-Silva L, Rocha DI, Pereira JSC, Assis DEF (2020). Leaf Morpho-anatomical Structure Determines Differential Response Among Restinga

Species Exposed to Emissions from an Iron Ore Pelletizing Plant. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231:152. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04533-x>

Silva LC, Oliva MA, Azevedo AA, Araújo JM (2006) Responses of restinga plant species to pollution from an iron pelletization factory. *Water Air Soil Pollution*, 17:241–56. <https://dx.doi.org/10.1007/s11270-006-9135-9>castr

SOSMA, INPE (2021) Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020: relatório técnico. Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo pp 73.

Ulrichs C, Welke B, Mucha-Pelzer T, Arunava Goswami A, Mewis I (2008) Effect of Solid Particulate Matter Deposits on Vegetation - A Review. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 2:56–62.

Yalaltdinova A, Kim J, Baranovskaya N, Rikhvanov L (2018) *Populus nigra* L. as a bioindicator of atmospheric trace element pollution and potential toxic impacts on human and ecosystem. *Ecological Indicators* 95:974-983. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.021>

FIGURAS

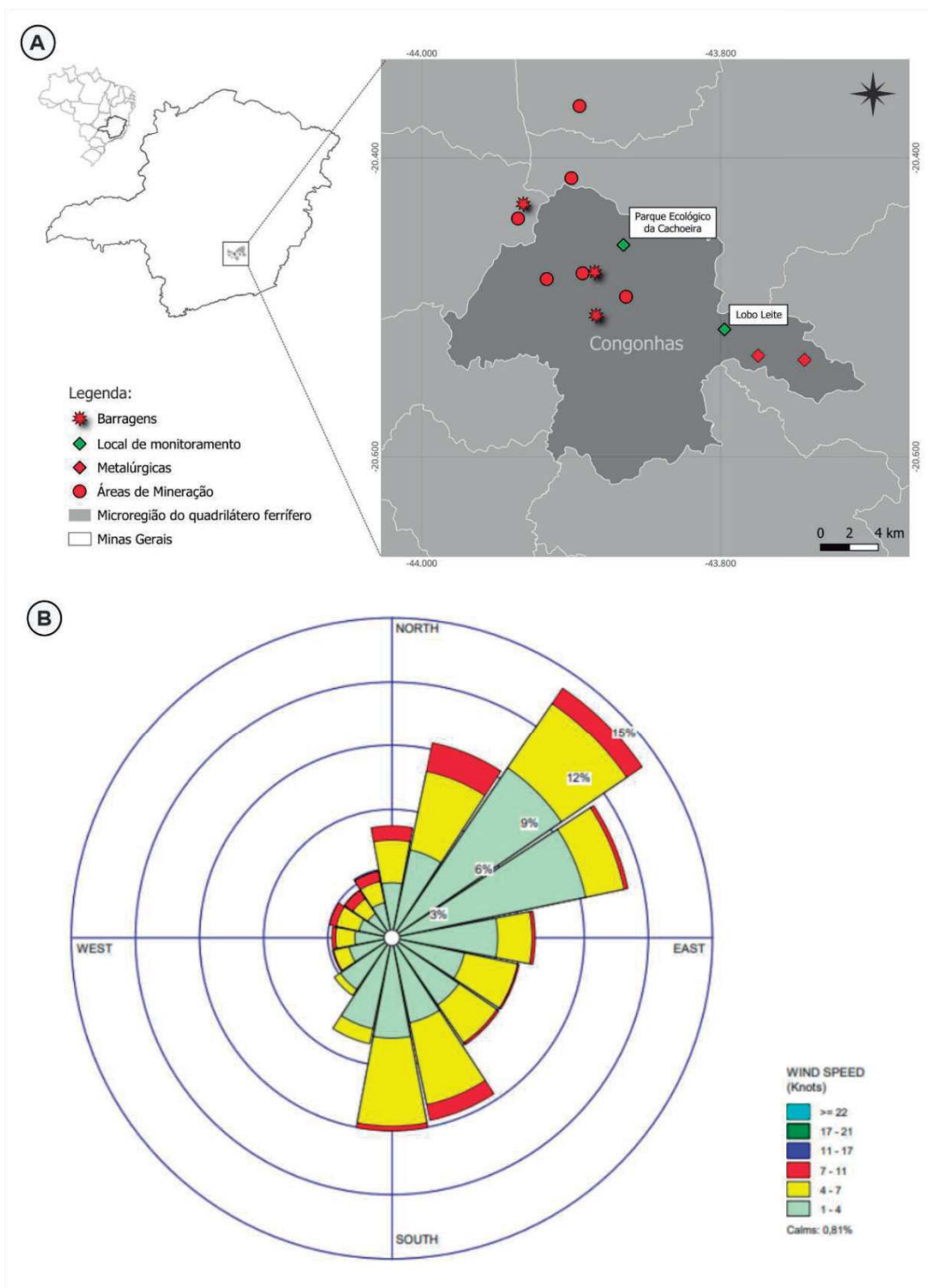


Figura 1- A -Mapa de Congonhas – Minas Gerais. Os pontos vermelhos indicam as fontes emissoras de material particulado e os pontos verdes indicam o Parque Ecológico da Cachoeira e Lobo Leite, os locais de monitoramento. B - Direção e velocidade do vento (m/s) em Lobo Leite durante o período de amostragem.

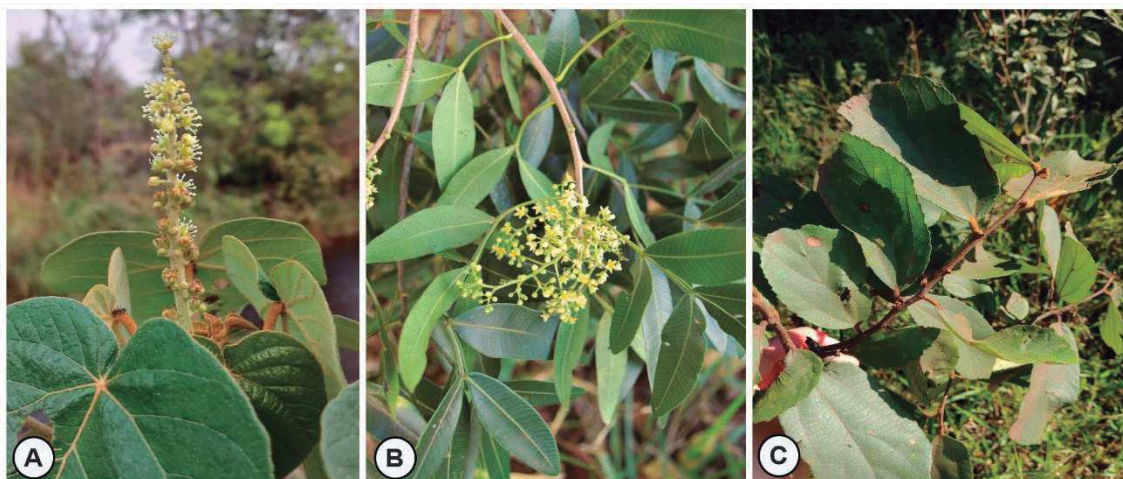


Figura 2- Espécies monitoradas. *Croton urucurana* (A), *Lithraea molleoides* (B), *Luehea* sp. (C).

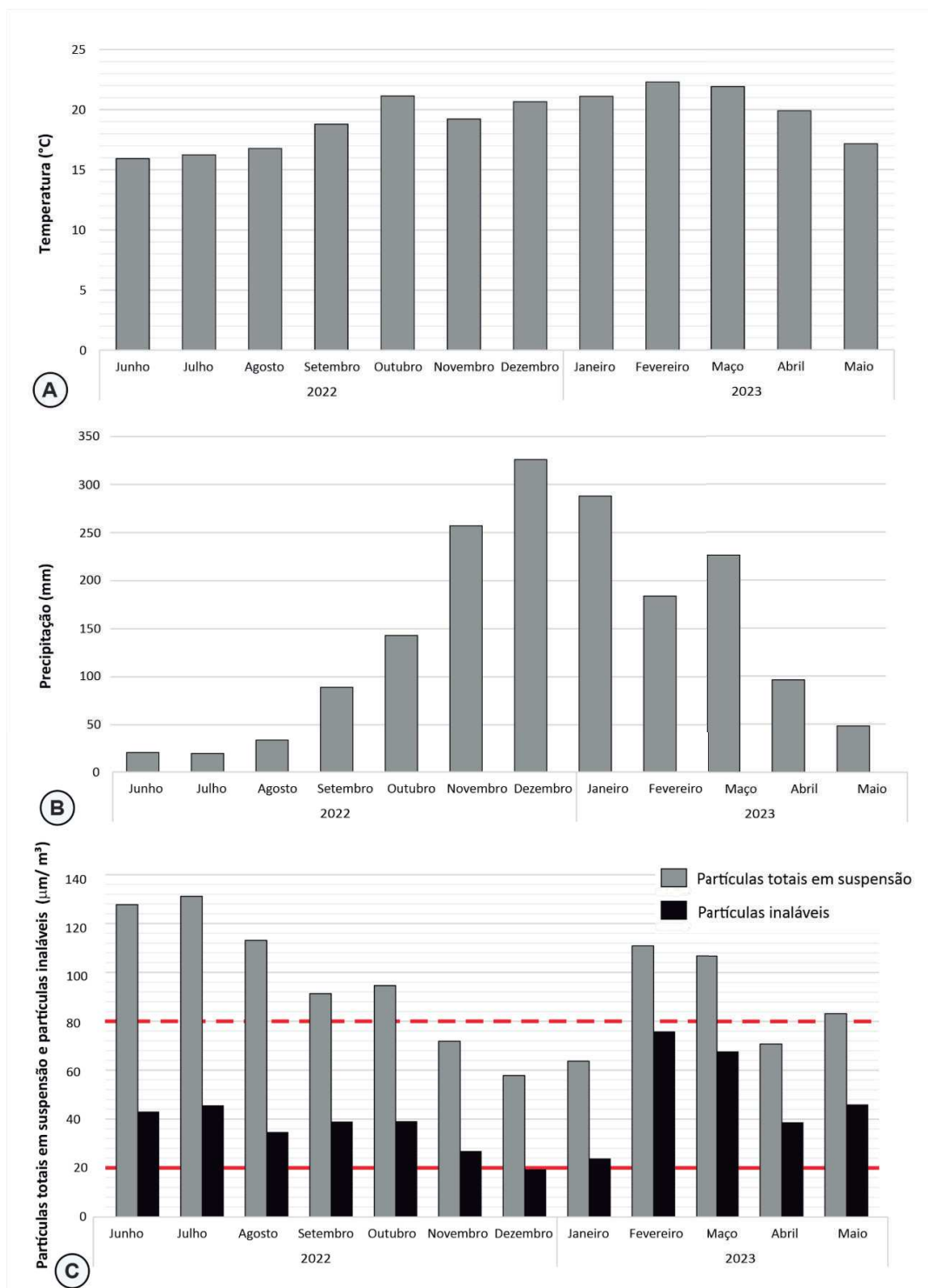


Figura 3- Dados climatológicos de Lobo Leite de junho de 2022 a maio de 2023. A - Temperatura (°C); B - Precipitação (mm); C - Partículas totais em suspensão e partículas inaláveis ($\mu\text{m}^3/\text{m}^3$). A linha vermelha contínua marca $20 \mu\text{m}^3/\text{m}^3$, que corresponde ao padrão intermediário para partículas inaláveis e a linha vermelha pontilhada marca $80 \mu\text{m}^3/\text{m}^3$, que corresponde ao padrão intermediário de partículas totais em suspensão.

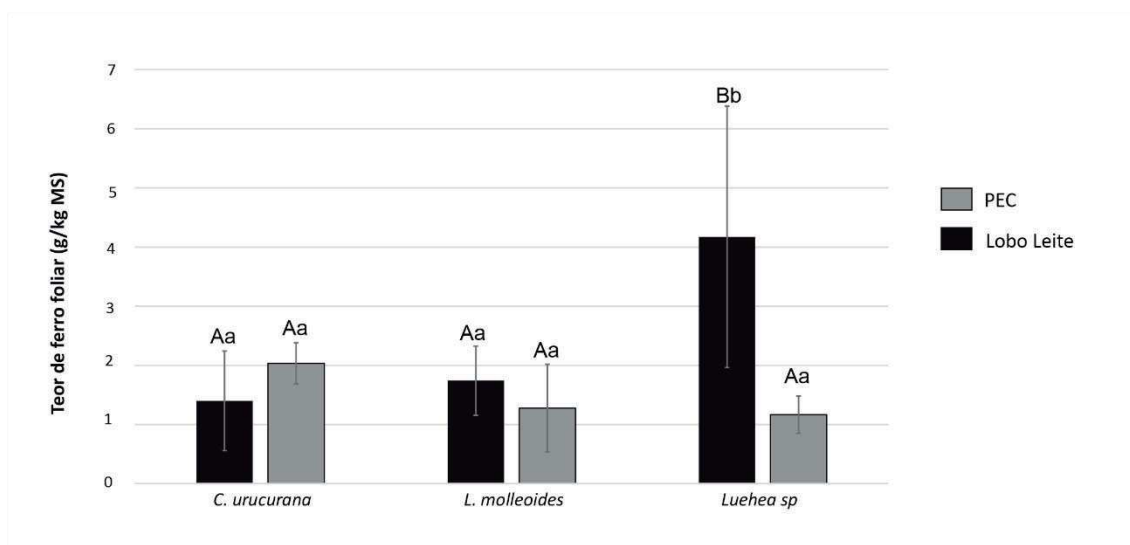


Figura 4- Teor de ferro em folhas de *C. urucurana*, *L. molleoides* e *Luehea sp.* monitoradas no Parque Ecológico da Cachoeira e em Lobo Leite. As barras indicam o desvio padrão. Letras maiúsculas comparam as espécies no mesmo ponto; letras minúsculas comparam as mesmas espécies em diferentes pontos.

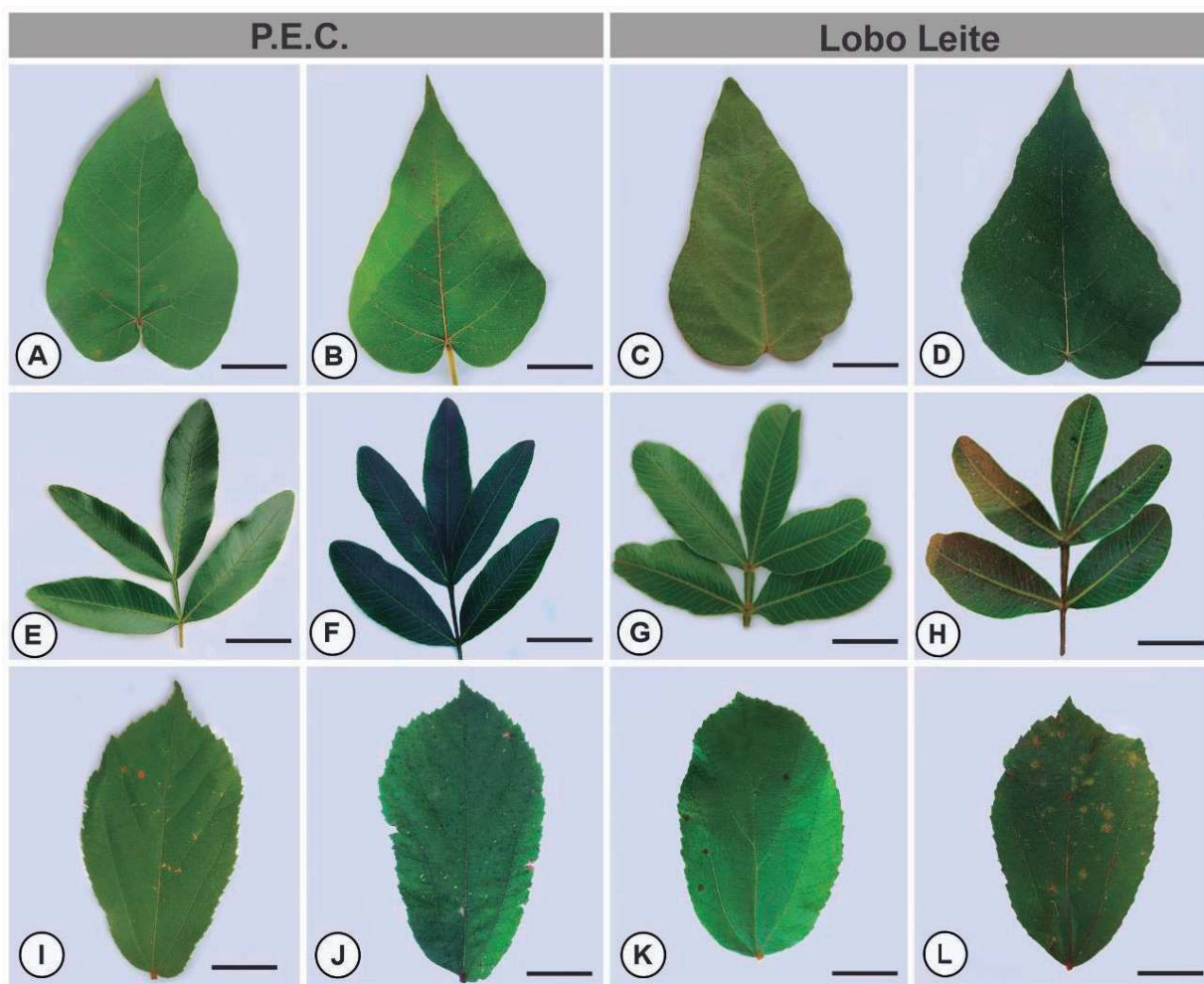


Figura 5– Sintomatologia foliar das plantas coletadas no Parque Ecológico da Cachoeira e no distrito de Lobo Leite. Folhas de *Croton urucurana* (A-D), *Lithraea molleoides* (E-H) e *Luehea* sp. (I-L). Parque Ecológico da Cachoeira (Período de chuva (A, E, C)) (período de seca (B, F, J)). Distrito de Lobo Leite (Período de chuva (C, G, K)) (Período de seca (D, H, L)).

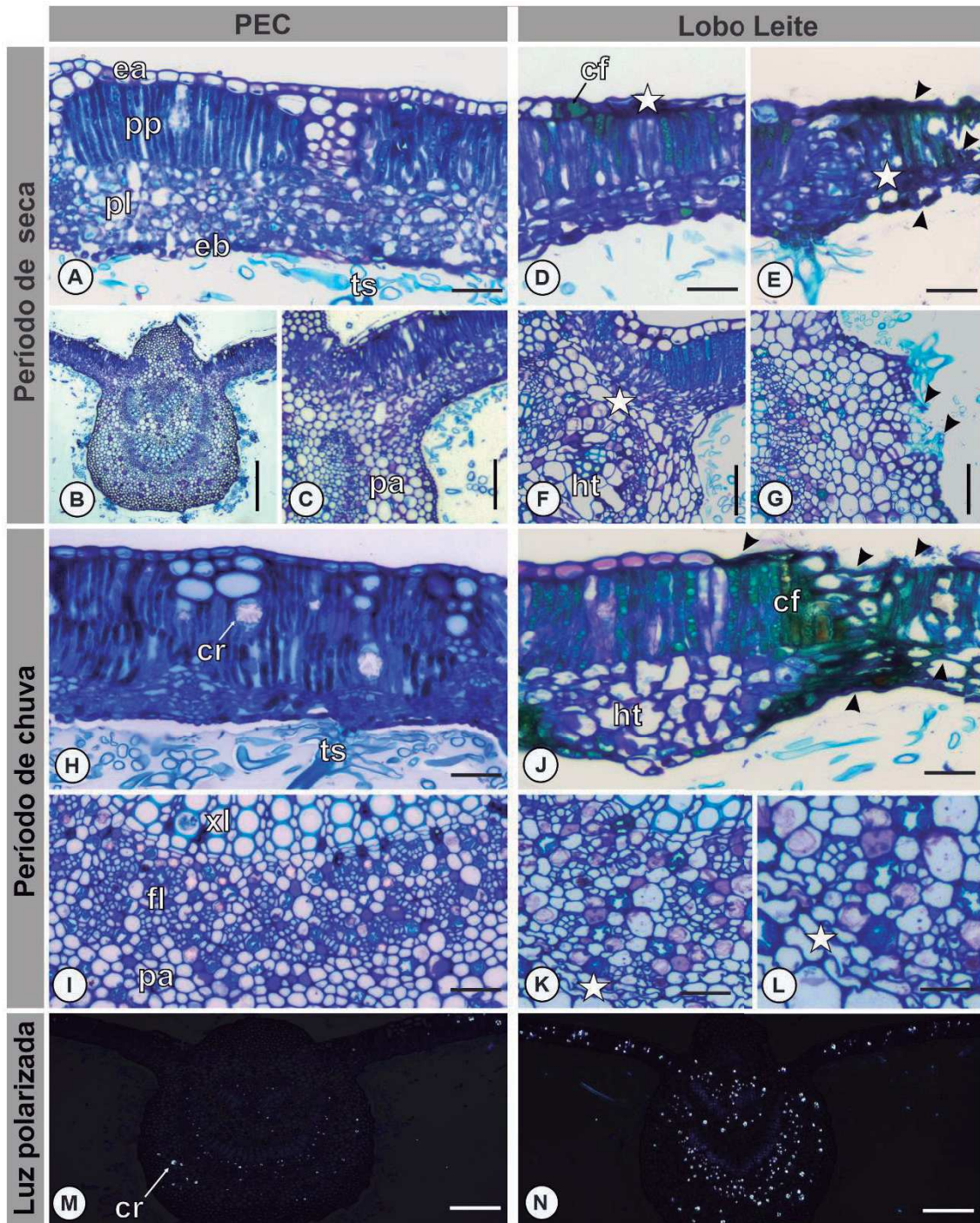


Figura 6- Folhas de *Croton urucurana* em cortes transversais coletadas no período de seca (A-G) e período de chuva (H-L) no Parque Ecológico da Cachoeira (A-C, H, I e M) e em Lobo Leite (D-G, J-L e N). Avaliação estrutural com azul de Toluidina (A-L), avaliação em luz polarizada (M e N). Siglas: ea – epiderme da face adaxial, eb – epiderme da face abaxial, pp – parênquima paliçádico, pl – parênquima lacunoso, cs – canal secretor, es - estômato, cr – cristais, hp – hiperplasia celular, ts – tricoma estrelado, estrela – alteração no formato celular, pontas de seta - colapso celular. Barras: A, D, E, H e J (50 µm); C, F, G, I, K e L (100 µm); B, M e N (200 µm).

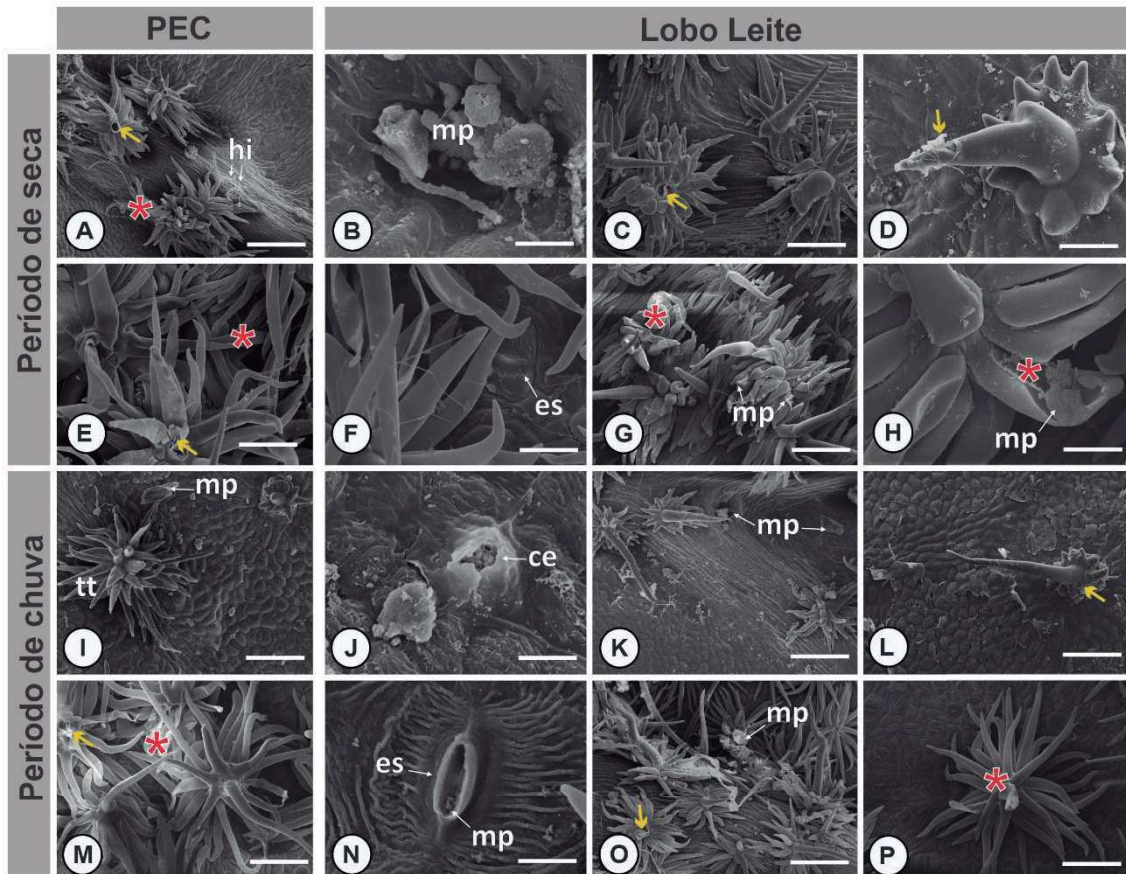


Figura 7- Folhas de *Croton urucurana* observadas em microscópio eletrônico de varredura coletadas no período de seca (A-H) e período de chuva (I-L) coletadas no Parque Ecológico da Cachoeira (A, E, I e M) e em Lobo Leite (B-D, F-H, J-L e N-P). Siglas: ts – tricoma estrelado, mp – material particulado, ce - erosão na cutícula, es – estômato, hi – hifas fúngicas, de – descamação da cutícula, asterisco – flacidez celular no tricoma, seta amarela - tricoma quebrado. Barras: C, G, I, L, M, O e P (80 μ m), B, J e N (8 μ m), A e K (100 μ m), D-F e H (50 μ m).

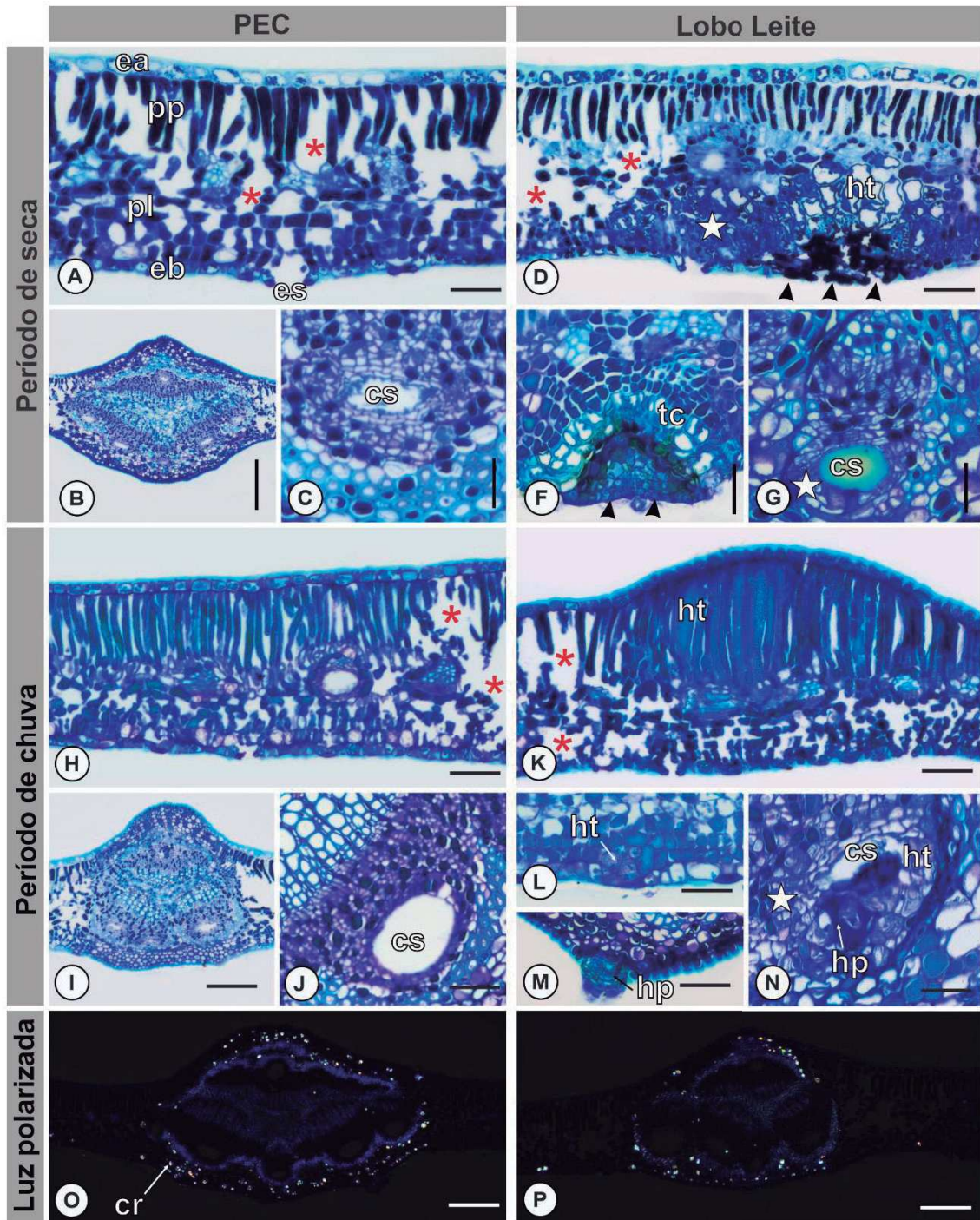


Figura 8- Folhas de *L. molleoides* em cortes transversais coletadas no período de seca (A-G) e no período de chuva (H-M) coletadas no Parque Ecológico da Cachoeira (A-C, H-J e O) e em Lobo Leite (D-G, K-N e P). Avaliação estrutural com azul de Toluidina (A-N), avaliação em luz polarizada (O e P). Siglas: ea – epiderme da face adaxial, eb – epiderme da face abaxial, pp – parênquima paliçádico, pl – parênquima lacunoso, cs – canal secretor, es - estômato, cr – cristais, ht – hipertrofia celular, hp – hiperplasia celular, tc – tecido de cicatrização, asterisco – espaços intercelulares, estrela – alteração no formato celular, pontas de seta - colapso celular. Barras: A, D, H e K (100 µm); B, I, O e P (300 µm); C, G, J e N (40 µm); F, L e M (50 µm).

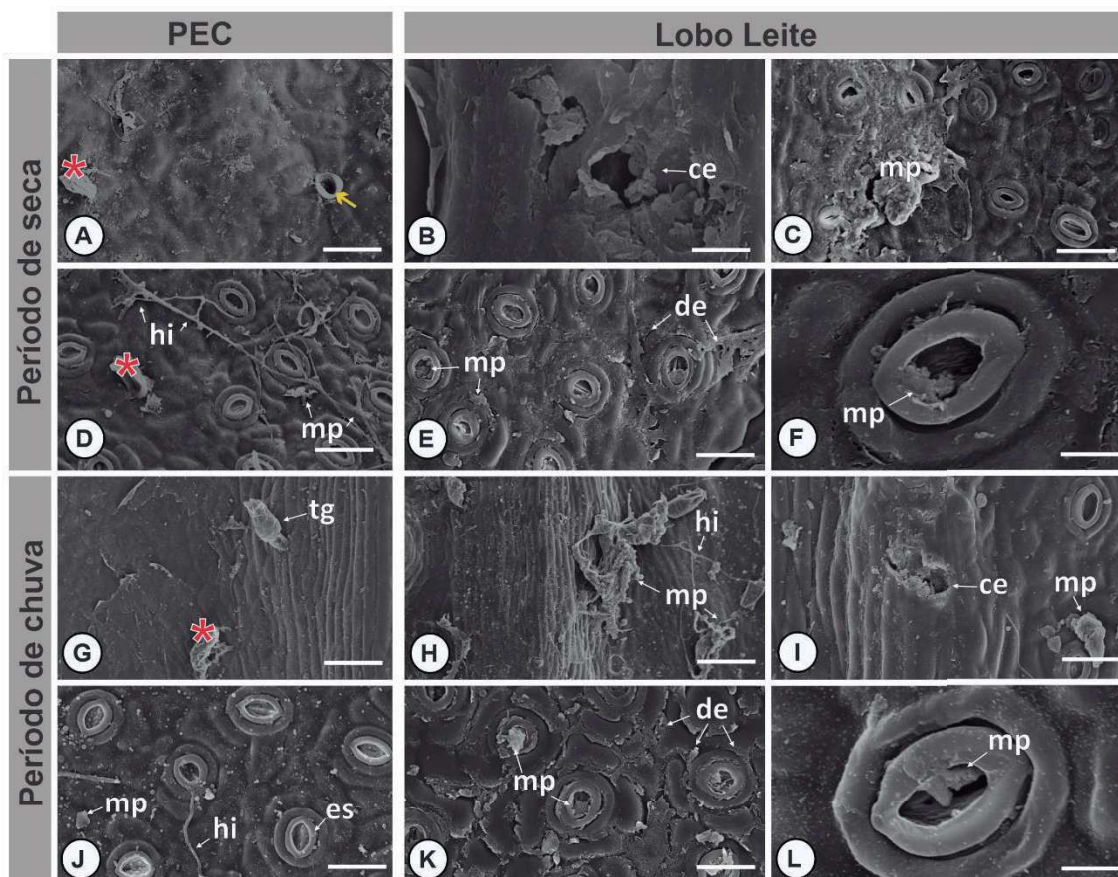


Figura 9- Folhas de *Lithraea molleoides* observadas em microscópio eletrônico de varredura coletadas no período de seca (A-F) e período de chuva (G-L) coletadas no Parque Ecológico da Cachoeira (A, D, G e J) e em Lobo Leite (B, C, E, F, H, I, K e L). Siglas: tg – tricoma glandular, mp – material particulado, ce - erosão na cutícula, es – estômato, hi – hifas fúngicas, de – descamação da cutícula, asterisco – flacidez celular no tricoma, seta amarela - tricoma quebrado. Barras: G e H (50 μm), A,C-E, I e K (30 μm), B, F e L (6 μm).

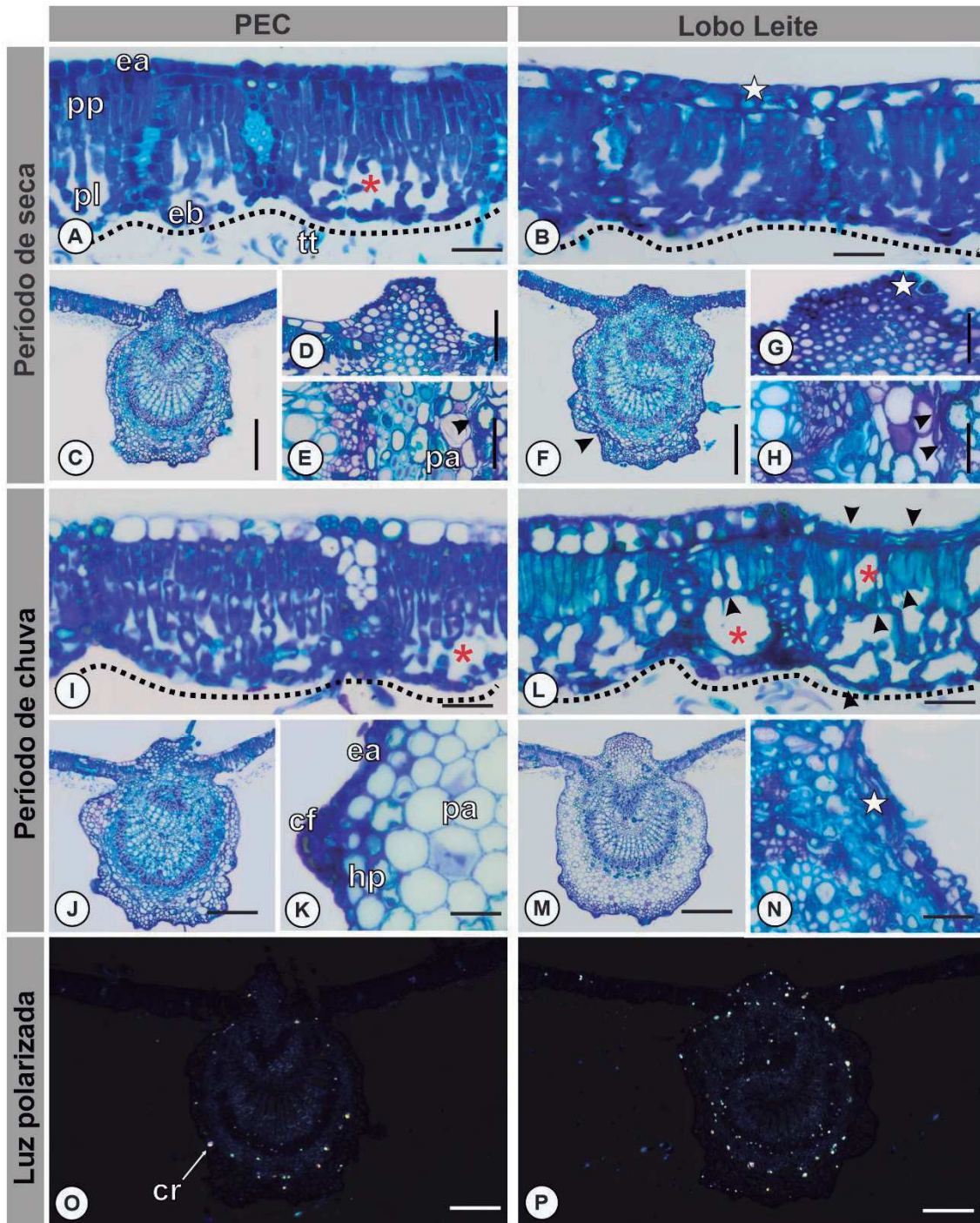


Figura 10– Folhas de *Luehea* sp. em cortes transversais coletadas no período de seca (A-H) e no período de chuva (I-N) coletadas no Parque Ecológico da Cachoeira (A, C-E, I-K e O) e em Lobo Leite (B, F-H, L-N e P). Avaliação estrutural com azul de Toluidina (A-N), avaliação em luz polarizada (O-P) Siglas: ea – epiderme da face adaxial, eb – epiderme da face abaxial, pp – parênquima paliçádico, pl – parênquima lacunoso, cf – compostos fenólicos, es - estômato, cr – cristais, hp – hiperplasia celular, tt – tricoma tector, estrela – alteração no formato celular, pontas de seta - colapso celular. Barras: A, B, I e L (50 μ m); C, F, J, M, O e P (200 μ m); K e N (20 μ m); D, E, G e H (25 μ m).

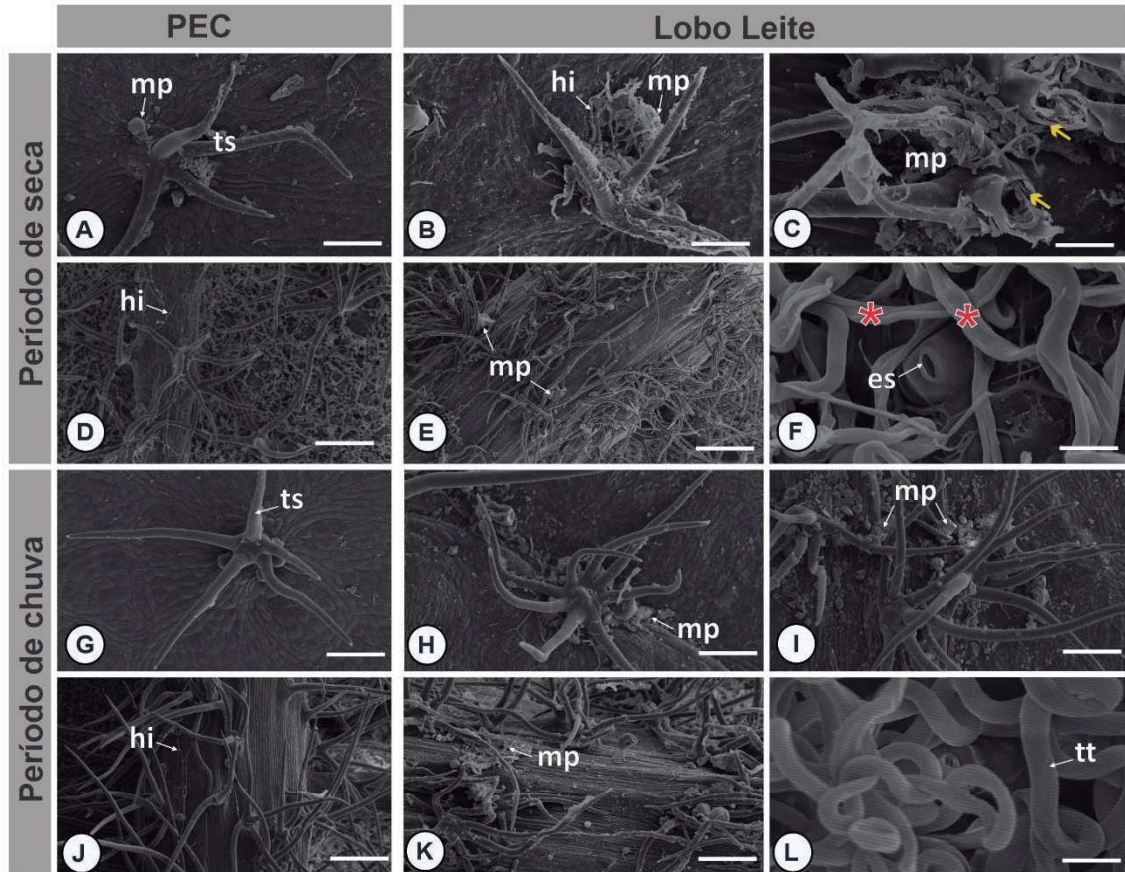


Figura 11– Folhas de *Luehea* sp. observadas em microscópio eletrônico de varredura coletadas no período de seca (A-F) e no período de chuva (G-L) coletadas no Parque Ecológico da Cachoeira (A, D, G e J) e em Lobo Leite (B, C, E, F, H, I, K e L). Siglas: tt – tricoma tector, ts – tricoma estrelado, mp – material particulado, ce – erosão na cutícula, es – estômato, hi – hifas fúngicas, de – descamação da cutícula, asterisco – flacidez celular no tricoma, seta amarela- tricoma quebrado. Barras: A-C, G-I (80 μ m), D-E, J-K (200 μ m), F e L (8 μ m).

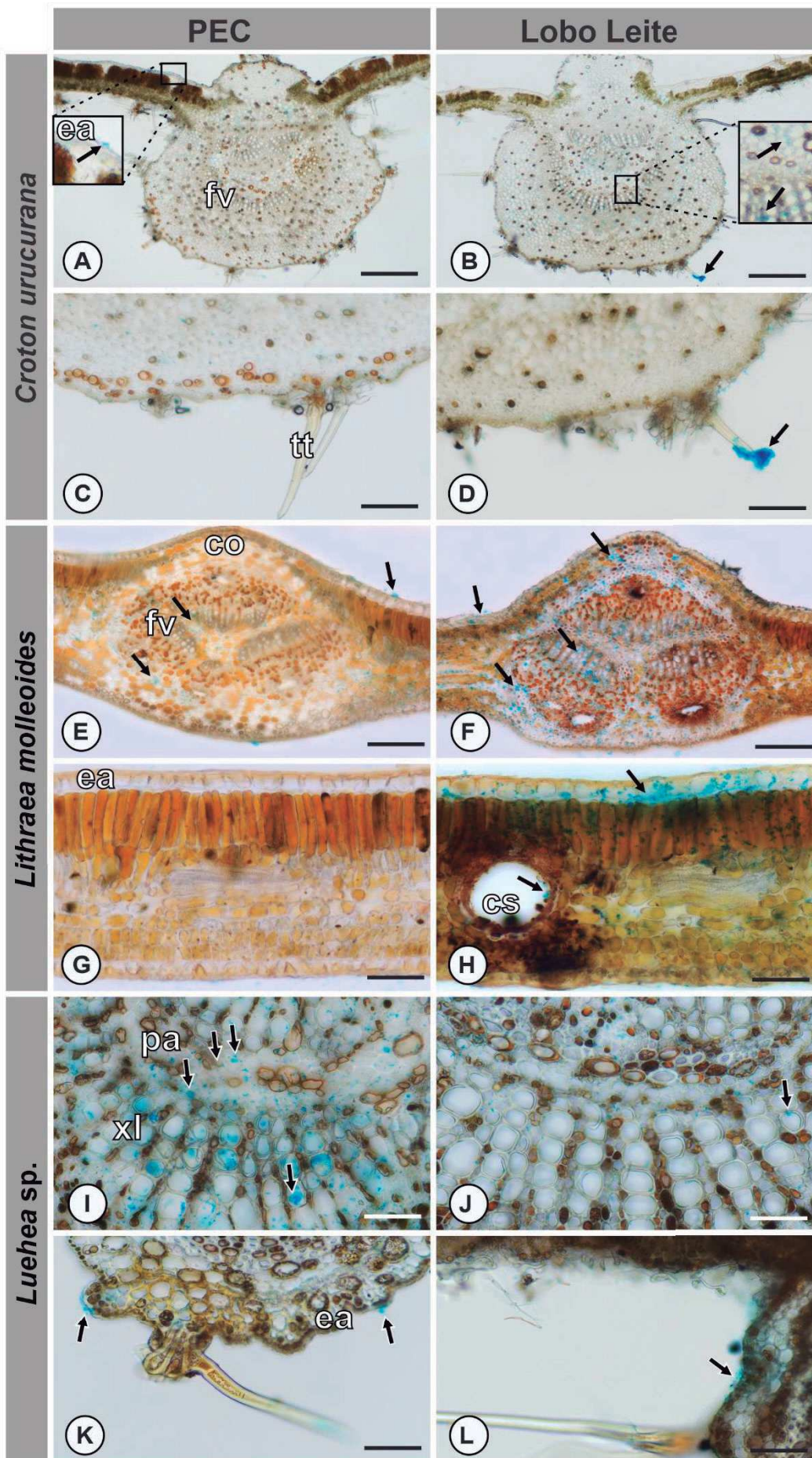


Figura 12– Folhas de *Croton urucurana* (A-D), *Lithraea molleoides* (E-H) e *Luehea* sp. (I-L) em corte transversal coletadas no Parque Ecológico da Cachoeira (A, C, E, G, I e K) e em Lobo Leite (B, D, F, H, J e L) submetidas ao teste histoquímico com ferricianeto de potássio e ácido clorídrico para detecção de ferro. A coloração azul de prússia indica reação positiva para ferro (setas). Siglas: ea – epiderme, co – colênquima, cs – canal secretor, fv – feixe vascular, pa - parênquima, tt – tricoma tector, xl – xilema. Barras: A, B, E e F (150 µm), C, D, G, H, I-L (40 µm).

QUADRO

Solo - Lobo Leite																				
Parâmetro	pH H ₂ O	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	ISNa	P-Rem	S	Cu	Mn	Fe	Zn
Unidade de medida		mg/dm ³			cmol _c /dm ³							%		mg/L	mg/dm ³					
Resultado	5,61	2,16	41,33	-	2,80	1,02	0,19	4,43	3,93	4,12	8,36	53,40	5,76	-	22,00	1,80	2,87	224,9	70,06	2,01
Solo - Parque Ecológico da Cachoeira																				
Parâmetro	pH H ₂ O	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	ISNa	P-Rem	S	Cu	Mn	Fe	Zn
Unidade de medida		mg/dm ³			cmol _c /dm ³							%		mg/L	mg/dm ³					
Resultado	5,82	12,30	72	-	2,86	0,50	0,03	2,7	3,55	3,58	6,25	58,63	1,2	-	33,86	5,83	2,9	214,86	198,76	2,58

Quadro 1. Análise química do solo de Lobo Leite e do Parque Ecológico da Cachoeira, Congonhas-MG