

**ESTUDO DO EFEITO DO CÁDMIO NA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)
CULTIVADA NA PRESENÇA DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES (AMF)**

**FRANCIELE SCHENKEL¹, EMILY BALESTRIN², GUILHERME WANCURA³,
SUELEN DARIVA², SABRINE ONGARATTO², CLEVERSON TONELLO²,
MICHELE MONIQUE², DENISE CARGNELUTTI⁴**

1 Introdução

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie de grande importância econômica para a região Sul do Brasil. No entanto, a contaminação do solo por cádmio (Cd) pode comprometer o desenvolvimento vegetal, afetando processos fisiológicos e morfológicos. Nesse contexto, os fungos micorrízicos arbusculares (AMF) podem aumentar a tolerância das plantas ao estresse por metais pesados, favorecendo a absorção de nutrientes e reduzindo os efeitos tóxicos da contaminação (FERROL; TAMAYO; VARGAS, 2016; GOULART; SANTIN; BRASILEIRO, 2022; HASHEM *et al.*, 2016).

Dessa forma, torna-se importante investigar os efeitos da presença de cádmio no desenvolvimento inicial de mudas de erva-mate, bem como avaliar a influência da inoculação de fungos micorrízicos sobre parâmetros morfológicos e de crescimento das plantas. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar o desenvolvimento de mudas de *Ilex paraguariensis* submetidas a diferentes concentrações de cádmio, associadas ou não a fungos micorrízicos arbusculares.

2 Objetivos

Avaliar o efeito do Cd na erva-mate (*Ilex paraguariensis*) cultivada na presença de fungos micorrízicos arbusculares (AMF).

1 Acadêmica do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim. Contato: franciele.schenkel@estudante.uffs.edu.br. Grupo de pesquisa: Agroecologia.

2 Acadêmica(o) do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim.

3 Bacharel em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim.

4 Professora Doutora Denise Cargnelutti, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim. Orientador(a).

3 Metodologia

O experimento foi conduzido nos Laboratórios de Microscopia e Entomologia e Bioquímica e, na casa de vegetação da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2 , com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os fatores avaliados foram três concentrações de cádmio (0, 3 e 9 mg kg⁻¹ de substrato) e a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (AMFs; ausência e presença).

Foram utilizadas mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) com aproximadamente quatro meses de idade. Os inóculos de *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum* foram obtidos da Coleção Internacional de Culturas de Glomeromycota da Universidade Regional de Blumenau (FURB). O acesso ao patrimônio genético foi cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), sob o cadastro nº AA2232E. Em cada vaso contendo 3 kg de areia média esterilizada foram incorporados 30 g do inóculo. Após sete dias de aclimação, as mudas receberam as doses de cádmio na forma de cloreto de cádmio monoidratado (CdCl₂·H₂O) e permaneceram sob os tratamentos por 24 dias. Durante o período experimental, as plantas foram irrigadas conforme a necessidade e receberam semanalmente solução nutritiva de Hoagland com baixo teor de fósforo (20 µM).

Ao final do experimento, foram avaliados o número de folhas, o comprimento da parte aérea, o diâmetro do caule e as trocas gasosas, utilizando analisador de gases por infravermelho (IRGA). Em seguida, as plantas foram colhidas, separadas em raízes e parte aérea e a biomassa fresca foi registrada utilizando-se uma balança analítica. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa GENES.

4 Resultados e Discussão

O cádmio é considerado um dos metais pesados mais tóxicos para os vegetais, podendo comprometer processos fisiológicos e o crescimento das plantas. Em contrapartida, a associação com fungos micorrízicos arbusculares (AMF) pode favorecer a absorção de nutrientes e aumentar a tolerância vegetal a condições de estresse ambiental, incluindo a presença de metais potencialmente tóxicos no solo (HASHIM *et al.*, 2016; FERROL; TAMAYO; VARGAS,

2016). A análise de variância revelou efeito significativo da interação entre as doses de cádmio e a inoculação com AMF apenas para o número de folhas. Para o comprimento radicular, observou-se efeito significativo apenas da inoculação com AMF. Entre as variáveis fisiológicas, apenas a taxa de transpiração (E) e a eficiência do uso da água (EUA) foram influenciadas pelas doses de cádmio. As demais variáveis avaliadas não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$).

Tabela 1. Número de folhas de plantas de *Ilex paraguariensis* submetidas a três doses de cádmio (0, 3 e 6 mg kg⁻¹) e à ausência ou presença de fungos micorrízicos arbusculares (AMF). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Doses de Cádmio mg Kg ⁻¹	Número de folhas					
	Sem AMF			Com AMF		
0	33.25	ab	A	39.0	a	A
3	28.50	b	A	30.25	a	A
6	43.25	a	A	31.75	a	B
Média geral	34.333					
CV (%)	19.587					

Conforme observado na Tabela 1, o número de folhas foi influenciado pela interação entre as doses de cádmio e a inoculação com AMF. Na dose de 6 mg kg⁻¹ de Cd, o número de folhas foi 1,36 vezes maior nas plantas sem inoculação em comparação às plantas inoculadas. Embora o cádmio seja considerado um elemento tóxico para as plantas, respostas diferenciadas podem ocorrer em função da espécie vegetal, da concentração aplicada e da duração da exposição. Além disso, a eficiência da associação micorrízica pode variar conforme as condições experimentais e o estágio de desenvolvimento das plantas. Hashem *et al.* (2016) relataram que fungos micorrízicos podem modificar as respostas morfológicas de plantas submetidas ao estresse por cádmio, embora tais respostas dependam da compatibilidade entre hospedeiro e fungo e da intensidade do estresse.

Tabela 2. Comprimento da raiz de plantas de *Ilex paraguariensis* em função da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (AMF; ausência e presença), considerando a média das doses de cádmio (0, 3 e 6 mg kg⁻¹). Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

AMF	Comprimento da raiz cm	
Sem	8.750	a
Com	7.917	b
Média geral	8.333	
CV (%)	10.863	

As doses de cádmio não influenciaram significativamente o comprimento radicular de *Ilex paraguariensis*. No entanto, as plantas sem inoculação micorrízica apresentaram raízes 10,5% mais longas que as plantas inoculadas. Segundo Ferrol, Tamayo e Vargas (2016), a presença de fungos micorrízicos pode modificar a arquitetura radicular das plantas, uma vez que as hifas fúngicas ampliam a área de exploração do substrato e auxiliam na absorção de água e nutrientes. Dessa forma, o menor comprimento radicular observado nas plantas inoculadas não necessariamente indica menor desenvolvimento, podendo refletir alterações na estratégia de aquisição de recursos promovida pela simbiose.

Tabela 3. Médias da taxa de transpiração (E) e da eficiência do uso da água (EUA) de plantas de *Ilex paraguariensis* em função de três doses de cádmio (Cd: 0, 3 e 6 mg kg⁻¹), considerando as médias dos tratamentos com e sem inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (AMF). Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Doses de Cádmio	E		EUA	
mg Kg ⁻¹	mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹		μmol CO ₂ mmol H ₂ O ⁻¹	
0	0.912	b	10.53	a
3	1.162	a	7.853	ab
6	1.087	ab	7.325	b
Média geral	1.054		8.570	
CV (%)	17.64		28.93	

As doses de cádmio influenciaram significativamente a taxa de transpiração (E) e a eficiência do uso da água (EUA) de *I. paraguariensis*. A maior taxa de transpiração foi observada na dose de 3 mg kg⁻¹ de Cd, sendo 27,4% superior à do tratamento controle (0 mg kg⁻¹), enquanto a dose de 6 mg kg⁻¹ não diferiu estatisticamente do controle. Em contrapartida, a dose de 6 mg kg⁻¹ de Cd reduziu a eficiência do uso da água em 30,4% em relação ao controle, enquanto a dose de 3 mg kg⁻¹ não diferiu do tratamento sem cádmio (Tabela 3). Esses resultados sugerem que a presença do cádmio pode interferir nos processos relacionados ao balanço hídrico e às trocas gasosas. De acordo com Liu *et al.* (2024), fungos micorrízicos podem atenuar os efeitos fisiológicos do cádmio em algumas espécies vegetais. Entretanto, nas condições do presente estudo, a inoculação não influenciou significativamente as variáveis relacionadas às trocas gasosas.

Em conjunto, os resultados indicam que as diferentes doses de cádmio e a inoculação com fungos micorrízicos influenciaram o desenvolvimento das mudas de erva-mate. As respostas observadas evidenciam a complexidade das interações entre planta, fungo e metal

pesado, ressaltando a importância de estudos voltados à compreensão dos mecanismos envolvidos na tolerância vegetal a ambientes contaminados.

5 Conclusão

Conclui-se que as diferentes doses de cádmio influenciaram o desenvolvimento de mudas de erva-mate, promovendo alterações em características morfológicas e fisiológicas. A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares também afetou algumas variáveis avaliadas, demonstrando que a associação micorrízica pode desempenhar papel importante na resposta das plantas ao estresse causado por metais pesados.

Referências Bibliográficas

FERROL, N.; TAMAYO, E.; VARGAS, P. The heavy metal paradox in arbuscular mycorrhizas: from mechanisms to biotechnological applications. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 67, n. 22, p. 6253-6265, 2016.

GOULART, I. C. G. R.; SANTIN, D.; BRASILEIRO, B. P. Fatores que afetam a produtividade na cultura da erva-mate. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 1926-1946, 2022.

HASHEM, A. et al. Alleviation of cadmium stress in *Solanum lycopersicum* L. by arbuscular mycorrhizal fungi via induction of acquired systemic tolerance. *Saudi Journal of Biological Sciences*, Riyadh, v. 23, n. 2, p. 272-281, 2016.

LIU, H. et al. Combined application of arbuscular mycorrhizal fungi and selenium fertilizer increased wheat biomass under cadmium stress and shapes rhizosphere soil microbial communities. *BMC Plant Biology*, London, v. 24, 2024.

Palavras-chave: metais pesados; micorriza arbuscular; trocas gasosas.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2025-0364

Financiamento:

