

Nota Técnica

Erythrina crista-galli L. e turfa na fitorremediação de cobre no solo

Erythrina crista-galli L. and peat in copper in soil phytoremediation

Rudinei De Marco ^I, Rodrigo Ferreira da Silva ^I, Clovis Da Ros ^I,
Evandro Luiz Missio ^{II}, Patricia Viel ^I, André Luiz Grolli ^I

^I Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil

^{II} Centro de Pesquisas em Florestas, Santa Maria, RS, Brasil

RESUMO

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas, associada ou não com amenizantes de solo para descontaminar áreas contaminadas. O objetivo do trabalho foi avaliar o uso de turfa e *Erythrina crista-galli* na fitorremediação de solo contaminado com cobre. O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação por 120 dias, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições, em arranjo fatorial (2 x 6): com ausência e presença de turfa (200 mL L⁻¹ de solo) e seis doses de cobre no solo (0, 60, 120, 180, 240, 300 mg kg⁻¹). Os parâmetros avaliados foram: altura das mudas, diâmetro do colo, massa seca radicular e aérea, teores e quantidade acumulada de cobre no sistema radicular e parte aérea, índices de qualidade de Dickson, de tolerância e de translocação. Os resultados evidenciaram que a adição de turfa estimulou o crescimento das mudas de *Erythrina crista-galli*, porém não agiu como amenizante da contaminação do solo com o cobre. A *Erythrina crista-galli* apresentou baixo potencial fitoextrator de cobre.

Palavras-chave: Metal pesado; Corticeira-do-banhado; Solo contaminado

ABSTRACT

Phytoremediation is a technique that uses plants, associated or not with soil alleviation for the recovery of contaminated areas. The aim of this study was to evaluate the use of peat and *Erythrina crista-galli* in the phytoremediation of soil contaminated with copper. The work was conducted in a greenhouse for 120 days using a completely randomized design with six replications in a factorial arrangement (2 x 6): with absence and presence of peat (200 mL L⁻¹ soil) and six doses the copper (0, 60, 120, 180, 240, 300 mg kg⁻¹). The parameters evaluated were: seedling height, the stem diameter, root and shoot dry weight, the levels and the cumulative amount of copper in the root system and aerial part, the quality indices of Dickson, tolerance and translocation. The results showed that the addition of peat stimulated the growth of *Erythrina crista-galli* seedlings but did not act as a mitigation of soil contamination with copper. *Erythrina crista-galli* showed low copper phytoextraction potential.

Keywords: Heavy metal; Corticeira-do-banhado; Contaminated soil

1 INTRODUÇÃO

O cobre (Cu) é um micronutriente que atua como ativador enzimático, participando nas reações de oxirredução e nos processos fisiológicos, como fotossíntese, respiração e translocação de açúcares (MARSCHNER, 2012). Contudo, quando sua concentração está acima de 200 mg de cobre kg⁻¹ de solo indica a necessidade de intervenção em área agrícola (BRASIL, 2009), pois torna-se tóxico aos microrganismos, plantas e animais (CAIRES *et al.*, 2011; ANDREAZZA *et al.*, 2013), induzindo redução no crescimento das plantas com decorrência de alterações morfológicas e fisiológicas (MATEOS-NARANJO *et al.*, (2013); GUIMARÃES *et al.*, (2016)). Desse modo, são necessários estudos que envolvam a descontaminação do solo, sendo a fitorremediação, uma técnica que vem sendo utilizada para remover metais pesados do ambiente pela absorção e acumulação na biomassa vegetal (ANDREAZZA *et al.*, 2013).

Embora alguns trabalhos tenham demonstrado o efeito do Cu sobre espécies arbóreas como em *Mimosa scabrella* Bent. (DELLAI *et al.*, 2014), *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. e *Cassia multijuga* Rich. (SILVA *et al.*, 2014), ainda é restrita a relação de espécies arbóreas nativas que sejam efetivas para fitorremediação. Nesse contexto, a corticeira-do-banhado (*Erythrina crista-galli* L.) é uma arbórea nativa pioneira da família Fabaceae que possui crescimento inicial moderado e ampla distribuição geográfica (LORENZI, 2008). O fato dessa espécie de planta ocorrer em ambiente úmido, mas tolerar ambiente drenado, desperta o interesse para seu uso em plantios para recuperação de áreas contaminadas.

Contudo, quando a concentração de Cu na solução do solo é alta, tem sido proposta uma técnica que utiliza plantas associadas a amenizantes orgânicos. A utilização de compostos orgânicos reduz a biodisponibilidade dos metais no solo através de reações de adsorção e de complexação (PARK *et al.*, 2011). Dentre os amenizantes, a turfa se destaca por ser um material orgânico natural, estabilizado e reconhecido por sua elevada capacidade de troca iônica (JORGE *et al.*, 2010). A forte atração dos cátions

metálicos em solução pela turfa se deve à sua alta capacidade de complexação, sendo eficiente na amenização da contaminação do solo com metais (SANTOS; RODELLA, 2007). Dessa maneira, este trabalho objetivou avaliar a turfa e *Erythrina crista-galli* na fitorremediação de solo contaminado com cobre.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, em casa de vegetação climatizada, durante cinco meses, de maio a setembro de 2014, com mudas de corticeira-do-banhado (*Erythrina crista-galli* L.). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 6), sendo turfa (com e sem turfa), seis doses de Cu (0, 60, 120, 180, 240, 300 mg kg⁻¹), com seis repetições. As doses de Cu foram aplicadas por meio de solução de sulfato de cobre (CuSO₄.5H₂O), sendo diluídas em 50 mL de água para homogeneização no solo e aplicadas 30 dias antes do transplante das mudas. As doses de Cu foram adicionadas no solo permanecendo 15 dias em repouso para estabilização das reações químicas. Após adicionou-se turfa e aguardaram-se 15 dias para o transplante das mudas. Para confirmar a contaminação, retirou-se uma amostra de solo de cada repetição para determinação dos teores pseudo totais de Cu, conforme metodologia 3050b (USEPA, 1996).

As unidades experimentais foram constituídas de sacos plásticos de polietileno com 600 cm³, contendo uma muda de *Erythrina crista-galli*. As sementes foram cedidas pelo Centro de Pesquisas Florestais de Santa Maria (FEPAGRO), Rio Grande do Sul. Para a superação da dormência tegumentar seguiu-se a recomendação de Silva *et al.* (2006). As mudas foram produzidas em sementeiras e, quando apresentaram um par de folhas definitivas, foram transplantadas para as unidades experimentais.

O solo utilizado no experimento foi caracterizado como Latossolo Vermelho, enquanto a turfa foi a comercial Green® na proporção de 200 mL⁻¹ de solo. Os atributos do solo e solo + turfa foram respectivamente: pH em água (1:1) de 5,2 e 5,3;

0,33 e 0,21 cmolc kg⁻¹ de Al⁺³ trocável; 5,34 e 6,11 cmolc kg⁻¹ de acidez potencial (H+Al); 4,2 e 15,2 cmolc kg⁻¹ de Ca+Mg trocáveis; 2,2, e 43,3 mg kg⁻¹ de P e 61,5 e 368,5 mg kg⁻¹ de K extraível pelo extrator Mehlich-1; 11,5 e 43,9 g kg⁻¹ de matéria orgânica e 650 e 570 g kg⁻¹ de argila caracterizados pela metodologia descrita em Tedesco *et al.* (1995) e 0,21 e 0,14 mg kg⁻¹ de Cu solúvel extraído com KCl 0,005 mol L⁻¹

O experimento foi conduzido por 120 dias após o transplante das mudas. As irrigações foram diárias, com base na pesagem de unidades experimentais, objetivando umidade a 80% da capacidade de campo. A adubação de base foi com 150 g de N, 700 g de P₂O₅ e 100 g de K₂O por m³ de solo e, em cobertura com 20 g de N e 15 g de K₂O diluídos em 10 L de água, aplicadas aos 30 (N e K), 60 (N) e 90 (N e K) dias após transplante das mudas, conforme Gonçalves e Benedetti (2005).

As variáveis analisadas foram: altura da parte aérea (H), medida do colo ao meristema apical com régua graduada; diâmetro do colo (DC), utilizando paquímetro digital (precisão de 0,01 mm); massa seca do sistema radicular (MSR) e da parte aérea (MSPA), sendo que essas frações foram separadas na região do colo da muda e secadas em estufa a 60±1°C até massa constante e, pesadas em balança analítica. A massa seca total (MST) foi obtida com a soma da MSR e MSPA. Determinou-se também o índice de qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON *et al.*, 1960), conforme Equação (1).

$$IQD = \frac{(MST)}{\left(\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}\right)} \quad (1)$$

O material correspondente à massa seca da raiz e da parte aérea foram moídos em moinho tipo Wiley (com malha de 10 mesh) para a determinação, em espectrofotometria de absorção atômica, dos teores de Cu, mediante digestão nítrico-perclórica (3:1).

De posse da MST e das quantidades acumuladas de Cu (µg planta⁻¹) no sistema radicular (CuAR) e no total das mudas (CuAT), na dose zero de Cu (d₀) e nas doses de 60 a 300 mg kg⁻¹ (d_n), calculou-se o índice de tolerância (Itol), conforme Equação (2), que mede a habilidade das mudas decrescerem em ambientes com elevada

concentração de metal (WILKINS, 1978) e o índice de translocação (Itra) – Equação (3), que corresponde à porcentagem total de Cu absorvido que foi transferido para a parte aérea (ABICHEQUER; BOHNEN, 1998).

$$I_{tol} = \frac{MST_{dn}}{MST_{d0}} * 100 \quad (2)$$

$$I_{tra} = \frac{CuAPA_{dn}}{CuAT_{dn}} * 100 \quad (3)$$

Os resultados foram analisados pela variância e quando houve interação significativa foram submetidos à análise de regressão polinomial do fator quantitativo (doses) dentro de cada nível do fator qualitativo (turfa), considerando como referência os níveis de significância maiores que 95% ($p \leq 0,05$). Nas variáveis sem interação analisaram-se os efeitos simples, com as médias do fator qualitativo comparadas por Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$) e as do fator quantitativo submetidas à análise de regressão polinomial ($p \leq 0,05$) utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de Cu adicionadas ao solo resultaram em teores superiores ao estabelecido pela resolução nº 420 (BRASIL, 2009) como valor máximo de investigação permitido para solos agrícolas, que é de 200 mg kg⁻¹ (Tabela 1), possibilitando o desenvolvimento do experimento.

Tabela 1 – Teores de cobre (pseudototais) no solo em função das doses adicionadas no solo sem e com adição de turfa (200 mL⁻¹ de solo)

Tratamento	Doses de cobre mg kg ⁻¹					
	0	60	120	180	240	300
	Teores de cobre pseudototais (mg kg⁻¹ de solo)					
Sem turfa	178,11	230,51	320,48	398,02	431,07	495,85
Com turfa	172,67	225,97	306,48	380,05	416,35	475,32

Fonte: Autores (2020)

A altura, a massa seca radicular (MSR), o índice de qualidade de Dickson (IQD) e o índice de tolerância (Itol) das mudas de *Erythrina crista-galli* não apresentaram interação significativa entre os fatores de variação (turfa x doses). A adição de turfa aumentou significativamente a altura, MSR e IQD e não alterou o Itol (Tabela 2). A literatura relata que a adição de amenizante resulta em aumento da massa seca da parte aérea e radicular de plântulas (PEREIRA *et al.*, 2013), bem como o uso da turfa resulta em maior altura e diâmetro do colo de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas em solo contaminado com cobre (SILVA *et al.*, 2017). Associado a isso é possível que a turfa tenha melhorado as características físicas do solo utilizado (FRANCHI *et al.*, 2003), favorecendo o maior crescimento dos parâmetros estudados. É possível que a utilização de turfa tenha efeito estimulante pelo aumento dos teores de Ca, Mg, P e K e da redução do Al^{3+} trocável, conforme descrito na metodologia.

Tabela 2 – Altura, massa seca radicular, índice de qualidade de Dickson e índice de tolerância das mudas de *Erythrina crista-galli* em função das doses de Cu aplicadas no solo com e sem adição de turfa

Avaliações	Doses de cobre ($mg\ kg^{-1}$)			Turfa ⁽²⁾		CV (%)
	Equação de regressão	r^2	PR (%) ⁽¹⁾	Sem	Com	
Altura (cm)	$\hat{y} = 10,9 - 0,007x$	0,88	- 19,3	8,5B ⁽³⁾	11,1A	9,5
MSR ($g\ planta^{-1}$)	$\hat{y} = 2,7 - 0,003x$	0,94	- 33,3	1,5B	3,1A	22,2
IQD	$\hat{y} = 2,50 - 0,003x$	0,92	- 36,0	1,3B	2,9A	25,7
Itol (%)	$\hat{y} = 108,1 - 0,142x$	0,98	- 39,4	81,7A	93,5A	20,7

Fonte: Autores (2020)

Em que: MSR = massa seca radicular; IQD = índice de qualidade de Dickson; Itol = índice de tolerância. ⁽¹⁾Porcentual de redução com a dose máxima de cobre ($300\ mg\ kg^{-1}$). ⁽²⁾Adição de 200 mL de turfa L^{-1} de solo. ⁽³⁾Médias seguidas de letra diferente na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV: coeficiente de variação.

As doses de Cu induziram redução linear na altura e a MSR das mudas de *Erythrina crista-galli* em 19,3 e 33,3%, respectivamente, em relação à dose máxima de Cu ($300\ mg\ kg^{-1}$) (Tabela 2). Provavelmente, o Cu interferiu na cadeia transportadora de elétrons do fotossistema I, como mencionam Taiz e Zeiger (2013), reduzindo a produção de

foto assimilados e diminuindo significativamente o crescimento apical. A toxidez de Cu no sistema radicular inviabiliza a formação de raízes e, conseqüentemente, reduz a absorção de água e nutrientes essenciais ao crescimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esses resultados corroboram os de Silva *et al.* (2014) e Dellai *et al.* (2014), que também observaram redução da MSR com doses elevadas de Cu no solo em espécies arbóreas nativas.

O aumento nas doses de Cu no solo também afetou negativamente o IQD e o Itol das mudas de *Erythrina crista-galli*, sendo respectivamente 36,0 e 39,4% menor na dose de 300 mg de Cu kg⁻¹ de solo em relação à dose zero (Tabela 2). Assim, como observado para outras espécies arbóreas [*Luehea divaricata* (Mart. e Zucc.) (SILVA *et al.*, 2011), *Mimosa scabrella* (Benth) (DELLAI *et al.*, 2014)], doses elevadas de Cu no solo causam desequilíbrio no crescimento das plantas, o que influencia a qualidade das mudas, uma vez que para o cálculo do IQD são considerados parâmetros morfológicos (altura, massa seca e diâmetro do colo) que expressam a robustez da muda. Quanto ao Itol, mesmo com a utilização de 60 mg de Cu kg⁻¹ de solo, a produção de matéria seca total foi menor do que as mudas produzidas em solo sem a contaminação (Itol < 100%). Desse modo, é possível considerar que a *Erythrina crista-galli* não se apresentou como espécie tolerante às doses de Cu utilizadas no estudo.

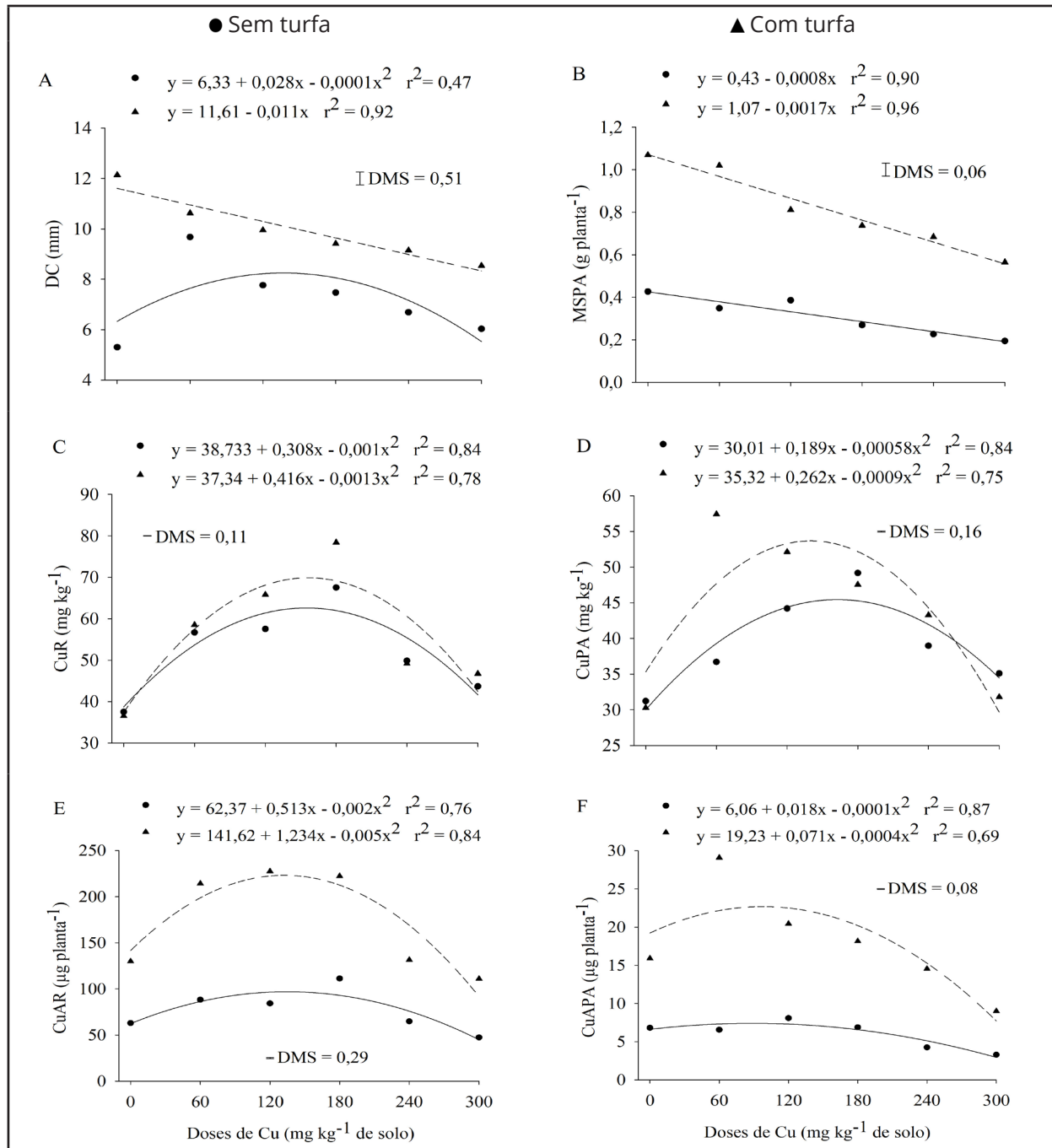
Os resultados de diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), teor de Cu na raiz (CuR) e parte aérea (CuPA), Cu acumulado na raiz (CuAR) e na parte aérea (CuAPA) das mudas de *Erythrina crista-galli* evidenciaram interação significativa entre os fatores de variação (turfa x cobre) (Figura 1). As doses de Cu reduziram de forma linear o DC das mudas de *Erythrina crista-galli* no tratamento com a turfa, sendo, contudo, significativamente maior quando comparado com as mudas no solo sem turfa, em todas as doses (Figura 1A). Resultados semelhantes foram obtidos por Felker *et al.* (2015) que evidenciaram efeito positivo da turfa no crescimento de *Luehea divaricata* Mart., incluindo aumento no diâmetro do colo, enquanto Dellai *et al.* (2014) observaram redução linear para o DC em mudas *Mimosa scabrella* (Benth) com

a aplicação de doses de Cu no solo. Entretanto, Silva *et al.* (2011) avaliando *Schinus terebinthifolius* (Raddi) não observaram diferença significativa para este parâmetro morfológico com a elevação das doses do metal. Portanto, embora tenha evidenciado variação no efeito do Cu sobre o DC para algumas espécies arbóreas, fica evidente neste trabalho, o efeito estimulante da turfa no diâmetro do colo das mudas de *Erythrina crista-galli*.

A MSPA foi reduzida linearmente com as doses de Cu em ambos os tratamentos com e sem turfa, sendo significativamente maior com a adição de turfa (Figura 1B). Conforme Gabos *et al.* (2011), a aplicação de matéria orgânica induz maior matéria seca na parte aérea da planta, estando relacionado com a adição de nutrientes contidos nestes materiais. Entretanto, plantas submetidas a doses elevadas de Cu podem apresentar desfolhamento precoce, necrose das folhas e redução drástica na atividade fotossintética, reduzindo a produção de matéria seca da parte aérea (BELLION *et al.*, 2006). Embora não tenham sido observados necrose e desfolhamento das mudas, a massa seca da parte aérea foi influenciada negativamente com as doses de Cu no solo, porém com menor efeito nas plantas cultivadas no solo sem turfa.

O sistema radicular e a parte aérea no tratamento com turfa apresentaram teores de Cu com ponto de máxima, respectivamente, nas doses estimadas de 160 e 145 mg de cobre kg⁻¹ no solo, sendo significativamente maiores que o tratamento sem turfa (Figura 1C; 1D). Conforme Kumpiene *et al.* (2008), a matéria orgânica compete pelos metais com os sítios de troca dos óxidos, reduzindo a sua acumulação nos vegetais, apresentando-se como amenizante da toxidez de Cu. No entanto, esse efeito não foi observado no presente trabalho, pois a utilização de turfa teve efeito contrário ao esperado, que era a redução dos teores na planta. Na literatura encontram-se resultados indicando eficiência (SANTOS; RODELLA, 2007), mas também ineficiência da utilização da turfa como amenizante de solo contaminado (JORGE *et al.*, 2010). Assim, mesmo evidenciando efeito estimulante da turfa nos parâmetros morfológicos, esse resultado parece não ocorrer pela ação da turfa na amenização da toxicidade de Cu.

Figura 1 – Equações de regressão para o diâmetro do colo (A), massa seca da parte aérea (B), teor de Cu na raiz (C) e parte aérea (D), Cu acumulado na raiz (E) e na parte aérea (F) de mudas de *Erythrina crista-galli* em função das doses de Cu adicionadas no solo com (200 mL L⁻¹ de solo) e sem adição de turfa



Fonte: Autores (2020)

Em que: DC = diâmetro do colo; MSPA = massa seca da parte aérea; CuR = teor de Cu na raiz; CuPA = teor de Cu na parte aérea; CuAR = Cu acumulado na raiz; CuAPA = Cu acumulado na parte aérea; DMS = diferença mínima significativa.

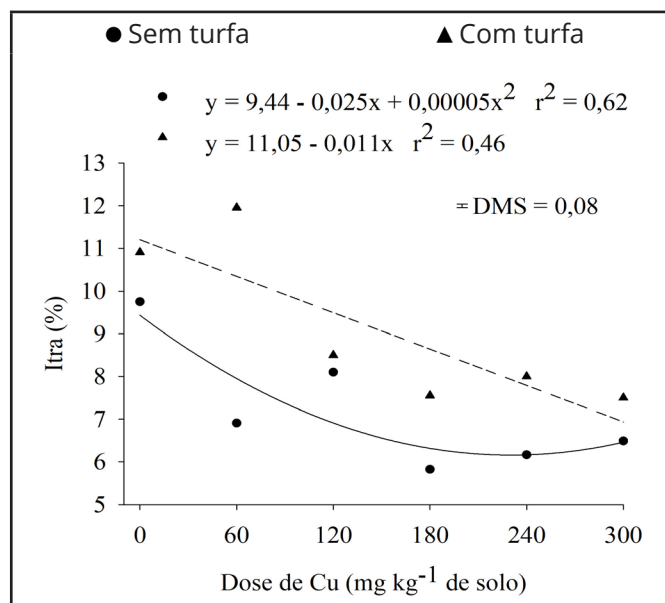
O Cu acumulado no sistema radicular e na parte aérea foi significativamente maior com a adição da turfa (Figura 1E, 1F). O máximo acúmulo de Cu evidenciado nas raízes foi de aproximadamente 95 e 218 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (Figura 1E), enquanto na parte aérea de 7 e 22 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (Figura 1F), respectivamente sem e com turfa. O aumento de Cu acumulado nas plantas, quando utilizada turfa, se deve ao aumento da massa seca do sistema radicular (Tabela 2) e da parte aérea (Figura 1B). Ao usar composto orgânico para amenizar o efeito tóxico do Cu, González *et al.* (2014) observaram aumento na matéria seca e maior absorção deste metal em *Oenothera picensi* Phil. Esses resultados podem ser justificados pela melhora nas propriedades químicas, físicas e biológicas proporcionadas ao solo pela turfa (COSTA *et al.*, 2013), acarretando em maior crescimento das plantas. Dessa forma, neste trabalho, a adição de turfa ao solo não teve resposta amenizante, mas proporcionou aumento dos parâmetros morfológicos de *Erythrina crista-galli*.

O Itra de Cu nas mudas de *Erythrina crista-galli* apresentou interação significativa entre os fatores de variação doses e turfa (Figura 2). Com a adição de turfa, os valores de Itra foram maiores e com redução mais acentuada com as doses de Cu, sendo que menos de 12% do total absorvido de Cu foi transcolado para a parte aérea quando utilizada turfa e menos de 10% na ausência de turfa. Segundo Kabata-Pendias (2011), o Cu não é um elemento prontamente móvel na planta, pois está ligado fortemente às paredes celulares das raízes. Para Pulford e Watson (2003), a regulação da absorção de metais pesados no sistema radicular e a baixa translocação para a parte aérea são mecanismos pelos quais o sistema radicular pode contribuir para a tolerância de espécies a metais pesados.

A utilização de turfa não evidenciou amenização da contaminação de Cu. No entanto, proporcionou aumento significativo em seu teor, assim como no Cu acumulado nos tecidos e efeito estimulante nos parâmetros morfológicos de *Erythrina crista-galli*. Quanto à escolha desta espécie arbórea, constatou-se baixa capacidade remediadora (fitoextração) se comparada com resultados de trabalhos com outras

espécies (CAIRES *et al.*, 2011). Além disso, as doses de Cu aplicadas no solo reduziram significativamente os parâmetros morfológicos e a tolerância das mudas.

Figura 2 – Equação de regressão para índice de translocação (Itra) de Cu em mudas de *Erythrina crista-galli* em função das doses de Cu adicionadas no solo com (200 mL L⁻¹ de solo) e sem adição de turfa. DMS = diferença mínima significativa



Fonte: Autores (2020)

Em que: Itra = Índice de Translocação; DMS = diferença mínima significativa.

4 CONCLUSÕES

A adição de turfa estimulou o crescimento das mudas de *Erythrina crista-galli*, porém não agiu como amenizante da contaminação do solo com o cobre.

A *Erythrina crista-galli* apresentou baixo potencial fitoextrator de cobre.

AGRADECIMENTOS

À Estação de Pesquisas Florestais de Santa Maria (FEPAGRO-RS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de Mestrado.

REFERÊNCIAS

ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 21-26, mar. 1998. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06831998000100003>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000200017. Acesso em: 01 set. 2020.

ANDREAZZA, R. *et al.* Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 2, p. 127-136, abr. 2013. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2013000200001&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 31 ago. 2020.

BELLION, M. *et al.* Extracellular and cellular mechanisms sustaining metal tolerance in ectomycorrhizal fungi. *Fems Microbiology Letters*, [S.L.], v. 254, n. 2, p. 173-181, jan. 2006. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6968.2005.00044.x>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16445743/>. Acesso em: 31 ago. 2020.

CAIRES, S. M. *et al.* Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 35, n. 6, p. 1181-1188, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622011000700004>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622011000700004. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. [Distrito Federal]: [Ministério do Meio Ambiente], 2009. p. 81-84. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 31 ago. 2020.

COSTA, E. M. da; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/13212>. Acesso em: 31 ago. 2020.

DELLAI, A. *et al.* Óleo de eucalipto e *Pisolithus microcarpus* no crescimento de bracatinga em solo contaminado por cobre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 9, p. 927-933, set. 2014. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09.p.927-933>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014000900008. Acesso em: 31 ago. 2020.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 10-13, n. 1 mar. 1960. CanadianInstituteofForestry. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc36010-1>. Disponível em: <https://pubs.cif-ifc.org/doi/10.5558/tfc36010-1>. Acesso em: 31 ago. 2020.

FELKER, R. M. *et al.* Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência de diferentes substratos e recipientes, em viveiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n.22; p. 809-823. 2015.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2011.

FRANCHI, J. G.; SIGOLO, J. B.; LIMA, J. R. B. Turfa utilizada na recuperação ambiental de áreas mineradas: metodologia para avaliação laboratorial. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 255-262, 1 set. 2003. Sociedade Brasileira de Geologia. <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.2003333255262>. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9780>. Acesso em: 31 ago. 2020.

GABOS, M. B. *et al.* Uso da matéria orgânica como mitigadora de solo multicontaminado e do girassol como fitoextratora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1298-1306, Dez. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001200012&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 31 ago. 2020.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. 427p.

GONZÁLEZ, I. *et al.* Effect of compost and biodegradable chelate addition on phytoextraction of copper by *Oenothera picensis* grown in Cu-contaminated acid soils. **Chemosphere**, [S.L.], v. 95, p. 111-115, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.046>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24034893/>. Acesso em: 31 ago. 2020.

GUIMARÃES, P.R. *et al.* Black Oat (*Avena strigosa* Schreb.) Growth and Root Anatomical Changes in Sandy Soil with Different Copper and Phosphorus Concentrations. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 227, n. 6, p. 192-201, 25 maio 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-016-2900-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-016-2900-5>. Acesso em: 31 ago. 2020.

JORGE, R. A. B. *et al.* Torta de filtro e turfa na mitigação de solo contaminado com resíduo de sucata rico em boro. **Bragantia**, [S.L.], v. 69, n. 2, p. 467-476, 2010. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052010000200026>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052010000200026&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 31 ago. 2020.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th. London: CRC Press, 2011. 534p.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments – A review. **Waste Management**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 215-225, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X07000165>. Acesso em: 01 set. 2020.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 368p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. rd. London: Elsevier, 2012. 651 p.

MATEOS-NARANJO, E. *et al.* Assessing the effect of copper on growth, copper accumulation and physiological responses of grazing species *Atriplex halimus*: ecotoxicological implications. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 90, p. 136-142, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.12.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651312004812>. Acesso em: 01 set. 2020.

PARK, J. H. *et al.* Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 185, n. 2-3, p. 549-574, jan. 2011. Elsevier BV. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082](http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082). Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/Role-of-organic-amendments-on-enhanced-of-heavy-Park-Lamb/847cf7a4384d0f0e4da4fb572782d84988726_a06. Acesso em: 01 set. 2020.

PEREIRA, A.C.C. *et al.* Comportamento da *Cordia africana* Lam. cultivada em solo contaminado por metais pesados e tratado com materiais amenizantes. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 329-336, 30 ago. 2013. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509810544>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982013000300329. Acesso em: 01 set. 2020.

PULFORD, I. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees: a review. **Environment International**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 529-540, jul. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0160-4120\(02\)00152-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0160-4120(02)00152-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412002001526>. Acesso em: 01 set. 2020.

SANTOS, G. C. G. dos; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 793-804, ago. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000400019>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000400019&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 01 set. 2020.

SILVA, A. J. C.; CARPANEZZI, A. A.; LAVORANTI, O. J. Quebra de dormência de sementes de *Erythrina crista-galli*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.53, p.65-78, jul./dez., 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF/42058/1/BPF_53_p65-78.pdf. Acesso em: 01 set. 2020.

SILVA, R. F. *et al.* Influência da contaminação do solo por cobre no crescimento e qualidade de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) e aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Ciência Florestal**, [S.L.], v.21, n.1, p.111-118, 30 mar. 2011. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982753>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982011000100111&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 01 set. 2020.

SILVA, R. F. *et al.* Efeito do cobre sobre o crescimento e qualidade de mudas de *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. e *Cassia multijuga* Rich. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 717-725, 30 set. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509815730>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/5037>. Acesso em: 01 set. 2020.

SILVA, R.F. *et al.* Peat influence on Zn tolerance, bioconcentration and bioaccumulation in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *African Journal Of Agricultural Research*, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 320-326, 2 fev. 2017. **Academic Journals**. <http://dx.doi.org/10.5897/ajar2016.12020>. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/227D94762565>. Acesso em: 01 set. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

USEPA - **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**. Method 3050 B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Washington: USEPA, 1996. 12p.

WILKINS, D. A. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root grown. **New Phytologist**, [S.L.], v. 80, n. 3, p. 623-633, maio 1978. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb01595.x>.

Contribuição de Autoria

1 – Rudinei De Marco

Engenheiro Florestal, Dr.

<https://orcid.org/0000-0003-2648-0279> • rudineidemarco@hotmail.com

Contribuição: Escrita – revisão e edição

2 – Rodrigo Ferreira da Silva

Engenheiro Agrônomo, Dr.

<https://orcid.org/0000-0002-1747-2149> • rodrigossilvaufsm@gmail.com

Contribuição: Administração do projeto

3 – Clovis Da Ros

Engenheiro Agrônomo, Dr.

<https://orcid.org/0000-0003-4514-8992> • clovisdaros@gmail.com

Contribuição: Análise formal

4 – Evandro Luiz Missio

Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador

<https://orcid.org/0000-0002-8582-0301> • evandro@fepagro.rs.gov.br

Contribuição: Recursos

5 – Patricia Viel

Engenheira Florestal

<https://orcid.org/0000-0001-7091-9088> • pati_viel@hotmail.com

Contribuição: Investigação

6 – André Luiz Grolli

Engenheiro Agrônomo, Me.

<https://orcid.org/0000-0002-9751-1899> • andreluisgrolli@hotmail.com

Contribuição: Escrita – primeira redação

Como citar este artigo

Marco, R. D.; Silva, R. F.; Ros, C. D.; Missio, E. L.; Viel, P.; Grolli, A. L. *Erythrina crista-galli* L. e turfa na fitorremediação de cobre no solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 475-490, 2021. DOI 10.5902/1980509818914. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509818914>. Acesso em: xx mês abreviado 202x.