

CAPACIDADE FITORREMEIADORA DA *Moringa oleifera* LAM. FRENTE À CONTAMINAÇÃO POR CHUMBO NO SOLO

Rafaela Almeida de Oliveira¹, Cíntia dos Santos Bento¹, Diego Lang Burak¹,
Rayner Hugo Cassa Louzada dos Reis¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo / Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto
Universitário, S/N, Guararema - 29500-000 - Alegre - ES, Brasil, almeidarafaela669@gmail.com,
cintiasbento16@gmail.com, dlburak.ufes@gmail.com, rayner.reis@ufes.br.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo analisar o desempenho de acessos de *Moringa oleifera* no processo de fitorremediação em solos contaminados com chumbo (Pb). O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, envolvendo dez acessos da espécie provenientes do banco de germoplasma da UFES, além da espécie controle *Cecropia pachystachya* (C1). Entre os acessos avaliados, destacaram-se o Genótipo 2 e o Genótipo 3 de *Moringa oleifera* Lam. As plantas foram submetidas a três tratamentos experimentais: solo sem adição do chumbo (controle) e solo com duas concentrações de chumbo, 180 mg/kg (T1) e 900 mg/kg (T2). O solo foi previamente incubado com as concentrações estabelecidas e caracterizado quanto às propriedades físicas e químicas. As variáveis avaliadas nas plantas submetidas aos tratamentos foram: altura, diâmetro do caule e produção de biomassa. O teor de chumbo acumulado nas raízes e na parte aérea foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica, e a eficiência de fitorremediação foi estimada a partir dos fatores de bioconcentração (FB) e translocação (FT). Os resultados revelaram que a maior concentração de Pb (T2) promoveu incremento no acúmulo do metal em todos os genótipos. O Genótipo 2 apresentou predominância de retenção radicular, enquanto o Genótipo 3 demonstrou maior capacidade de translocação para a parte aérea. Já a espécie controle, *Cecropia pachystachya*, destacou-se pela imobilização do chumbo nas raízes. A análise estatística, realizada pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, apontou diferenças significativas entre os tratamentos. Os resultados encontrados, neste trabalho, evidenciam mecanismos distintos de tolerância ao metal entre os genótipos avaliados e confirmam o potencial da *Moringa oleifera* como espécie promissora para estratégias de fitorremediação em áreas contaminadas por chumbo.

Palavras-chave: bioacumulação, fitotoxicidade, remediação ecológica, metal pesado.

Área do Conhecimento: Engenharia Florestal

Introdução

A contaminação por metais pesados representa uma preocupação crescente devido à sua toxicidade e persistência ambiental, sendo o chumbo (Pb) um dos elementos mais problemáticos, por sua ampla ocorrência e pelos riscos associados à saúde humana e aos ecossistemas (Kabata-Pendias, 2011; Alloway, 2013; ATSDR, 2020). A baixa mobilidade e a elevada estabilidade do Pb favorecem seu acúmulo no solo, comprometendo a qualidade ambiental e facilitando a entrada do metal nas cadeias tróficas (Sharma & Dubey, 2005; Wuana & Okieimen, 2011).

Entre as alternativas de descontaminação, a fitorremediação destaca-se por seu baixo custo e sustentabilidade em comparação a métodos convencionais (Salt, Smith & Raskin, 1998; Ali, Khan & Sajad, 2013). Nesse contexto, *Moringa oleifera* Lam. surge como espécie promissora, devido à sua adaptabilidade, resistência a condições adversas e potencial de acumular metais pesados, incluindo o Pb, em seus tecidos (Anwar et al., 2007; Singh et al., 2016; Abdel-Latef et al., 2017).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a tolerância e o potencial de fitorremediação de dois genótipos de *Moringa oleifera* em solos contaminados por Pb, considerando alterações morfológicas e fisiológicas, eficiência de absorção e acúmulo do metal e os efeitos de diferentes concentrações sobre o crescimento da espécie.

Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal do Espírito Santo, campus de Alegre (20°45'48" S; 41°32'2" O), em clima tropical de altitude (Cwa), a 277 m de altitude (Siqueira et al., 2004). Foram avaliados dez acessos de *Moringa oleifera* Lam. do banco de germoplasma da UFES, obtidos por coletas e doações, além da espécie *Cecropia pachystachya* utilizada como controle, totalizando três genótipos. As sementes foram semeadas em tubetes de 290 cm³ com substrato comercial, sendo as plântulas transplantadas para vasos de 2 L quando atingiram de dois a quatro pares de folhas definitivas. O solo utilizado, tanto para a planta controle quanto para as plantas utilizadas nos tratamentos, foi coletado no horizonte B e caracterizado quimicamente e incubado com duas doses de chumbo (180 mg/kg e 900 mg/kg).

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial, com cinco repetições, totalizando 45 plantas. As características altura das plantas e diâmetro do caule foram registrados semanalmente, após 49 dias, após o transplante das mudas para os vasos contendo os tratamentos. Após 70 dias, do transplante, determinou-se a biomassa fresca e seca de raízes, caules e folhas. A produtividade foi estimada pela relação entre massa seca e área do vaso. O potencial de fitorremediação foi avaliado pelos fatores de bioconcentração (FB), razão entre a concentração de Pb na raiz e no solo, e a translocação (FT) por meio da razão entre a concentração de Pb na parte aérea e na raiz (Tirez et al., 2007).

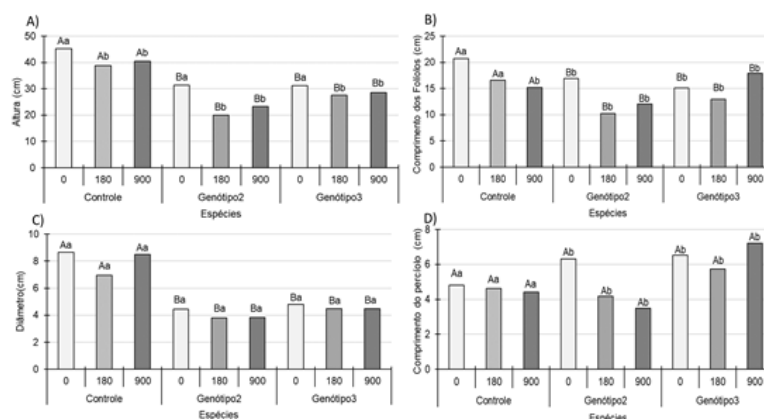
A biomassa seca foi moída e submetida à análise de macro e micronutrientes (P, K, N, Ca, Mg, S, B, Cl, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn) e de metais pesados (Cd e Pb). A determinação do chumbo foi realizada após mineralização via seca (mufla a 550 ± 50 °C) e dissolução em HNO₃ 1:1, conforme Vandecasteele e Block (1993), sendo as leituras feitas em espectrofotômetro de absorção atômica. Os dados foram submetidos à estatística descritiva, testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (O'Neill e Mathews, 2000). Atendidos os pressupostos, realizou-se análise de variância, com comparação de médias pelo teste F e agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises foram feitas no programa R, utilizando os pacotes ExpDes.pt e stats.

Resultados

A análise de variância (Tabela 1) revelou diferenças significativas entre genótipos e doses de chumbo em variáveis morfológicas ao longo do período experimental. Aos 49 dias, não foram observadas diferenças significativas entre as doses para a maioria das variáveis. No entanto, a partir de 56 dias, o comprimento do pecíolo apresentou diferenças entre os genótipos. Aos 63 e 70 dias, observou-se diferenças significativas para altura da planta, diâmetro do caule e comprimento dos folíolos entre os genótipos e doses de chumbo, enquanto aos 77 dias houve diferença significativa para número de folíolos (Figura 1).

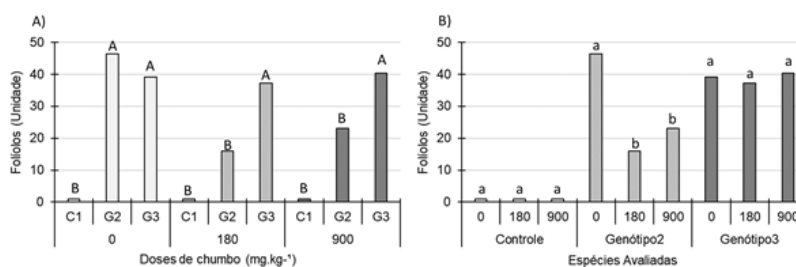
Figura 1. Características morfológicas de *Cecropia pachystachya* (controle), *Moringa oleifera* Lam (Genótipo2) e *Moringa oleifera* Lam (Genótipo3), aos 77 dias após a germinação, submetidos a doses de chumbo. Onde: A) Altura(cm); B) Comprimento dos folíolos(cm); C) Diâmetro(cm) e D) Comprimento do pecíolo (cm). Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não agrupam os genótipos entre si, e letras minúsculas iguais não agrupam as doses de chumbo, pelo teste de Skott-Knott ao nível de 5% de significância.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO



Na comparação entre as espécies (Figura 2), a espécie *Cecropia pachystachya* (utilizada como controle) apresentou desempenho superior em altura e diâmetro do caule em todos os tratamentos, enquanto *Moringa oleifera* mostrou variação entre os genótipos. O Genótipo 2 apresentou maior sensibilidade ao chumbo, com reduções significativas em altura, diâmetro e número de folíolos sob doses elevadas, enquanto o Genótipo 3 manteve maior estabilidade nesses parâmetros.

Figura 2. Número de folíolos de *Cecropia pachystachya* (controle), *Moringa oleifera* Lam. (Genótipo2) e *Moringa oleifera* Lam. (Genótipo3), aos 77 dias após a germinação, submetidos a doses de chumbo. Medias seguidas de letras maiúsculas iguais não agrupam os genótipos entre si (Figura2.A), e letras minúsculas iguais não agrupam as doses de chumbo (Figura2.B), pelo teste de Skott-Knott ao nível de 5% de significância.



Quanto ao acúmulo de chumbo, os resultados (Gráficos 1 e 2) mostram maior concentração de Pb nas raízes em todos os tratamentos. O Genótipo 2 reteve maior parte do metal nas raízes, enquanto o Genótipo 3 apresentou maior translocação para as folhas. A espécie *C. pachystachya* mostrou maior eficiência em imobilizar o chumbo nas raízes, independentemente da dose aplicada.

Gráfico 1. Concentração de chumbo (mg/L) nas raízes dos genótipos de *Moringa oleifera* (G2 e G3) e do controle *Cecropia pachystachya* (C1).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

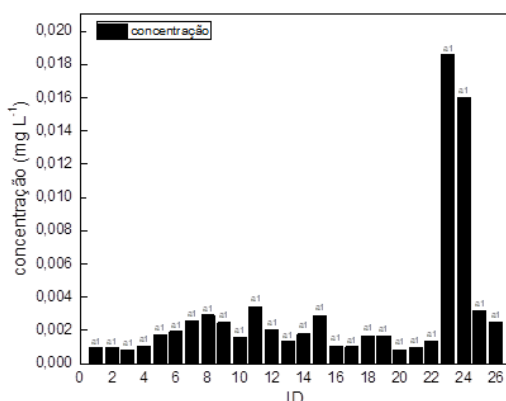
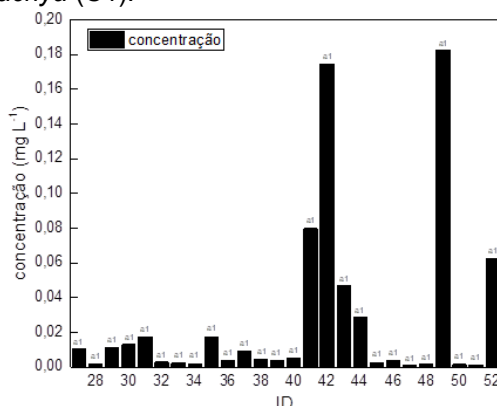


Gráfico 2. Concentração de chumbo (mg/L) nas raízes dos genótipos de *Moringa oleifera* (G2 e G3) e do controle *Cecropia pachystachya* (C1).



Discussão

Os resultados indicam que os efeitos da contaminação por chumbo tornam-se mais evidentes em estágios avançados do ciclo de crescimento da planta, como observado aos 77 dias, em concordância com Pourrut et al. (2011), que relatam intensificação da toxicidade do chumbo em fases posteriores do desenvolvimento vegetal. A ausência de significância estatística aos 49 dias sugere que, nesse estágio inicial, os mecanismos de adaptação das plantas podem ter atenuado os efeitos do metal, conforme proposto por Kozhevnikova et al. (2016). Já a diferença significativa no comprimento do pecíolo aos 56 dias reforça o papel da variação genética na resposta ao estresse ambiental (Ali et al., 2013).

Entre os genótipos de *Moringa oleifera*, o Genótipo 2 demonstrou maior sensibilidade, com reduções marcantes em altura, diâmetro do caule e número de folíolos, corroborando com os estudos que associam o chumbo à inibição da fotossíntese e ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (Costa e Oliveira, 2019). O Genótipo 3, por outro lado, apresentou maior tolerância, sugerindo mecanismos de detoxificação mais eficientes, como relatado por Ferreira et al. (2016). A capacidade de retenção de chumbo nas raízes observada no Genótipo 2 é consistente com mecanismos de defesa que limitam a translocação para tecidos aéreos (Ferreira et al., 2019). Já o Genótipo 3, apesar de acumular chumbo nas raízes, apresentou maior translocação para folhas, o que pode comprometer o crescimento, conforme observado por Lima e Silva (2021).

O controle *C. pachystachya* demonstrou maior resiliência, mantendo valores estáveis de crescimento e maior imobilização do metal nas raízes, em concordância com Araújo et al. (2012), que descrevem essa espécie como pioneira e adaptada a ambientes adversos. Assim, os resultados reforçam que genótipos distintos de *Moringa oleifera* apresentam mecanismos diferentes de tolerância ao chumbo, com o Genótipo 2 atuando principalmente por imobilização nas raízes e o Genótipo 3 por translocação

para a parte aérea, enquanto a espécie *C. pachystachya* mantém uma estratégia de forte retenção radicular, típica de espécies pioneiras.

Conclusão

Os resultados sugerem que o Tratamento 2, com maior concentração de chumbo, teve um impacto mais severo em ambos os genótipos de *Moringa oleifera*, especialmente no genótipo G3, que translocou mais chumbo para as folhas, comprometendo seu desempenho fisiológico. Já o genótipo G2 mostrou maior eficiência em reter o chumbo nas raízes, embora com menor sucesso no Tratamento 2, onde houve uma leve translocação para as folhas. O controle (*Cecropia pachystachya*) destacou-se por sua capacidade de imobilizar o chumbo nas raízes em ambos os tratamentos, reforçando seu potencial para fitorremediação. No geral, os resultados indicam que a *Moringa oleifera* possui potencial para a fitorremediação de solos contaminados por Pb, especialmente por sua capacidade de acumular o metal em diferentes órgãos e de apresentar estratégias de retenção nas raízes, que podem reduzir a translocação para partes aéreas e minimizar impactos fisiológicos adversos.

Referências

- ABDEL-LATEF, A. A. H.; SRIVASTAVA, A. K.; TRAN, L. S. P. **Mechanisms of arsenic and cadmium stress tolerance in plants: An overview.** *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1–12, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00751>. Acesso em: 6 set. 2025.
- ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. **Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications.** *Chemosphere*, v. 91, n. 7, p. 869–881, 2013.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability.** 3. ed. Dordrecht: Springer, 2013. 613 p.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological Profile for Lead.** Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2020. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A. H. **Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses.** *Phytotherapy Research*, v. 21, n. 1, p. 17–25, 2007.
- ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. **Biomassa microbiana do solo.** Teresina: Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí, 2012. 150 p.
- COSTA, F. N.; OLIVEIRA, J. A. **Moringa oleifera Lam. como estratégia na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados.** *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 14, n. 3, p. 45–59, 2019.
- FERREIRA, A. A.; OLIVEIRA, R. S.; PINTO, P. C. **Produção de proteínas de choque térmico em resposta ao estresse por metais pesados em Moringa oleifera.** *Plant Physiology Journal*, v. 34, p. 159–175, 2016.
- FERREIRA, K. S. et al. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de aceroleiras em função da aplicação de diferentes doses de nitrogênio e potássio.** *Colloquium Agrariae*, v. 15, n. 2, p. 37–50, 2019. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/2679>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants.** 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 548 p.
- KOZHEVNIKOVA, A. D. et al. **Signaling role of heavy metals in the functioning of plants.** *Russian Journal of Plant Physiology*, v. 63, n. 1, p. 1–18, 2016.
- LIMA, L. A.; SILVA, M. A. **Avaliação do potencial de Moringa oleifera Lam. na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 16, n. 2, p. 105–112, 2021.
- O'NEILL, M. E.; MATHEWS, K. L. **A weighted least squares approach to Levene's test of homogeneity of variance.** *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, v. 42, n. 1, p. 81–100, 2000.
- POURRUT, B. et al. **Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants.** *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 213, p. 113–136, 2011.
- SALT, D. E.; SMITH, R. D.; RASKIN, I. **Phytoremediation.** *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 49, p. 643–668, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643>. Acesso em: 6 set. 2025.

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

- SHARMA, P.; DUBEY, R. S. **Lead toxicity in plants**. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 17, n. 1, p. 35-52, 2005.
- SINGH, P.; SHARMA, R.; DUTTA, R.; SINGH, R. K. **Uptake and translocation of heavy metals in *Moringa oleifera* Lam. under contaminated soil**. *International Journal of Phytoremediation*, v. 18, n. 5, p. 489-495, 2016.
- SIQUEIRA, E. R.; SILVA, F. A. M.; SOUZA, J. L. **Caracterização climática do município de Alegre-ES**. *Revista Científica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo*, v. 4, n. 1, p. 15-22, 2004.
- TIREZ, Kristof et al. **Validation of a European standard for the determination of hexavalent chromium in solid material**. *Journal of environmental monitoring*, v. 9, n. 7, p. 749-759, 2007.
- VANDECASTEELE, Carlo; BLOCK, Chantal B. **Modern methods for trace element determination**. John Wiley & Sons, 1997.
- WUANA, R. A.; OKIEIMEN, F. E. **Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation**. *ISRN Ecology*, v. 2011, p. 1-20, 2011.

Agradecimentos

Agradeço à professora Cintia dos Santos Bento, minha orientadora no LAMERP, pelo apoio e dedicação; ao professor Diego Lang-Burak e equipe do LAQUAM, pelo suporte técnico; ao CNPq, pela bolsa concedida; aos meus pais, pelo incentivo e apoio; e à UFES, pela oportunidade e infraestrutura fornecidas para a realização deste trabalho.