

## Amenizante Orgânico e *Eucalyptus grandis* para Fitoestabilização de Solo Contaminado com Cobre

Rudinei De Marco<sup>1</sup>, Rodrigo Ferreira da Silva<sup>1</sup>, Douglas Leandro Scheid<sup>1</sup>, Clovis Orlando da Ros<sup>1</sup>, Vanderlei Rodrigues da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Frederico Westphalen/RS, Brasil

### RESUMO

Este trabalho avaliou a utilização de turfa como amenizante e *Eucalyptus grandis* como técnica de fitoestabilização para remediar solo contaminado com cobre. O trabalho foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 × 6), sendo sem e com adição de turfa (200 mL L<sup>-1</sup> de solo) e seis doses de cobre adicionadas ao solo (0 mg kg<sup>-1</sup>, 60 mg kg<sup>-1</sup>, 120 mg kg<sup>-1</sup>, 180 mg kg<sup>-1</sup>, 240 mg kg<sup>-1</sup>, 300 mg kg<sup>-1</sup> de solo), com seis repetições. Avaliaram-se a altura das mudas, o diâmetro do colo, a massa seca radicular e aérea, a área superficial específica, os teores e a quantidade acumulada de cobre no sistema radicular e na parte aérea e o índice de translocação. A adição de turfa possibilitou efeito amenizante da contaminação por cobre e favoreceu o crescimento das mudas. As mudas de *Eucalyptus grandis* apresentam elevado acúmulo de cobre nas raízes, o que permite indicá-la como promissora para fins de fitoestabilização de solos contaminados com cobre.

**Palavras-chave:** espécie arbórea, metal pesado, fitorremediação.

## Organics Amendment and *Eucalyptus grandis* for Phytostabilization on Soil Contaminated with Copper

### ABSTRACT

This work aimed to use peat as ameliorating and *Eucalyptus grandis* for the phytostabilization technique for remediation of a contaminated soil with copper. The work was conducted under completely randomized design in a factorial arrangement (2 × 6), with and without addition of peat (200 mL L<sup>-1</sup> of soil) and six doses of copper (0 (Zero), 60, 120, 180, 240, 300 mg kg<sup>-1</sup> of soil), with six replications. Evaluations consisted of seedling height, stem diameter, shoots and roots dry weight, specific surface area, copper concentrations and accumulation in roots and shoots and translocation index. Peat addition showed an ameliorating effect on soil contaminated with copper and higher seedlings growth. *Eucalyptus grandis* seedlings showed higher copper accumulation in roots, and with characteristics may indicate this species for phytostabilization of soils contaminated with copper.

**Keywords:** arboreal species, heavy metal, phytoremediation.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os elementos potencialmente tóxicos ao ambiente, o cobre, quando em altas concentrações, é um dos principais metais pesados poluentes do solo e águas (Andreazza et al., 2010). A intensificação de atividades industriais, agrícolas, de mineração e de urbanização são as principais causas de contaminação por cobre (Hladun et al., 2015; Mackie et al., 2012). Diante disso, são necessários estudos que envolvam técnicas para diminuir a contaminação das áreas contaminadas.

O uso de espécies arbóreas é uma estratégia importante para a recuperação de áreas contaminadas com metais, pois possuem ciclo de vida longo e, com grande produção de biomassa, acumulam maior quantidade de metais nas raízes e no caule, sendo interessante em programas de fitoestabilização de sítios contaminados com metais pesados (Brunner et al., 2008; Jensen et al., 2009).

Embora na literatura sejam escassos trabalhos relacionados à fitoestabilização de metais com espécies florestais, estudos realizados por Magalhães et al. (2011) avaliaram o potencial das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus saligna* em conjunto com resíduos siderúrgicos na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. Os autores concluíram que a espécie *Eucalyptus saligna* apresentou maior acúmulo total de zinco, ficando a maior parte do metal retido nas raízes, dessa forma, é possível que espécies do gênero *Eucalyptus* possuam potencial na descontaminação do solo. Associado a isso, Souza & Fiorentin (2013) relatam que o *Eucalyptus grandis* é uma espécie de crescimento rápido e de produção de biomassa elevada, o que desperta interesse para estudos que avaliam a resposta da espécie em solo contaminado com metais pesados.

Entretanto, altas concentrações de metais no solo podem limitar o estabelecimento da vegetação, sendo necessária a utilização de plantas em associação com amenizantes da contaminação. Dentre os materiais orgânicos naturais, reconhecido por sua alta capacidade de troca iônica (Jorge et al., 2010). A forte atração da turfa pela maioria dos cátions de metais em solução deve-se à elevada capacidade de complexação, resultando em eficiência como amenizante da contaminação do solo com metais (Santos & Rodella, 2007). Este trabalho objetivou avaliar a utilização de turfa como amenizante e *Eucalyptus grandis* para a técnica de fitoestabilização para remediar solo contaminado com cobre

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada pertencente ao Colégio Agrícola de Frederico Westphalen, entre os meses de maio e setembro de 2014. O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho coletado em área sem intervenção antrópica, na profundidade de 0 a 20 cm, nas dependências da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Frederico Westphalen. Como material orgânico foi utilizada a turfa Green®, cujos resultados das análises química e física estão apresentados na Tabela 1, conforme metodologia descrita por Mann & Ritchie (1993), para o cobre solúvel, e de Tedesco et al. (1995) para os demais elementos.

As unidades experimentais foram compostas por sacos plásticos de polietileno com capacidade volumétrica de 600 cm<sup>3</sup>, contendo uma muda. As sementes do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden foram fornecidas pelo Centro de Pesquisas Florestais da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), unidade de Santa Maria, RS. A semeadura foi realizada

**Tabela 1.** Análise química e física do solo e solo com turfa (solo + turfa) utilizados para o desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus grandis*.

**Table 1.** Chemical and physical analyses of soil and soil with peat (soil + peat) used for the development of *Eucalyptus grandis* seedlings.

Substrato	pH-água 1:1	Ca+Mg ---- cmolc kg <sup>-1</sup> ----	Al	H+AL	P	K ---- mg kg <sup>-1</sup> ----	Cu <sub>solúvel</sub>	M.O. ---- % ----	Argila
Solo	5,2	4,23	0,33	5,34	2,16	61,52	0,21	1,15	65,00
Solo + turfa*	5,3	15,21	0,21	6,11	43,28	368,53	0,12	4,38	57,00

\*200 mL de turfa L<sup>-1</sup> de solo.

em sementeiras e, ao apresentarem um par de folhas definitivas, as mudas foram transplantadas para as unidades experimentais.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial ( $2 \times 6$ ), sendo sem e com turfa ( $200 \text{ mL L}^{-1}$  de solo (v:v) e seis doses de cobre no solo [ $0 \text{ mg kg}^{-1}$  (sem adição de cobre),  $60 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $120 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $180 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $240 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $300 \text{ mg kg}^{-1}$ ], com seis repetições. As doses de cobre foram aplicadas 30 dias antes do transplante das mudas na forma de solução de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), sendo diluídas em 50 mL de água para homogeneização no solo por agitação em saco plástico. Primeiramente, as doses de cobre foram misturadas somente no solo sem turfa, permanecendo 15 dias em repouso para estabilização das suas reações químicas com os colóides do solo. Posteriormente, adicionou-se a turfa, deixando-se novamente o solo em repouso por mais 15 dias antes do transplante das mudas, para estabilização das reações químicas da turfa com o solo e o contaminante. Uma amostra do solo contaminado de cada tratamento foi separada para a determinação dos teores de cobre ligado a matéria orgânica, conforme descrito por Mann & Ritchie (1993) e pseudo-totais, conforme metodologia 3050b (USEPA, 1996).

O experimento foi conduzido por 120 dias após o transplante das mudas. No decorrer desse período foram realizadas irrigações diárias, baseadas na pesagem de unidades experimentais, mantendo-se a umidade a aproximadamente 80% da capacidade de campo. As adubações foram realizadas de duas formas: na base, aplicando-se o equivalente a 150 g de N, 700 g de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 100 g de  $\text{K}_2\text{O}$  por  $\text{m}^3$  de solo; e na cobertura, utilizando-se 100 g de N e 30 g de  $\text{K}_2\text{O}$  diluídos em 10 L de água. A adubação de cobertura foi realizada em três momentos: aos 30 dias após o transplante das mudas, aplicando-se N e K; aos 60 dias, aplicando-se somente N; e aos 90 dias, aplicando-se N e K, seguindo as recomendações de Gonçalves & Benedetti (2005).

Ao final do experimento avaliou-se a altura da parte aérea (H), medida com régua graduada, do colo das mudas até o ápice caulinar; diâmetro do colo (DC), medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Para determinação da massa seca do sistema radicular (MSR) e da parte aérea (MSPA), ambas as frações foram separadas na região do colo da muda e secas em estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  até massa

constante. A massa seca total (MST) foi obtida pela soma da MSR com MSPA. Conforme metodologia de Tennant (1975), estimou-se área superficial específica (ASE) das raízes.

Após a pesagem da massa seca da raiz e da parte aérea, o material foi moído em moinho tipo Willey (peneira de malha de 10 mesh) para a determinação dos teores de cobre nos tecidos vegetais, através de digestão nítrico-perclórica (3:1) e determinação em espectrofotometria de absorção atômica, conforme descrito por Miyazawa et al. (2009).

Com base na massa seca, nos teores de cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) do sistema radicular (CuR) e da parte aérea (CuPA), nas quantidades acumuladas de cobre ( $\mu\text{g planta}^{-1}$ ) no sistema radicular (CuAR), na parte aérea (CuAPA) e no total das mudas (CuAT), na dose zero de cobre ( $d_0$ ) e nas doses de  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  à  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $d_n$ ), foi calculado o índice de translocação (Itra), através da Equação 1, que corresponde à porcentagem total absorvida de cobre que foi transportado para a parte aérea (Abichequer & Bohnen, 1998).

$$Itra = \frac{\text{CuAPA}_{dn}}{\text{CuAT}_{dn}} * 100 \quad (1)$$

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando apresentaram interação significativa foram submetidos à análise de regressão do fator quantitativo dentro de cada nível do fator qualitativo. Para os parâmetros sem interação significativa, foram desdobrados os efeitos simples, sendo as médias do fator qualitativo comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro e as médias do fator quantitativo submetidas à análise de regressão polinomial pelo programa SISVAR (Ferreira, 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição das doses de cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) no solo resultou em teores iniciais do metal superiores ao estabelecido como valor máximo de investigação permitido para solos agrícolas pela resolução n. 420/2009 (CONAMA, 2009), que é de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 1A). Desse modo, as doses de  $\text{Cu}^{+2}$  foram eficientes para a contaminação do solo, possibilitando o desenvolvimento do experimento.

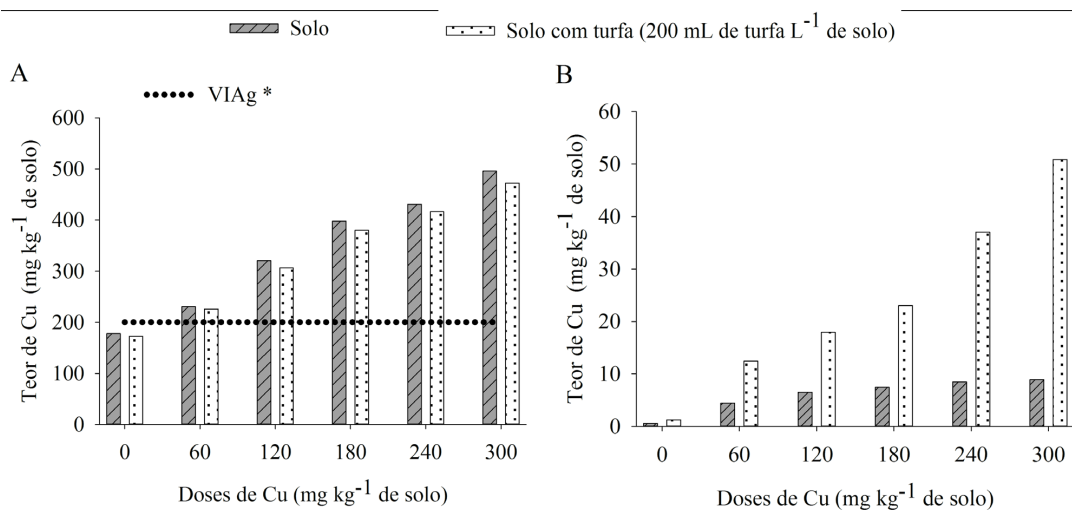
A utilização de  $200 \text{ mL}$  de turfa  $\text{L}^{-1}$  de solo proporcionou maior retenção de cobre ligado à matéria orgânica, em relação ao tratamento sem turfa, aumentando

os teores de  $\text{Cu}^{+2}$  retido com as doses crescentes do metal utilizadas para a contaminação do solo. Quando utilizado  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{+2}$  para contaminar o solo, o  $\text{Cu}^{+2}$  adsorvido na matéria orgânica foi 5,7 vezes maior com  $200 \text{ mL}$  de turfa  $\text{L}^{-1}$  adicionados ao solo em relação ao tratamento sem turfa (Figura 1B). Esse resultado decorre da forte atração da turfa pela maioria dos cátions de metais em solução (Santos & Rodella, 2007).

A massa seca radicular, a área superficial específica da raiz e o índice de translocação das mudas de *E. grandis* não apresentaram interação significativa ( $p > 0,05$ ) entre as doses de  $\text{Cu}^{+2}$  e os tratamentos com e sem adição de turfa. Contudo, ao se analisar o

efeito isolado dos fatores de variação, verificou-se que a adição de turfa ao solo aumentou significativamente o valor de todas essas variáveis (Tabela 2). Isso pode ser justificado pela adição da turfa ter proporcionado maior teor de nutrientes em comparação ao tratamento sem turfa (Tabela 1), pois elementos químicos como P, K, Ca e Mg são essenciais ao desenvolvimento vegetal (Taiz & Zeiger, 2013) e, também, pela turfa ser considerada um material amenizante de toxicidade de  $\text{Cu}^{+2}$ , pela capacidade de adsorção do metal (Santos & Rodella, 2007).

As doses de  $\text{Cu}^{+2}$  reduziram linearmente a massa seca radicular (MSR) e a área superficial específica (ASE) das mudas de *E. grandis* em 65,5% e 41,1%,



**Figura 1.** Teores iniciais de cobre pseudo-total no solo (A) e cobre adsorvido à matéria orgânica (B) em função das doses de cobre aplicadas no solo, sem e com adição de turfa ( $200 \text{ mL}$  de turfa  $\text{L}^{-1}$  de solo). \*VIAg = Valor de investigação para áreas agrícolas (CONAMA, 2009).

**Figure 1.** Initial concentrations of copper “pseudo-total” on soil (A) and copper adsorbed by organic matter (B) in function of the doses of copper in soil, without and with peat addition ( $200 \text{ mL}$  of peat  $\text{L}^{-1}$  of soil). \*VIAg = Investigation value for agricultural areas (CONAMA, 2009).

**Tabela 2.** Efeito simples dos fatores de variação doses de cobre e turfa na massa seca radicular (MSR), área superficial específica (ASE) e índice de translocação (Itra) das mudas de *Eucalyptus grandis*.

**Table 2.** Simple effect of variation factors of copper doses and peat on root dry weight (MSR), specific surface area (ASE) and translocation index (Itra) of *Eucalyptus grandis* seedlings.

Avaliações	Doses de $\text{Cu}^{+2}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			Turfa <sup>(2)</sup>		CV (%)
	Equação de regressão	R <sup>2</sup>	PR (%) <sup>(1)</sup>	Sem	Com	
MSR ( $\text{g planta}^{-1}$ )	$\hat{y} = 0,87 - 0,0019x$	0,97	-65,5	0,41 B <sup>(3)</sup>	0,73 A	32,2
ASE ( $\text{cm}^2$ )	$\hat{y} = 38,65 - 0,053x$	0,96	-41,1	26,27 B	35,25 A	29,17
Itra (%)	$\hat{y} = 28,61 - 0,07x$	0,90	-73,4	12,1 B	24,96 A	23,42

<sup>(1)</sup>Percentual de redução com a dose máxima de  $\text{Cu}^{+2}$  aplicada ( $300 \text{ mg kg}^{-1}$ ). <sup>(2)</sup>Adição de  $200 \text{ mL L}^{-1}$  de solo. <sup>(3)</sup>Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV: coeficiente de variação.

respectivamente, com a dose máxima de  $\text{Cu}^{+2}$  aplicado ( $300 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 2). A toxidez de  $\text{Cu}^{+2}$  no sistema radicular se expressa, sobretudo, na ausência de formação de raízes e, conseqüentemente, redução da capacidade de absorção de água e nutrientes essenciais ao crescimento da planta (Taiz & Zeiger, 2013). De acordo com Kukkola et al. (2000), a inibição do crescimento da raiz é reconhecida como um dos sintomas mais evidentes de toxicidade de  $\text{Cu}^{+2}$ , justificando o elevado percentual de redução observado neste estudo.

A elevação das doses de  $\text{Cu}^{+2}$  no solo também influenciou negativamente o índice de translocação (Itra) das mudas de *E. grandis*, sendo 73,4% menor na dose  $300 \text{ mg de Cu}^{+2} \text{ kg}^{-1}$  de solo, quando comparado ao tratamento sem aplicação do metal. De acordo com os valores médios, observou-se que a translocação de  $\text{Cu}^{+2}$  para a parte aérea foi inferior a 25% (Tabela 2). A baixa translocação para a parte aérea ocorre porque o  $\text{Cu}^{+2}$  está fortemente ligado às paredes celulares das raízes, não sendo prontamente móvel na planta (Kabata-Pendias, 2011). Ao que parece, as pectinas celulares exercem forte influência na retenção de metais a nível radicular, sendo demonstrado que as preferências de ligação com metais são:  $\text{Al}^{+3} > \text{Cu}^{+2} > \text{Pb}^{+2} > \text{Zn}^{+2}$  (Franco et al., 2002). De acordo com Magalhães et al. (2011), para a fitoestabilização devem ser escolhidas espécies com capacidade de absorver contaminantes biodisponíveis e retê-los nas raízes, restringindo sua translocação às folhas. Dessa forma, as mudas de *E. grandis* demonstraram potencial para serem utilizadas em programas de fitoestabilização.

A análise da variância revelou interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as doses de  $\text{Cu}^{+2}$  e os tratamentos com e sem adição de turfa para a altura, diâmetro do colo, massa seca da parte aérea, teor de cobre e cobre acumulado no sistema radicular e parte aérea das mudas de *E. grandis* (Figuras 2 e 3).

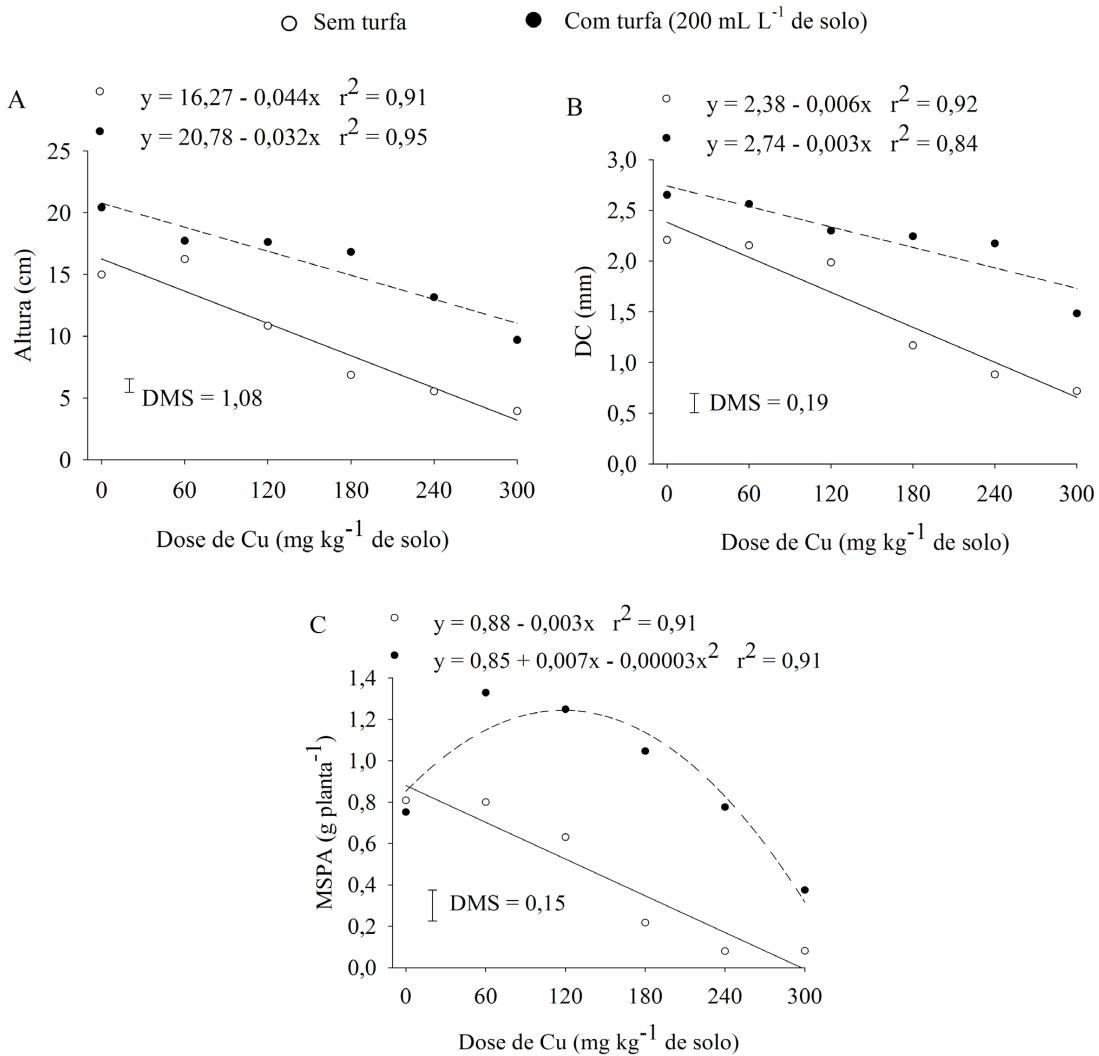
A altura e o diâmetro do colo das mudas de *E. grandis* foram estatisticamente superiores com a utilização de  $200 \text{ mL de turfa L}^{-1}$  de solo. Com as crescentes doses de  $\text{Cu}^{+2}$  ao solo verificou-se redução linear para esses parâmetros morfológicos (Figuras 2A e 2B). Estudos com espécies arbóreas também comprovam a redução da altura e do diâmetro do colo em função de teores elevados de  $\text{Cu}^{+2}$  no solo (Silva et al., 2014; Dellai et al., 2014). De acordo com Almeida et al. (2007), o  $\text{Cu}^{+2}$  pode causar distúrbios no crescimento e desenvolvimento

da planta, afetando negativamente importantes processos fisiológicos. O excesso desse metal afeta o sistema radicular, bem como o crescimento da parte aérea, induzindo distúrbios na estrutura das proteínas e inibição do alongamento celular causada pelo aumento na permeabilidade da membrana plasmática e lignificação da parede celular, resultando em plantas com sintomas de nanismo (Yruela, 2009). É possível que essas alterações fisiológicas tenham ocorrido, culminando na redução da altura e diâmetro do colo das mudas de *E. grandis*.

As doses de  $\text{Cu}^{+2}$  adicionadas ao solo resultaram em redução linear na massa seca da parte aérea (MSPA) na ausência de turfa, contudo, no tratamento com turfa houve estímulo com ponto de máxima na dose estimada de  $116,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo (Figura 2C). A utilização de turfa proporcionou estatisticamente maior MSPA a partir de  $60 \text{ mg de Cu}^{+2} \text{ kg}^{-1}$  de solo, evidenciando que a adição da turfa pode ter reduzido o efeito tóxico do metal sobre esse parâmetro morfológico. Além da redução da massa seca, normalmente são observados sintomas de clorose na parte aérea (Yruela, 2013), devido à substituição dos íons  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  na molécula de clorofila por  $\text{Cu}^{2+}$ , induzindo o colapso no processo de fotossíntese (Küpper et al., 1996; Kabata-Pendias, 2011). No entanto, não foram observados sintomas de clorose nas mudas de *E. grandis* do presente estudo.

Os teores de  $\text{Cu}^{+2}$  no sistema radicular e na parte aérea das mudas de *E. grandis* foram significativamente maiores na ausência de turfa no solo (Figuras 3A e 3B). Esse resultado pode dever-se à turfa conter naturalmente grande quantidade de substâncias húmicas, que do ponto de vista físico-químico são responsáveis pela adsorção de metais, ocasionando redução dos teores do metal disponíveis para a absorção pelas plantas (Franchi et al., 2003).

O máximo  $\text{Cu}^{+2}$  acumulado no sistema radicular foi alcançado com doses estimadas do metal no solo de  $108,3 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $290 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, respectivamente, nos tratamentos sem e com turfa (Figura 3C). Enquanto o máximo acúmulo na parte aérea foi alcançado com  $57,1 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $145,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, respectivamente nos tratamentos sem e com turfa (Figura 3D). González et al. (2014), ao usarem como fonte de matéria orgânica um composto orgânico para amenizar o efeito tóxico do  $\text{Cu}^{+2}$ , observaram maior produção de matéria seca e também maior absorção desses metais pelas plantas



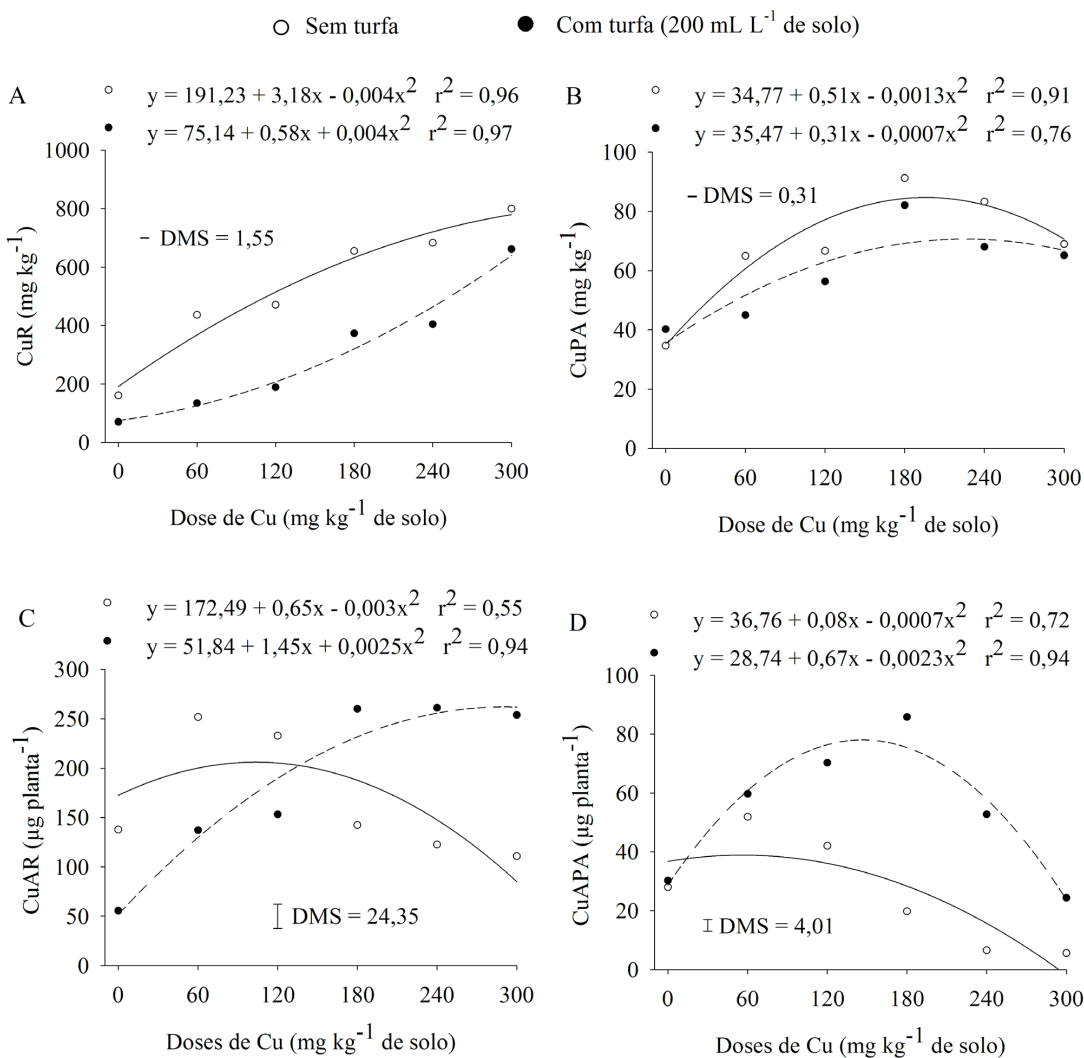
**Figura 2.** Equações de regressão para a altura (A), diâmetro do colo – DC (B) e massa seca da parte aérea – MSPA (C) em mudas de *Eucalyptus grandis* submetidas a doses de cobre na ausência e presença de turfa (200 mL de turfa L<sup>-1</sup> de solo). DMS = diferença mínima significativa.

**Figure 2.** Regression equations for height (A), stem diameter – DC (B) and shoot dry weight – MSPA (C) in *Eucalyptus grandis* seedlings submitted of copper doses and without and with peat addition (200 mL of peat L<sup>-1</sup> of soil). DMS = least significance difference.

de *Oenothera picensi* Phil. Esses resultados podem dever-se a melhora das características químicas, físicas e biológicas que a turfa proporcionou ao solo (Costa et al., 2013), que acarretou maior crescimento e, conseqüentemente, maior acúmulo por planta.

De forma geral, os resultados deste estudo sugerem que o *E. grandis* possui potencial para ser usado na remediação de solos contaminados com Cu<sup>+2</sup>, pois a espécie possui elevada capacidade de acúmulo do metal nas raízes. Além disso, os teores de Cu<sup>+2</sup> nas

raízes e na parte aérea das mudas foram superiores aos encontrados por Caires et al. (2011) em mudas de cedro-rosa (*Cedrela fissilis*). Quanto à utilização de turfa, além do aumento dos parâmetros morfológicos das mudas de *E. grandis*, houve redução do teor de Cu<sup>+2</sup> no solo e na massa seca das mudas, resultado almejado ao se utilizar um amenizante de toxicidade de metais pesados no solo. Sugere-se a condução de estudos que considerem um período maior de cultivo, de preferência em condições de campo, e que



**Figura 3.** Equações de regressão para o teor de cobre na raiz – CuR (A) e parte aérea – CuPA (B), cobre acumulado na raiz – CuAR (C) e na parte aérea – CuAPA (D) em mudas de *Eucalyptus grandis* submetidas a doses de cobre na ausência e presença de turfa (200 mL de turfa L<sup>-1</sup> de solo). DMS = diferença mínima significativa.

**Figure 3.** Regression equations for roots copper concentration – CuR (A) and shoots -CuPA (B), roots copper accumulation - CuAR (C) and shoots – CuAPA (D) in *Eucalyptus grandis* seedlings submitted of copper doses and without and with peat addition (200 mL of peat L<sup>-1</sup> of soil). DMS = least significance difference.

contemplem diferentes doses de turfa para estimar a dose correta desse material como amenizante de solo contaminado com o metal.

#### 4. CONCLUSÕES

A adição de 200 mL de turfa L<sup>-1</sup> de solo possibilita efeito amenizante de cobre no solo e favorece o crescimento das mudas de *Eucalyptus grandis*.

As mudas de *Eucalyptus grandis* apresentam elevada capacidade de acúmulo de cobre nas raízes e possuem potencial para uso na fitoestabilização de solo contaminado com cobre.

#### STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 21 jun., 2016  
 Aceito: 2 jul., 2016

## AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

### Rudinei De Marco

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM,  
Campus Frederico Westphalen, Linha 7 de  
Setembro, BR 386, Km 40, s/n, CP 54, CEP  
98400-000, Frederico Westphalen, RS, Brasil  
e-mail: rudineidemarco@hotmail.com

## REFERÊNCIAS

- Abichequer AD, Bohnen H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 1998; 22(2): 21-26. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000100003>.
- Almeida AAF, Valle RR, Mielke MS, Gomes FP. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 2007; 19(2): 83-98. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000200001>.
- Andreazza R, Okeke BC, Lambais MR, Bortolon L, Melo GWB, Camargo FAO. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. *Chemosphere* 2010; 81(9): 1149-1154. PMID:20937516. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.09.047>.
- Brunner I, Luster J, Günthardt-Goerg MS, Frey B. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution* 2008; 152(3): 559-568. PMID:17707113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.07.006>.
- Caires SM, Fontes MPF, Fernandes RBA, Neves JCL, Fontes RLF. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com Cu: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. *Revista Árvore* 2011; 35(6): 1181-1188.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil [online], Brasília, DF (2009 dez. 30). [citado em 2014 dez. 18]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>
- Costa EM, Silva HF, Ribeiro PRA. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. *Enciclopédia Biosfera* 2013; 9(17): 1842-1860.
- Dellai A, Silva RF, Perrando ER, Jacques RJS, Grolli AL, Marco RD. Óleo de eucalipto e *Pisolithus microcarpus* no crescimento de bractanga em solo contaminado por cobre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2014; 18(9): 927-933. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p927-933>.
- Ferreira DF. *SISVAR: sistema de análise de variância. Versão 5.3*. Lavras: UFLA; 2011.
- Franchi JG, Sígolo JB, Lima JRB. Turfa utilizada na recuperação ambiental de áreas mineradas: metodologia para avaliação laboratorial. *Revista Brasileira de Geociências* 2003; 33(3): 255-262.
- Franco CR, Chagas AP, Jorge RA. Ion-exchange equilibria with aluminum pectinates. *Colloids and Surfaces* 2002; 204(1-3): 183-192. [http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)01134-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7757(01)01134-7).
- Gonçalves JLM, Benedetti V. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF; 2005.
- González I, Neaman A, Cortes A, Rubio AC. Effect of compost and biodegradable chelate addition on phytoextraction of copper by *Oenothera picensis* grown in Cu-contaminated acid soils. *Chemosphere* 2014; 95: 111-115. PMID:24034893. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.046>.
- Hladun RK, Parker RD, Trumble TJ. Cadmium, copper, and lead accumulation and bioconcentration in the vegetative and reproductive organs of *Raphanus sativus*: implications for plant performance and pollination. *Journal of Chemical Ecology* 2015; 41(4): 386-395. PMID:25845355. <http://dx.doi.org/10.1007/s10886-015-0569-7>.
- Jensen JK, Holm PE, Nejrup J, Larsen MB, Borggaard OK. The potential of willow for remediation of heavy metal polluted calcareous urban soils. *Environmental Pollution* 2009; 157(3): 931-937. PMID:19062141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.024>.
- Jorge RAB, Abreu CA, Andrade CA, Camargo AO. Torta de filtro e turfa na mitigação de solo contaminado com resíduo de sucata rico em boro. *Bragantia* 2010; 69(2): 467-476. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000200026>.
- Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. 4. ed. Boca Raton: CRC Press; 2011.
- Kukkola E, Rautio P, Huttunen S. Stress indications in copper- and nickel-exposed Scots pine seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 2000; 43(3): 197-210. PMID:10725519. [http://dx.doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00057-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00057-X).
- Küpper H, Küpper F, Spiller M. Environmental relevance of heavy metal substituted chlorophylls using the example of water plants. *Journal of Experimental Botany* 1996; 47(2): 259-266. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/47.2.259>.
- Mackie KA, Müller T, Kandeler E. Remediation of Cu in vineyards: a mini review. *Environmental Pollution* 2012; 167: 16-26. PMID:22522314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.023>.
- Magalhães MOL, Amaral NMB So, Santos FS, Mazur N. Potencial de duas espécies de eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. *Revista Ciência Agronômica* 2011; 42(3): 805-812. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000300029>.
- Mann SS, Ritchie GSP. The influence of pH on the forms of cadmium in four west Australian soils. *Australian*



- Journal of Soil Research* 1993; 31(3): 255-270. <http://dx.doi.org/10.1071/SR9930255>.
- Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ. Análise química de tecido vegetal. In: Silva FC. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2009.
- Santos GCG, Rodella AA. 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 Ciencia do Solo* 2007; 31(4): 793-804. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000400019>.
- Silva RF, Missio EL, Steffen RB, Weirich SW, Kuss CC, Scheid DL. Efeito do cobre sobre o crescimento e qualidade de mudas de *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. e *Cassia multijuga* Rich. *Ciência Florestal* 2014; 24(3): 717-725. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509815730>.
- Souza JT, Fiorentin LD. Quantificação da biomassa e do carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em Santa Maria, RS. *Unesco & Ciência* 2013; 4(2): 253-262.
- Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995.
- Tennant DA. Test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology* 1975; 63(3): 995-1001. <http://dx.doi.org/10.2307/2258617>.
- United States Environmental Protection Agency – USEPA. *Method 3050 B: acid digestion of sediments, sludges, and soils*. Washington; 1996.
- Yruela I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology* 2009; 36(1): 409-430. <http://dx.doi.org/10.1071/FP08288>.
- Yruela I. Transition metals in plant photosynthesis. *Metallomics* 2013; 5(9): 1090-1109. PMID:23739807. <http://dx.doi.org/10.1039/c3mt00086a>.