

**EFEITO DO COBRE SOBRE O CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE
Stryphnodendron polyphyllum Mart. E *Cassia multijuga* Rich.**

EFFECTS OF COPPER ON GROWTH AND QUALITY OF *Stryphnodendron polyphyllum* Mar. AND
Cassia multijuga Rich.

Rodrigo Ferreira da Silva¹ Evandro Luiz Missio² Ricardo Bemfica Steffen³ Sidinei Wolnei Weirich⁴
Cassiano Carlos Kuss⁵ Douglas Leandro Scheid⁵

RESUMO

A contaminação do solo com cobre tem se tornado comum em regiões de mineração e agrícolas pelo uso de fungicidas a base de cobre e aplicação de dejetos líquidos de suíno ao solo, causando redução na produtividade das plantas. O trabalho objetivou determinar o efeito de doses de cobre no crescimento e qualidade de mudas de Barbatimão (*Stryphnodendron polyphyllum* Mart.) e Cássia (*Cassia multijuga* Rich.). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado num fatorial (2 x 4), sendo as duas espécies florestais, e quatro doses de cobre: 0; 150; 300 e 450 mg kg⁻¹, com 10 repetições. Avaliou-se a altura de planta, diâmetro do colo, peso da matéria seca radicular e da parte aérea, comprimento e área superficial específica radicular, e os índices de qualidade de mudas: relação entre altura da parte aérea e diâmetro do coleto; altura da parte aérea e peso da matéria seca da parte aérea e o Índice de Qualidade de Dickson. Os resultados demonstram que as doses de cobre testadas não influenciam a qualidade de mudas da Cássia enquanto o Barbatimão mantém a qualidade de mudas até 300 mg kg⁻¹ de cobre adicionado ao solo. O Barbatimão apresenta maior crescimento e qualidade de mudas que a Cássia em solo contaminado com cobre.

Palavras-chave: espécies florestais; metal pesado; Índice de Qualidade de Dickson.

ABSTRACT

Soil contamination with copper has become common in the mining and agricultural regions by the use of copper-based-fungicide and application of liquid swine slurry to the soil, causing a reduction in plant productivity. Therefore, a study was undertaken to determine the effect of copper doses in growth and quality of Barbatimão (*Stryphnodendron polyphyllum* Mart.) and Cassia (*Cassia multijuga* Rich.) seedlings. The experimental design was completely randomized in a factorial (2 x 4) being the two forest species and four doses of copper: 0, 150, 300 and 450 mg kg⁻¹, with 10 repetitions. It was evaluated plant height, stem diameter, dry weight of shoot and root length and specific root surface area, and the quality indexes

1 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto II do Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro, s/n, Caixa Postal 54, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. rodrigossilva@smail.ufsm.br

2 Engenheiro Agrônomo, Msc., Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Caixa Postal 346, CEP 97001-000, Santa Maria (RS), Brasil. Pesquisador da FEPAGO Florestas. evandro@fepagro.rs.gov.br

3 Engenheiro Agrônomo, Dr., Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. Bolsista CAPES. bemfica_steffen@yahoo.com.br

4 Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro, s/n, Caixa Postal 54, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. sidiww@hotmail.com

5 Acadêmicos do Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro, s/n, Caixa Postal 54, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. Bolsista PIBIC/CNPq. cassiacarlos@yahoo.com.br / douglasscheid@gmail.com

Recebido para publicação em 23/03/2012 e aceito em 8/04/2013

of seedlings: relationship between shoot height and diameter of the collar; height and shoot dry weight of shoots and Dickson Quality Index. The results revealed that the copper doses tested does not change the quality of seedlings of Cassia and that Barbatimão maintains the quality of seedlings up to 300 mg kg⁻¹ of copper added to soil. Barbatimão presents greater growth and quality than Cassia seedlings in soil contaminated with copper.

Keywords: forest species; heavy metal; Dickson quality index.

INTRODUÇÃO

A contaminação do solo por metais pesados é um problema oriundo do uso de insumos químicos na agricultura e de áreas de mineração (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). A agricultura é considerada a maior fonte de contaminação do solo por metais, por meio da formulação de fungicidas e fertilizantes (CAMARGO et al., 2007). Nesse sentido, a contaminação de áreas por cobre tem ocorrido devido às atividades de mineração desse elemento e, em regiões de viticultura, decorrentes da aplicação de fungicidas à base de cobre (CHAIGNON e HINSINGER, 2003; NACHTIGALL et al., 2007). Desse modo, quando uma área atinge níveis de contaminação por metais, pode ocorrer a desestruturação da vegetação natural, ocasionando limitações para o desenvolvimento de novas espécies vegetais, devido às altas concentrações do metal tóxico. Nesse contexto, torna-se importante o estudo de espécies que suportem seu desenvolvimento nestes locais contaminados.

Alguns metais (quando em baixas concentrações) são considerados nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, contudo, em concentrações excessivas resultam em fitotoxicidade (CAMARGO et al., 2007; PAIVA et al., 2004). Atualmente, listam-se como micronutrientes para as plantas o boro, o cloro, o cobre, o ferro, o manganês, o molibdênio, o zinco e o níquel. O cobre é um micronutriente essencial para o metabolismo das espécies vegetais, pois atua juntamente com enzimas no transporte de elétrons na cadeia respiratória e também como cofator de diversas outras reações (TAIZ e ZEIGER, 2004). No entanto, concentrações desse elemento entre 20 a 100 mg kg⁻¹ na matéria seca da parte aérea de plantas são consideradas tóxicas para um grande número de espécies (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Concentrações de cobre no solo, variando de 40 mg kg⁻¹ para solo arenoso e 100 mg kg⁻¹ para solo argiloso são consideradas tóxicas (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000),

ocasionando necrose das folhas, desfolhamento precoce e diminuição do crescimento da planta.

Uma alternativa para minimizar os efeitos da contaminação de solos por cobre é a fitorremediação, que consiste no uso de plantas para extrair ou reduzir a toxicidade de poluentes do solo. Essa tecnologia é não destrutiva, além de ser economicamente e socialmente aceita para remediar solos poluídos (GARBISSU e ALKORTA, 2001). Na fitorremediação buscam-se plantas que tenham como característica, a capacidade de criar rotas alternativas para metabolizar o metal contaminante (MOHR e SCHOPFER, 1995). Segundo Ramos et al. (2009), resultados promissores da fitorremediação foram obtidos com a introdução de maciços florestais em áreas contaminadas com metais. Nesse caso, é necessário encontrar espécies arbóreas que sobrevivam em ambientes contaminados e que sejam tolerantes ao metal cobre (CARNEIRO et al., 2002).

Quanto às plantas arbóreas, o *Stryphnodendron polyphyllum* é uma espécie nativa do Brasil, conhecida popularmente como Barbatimão. Destacando-se por suas propriedades medicinais, flores apícolas, além de ser recomendado para a composição de reflorestamentos mistos visando à recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2002). Por causa da elevada concentração de taninos em sua casca, o Barbatimão é utilizado na indústria do couro (curtume) e na fabricação de tintas (BACKES e IRGANG, 2002). A *Cassia multijuga*, espécie nativa do Brasil, conhecida popularmente como Cássia, destaca-se por ser pioneira, pelo valor ornamental, medicinal e revegetação de matas ciliares. Porém, pouco se conhece sobre o comportamento dessas espécies quando submetidas a solos contaminados por cobre.

Os níveis tóxicos dos metais pesados para as plantas são ainda pouco conhecidos. Desse modo, a escolha adequada de espécies utilizadas em processos de revegetação é muito importante, provocado pela necessidade de rápida adaptação aos fatores limitantes de crescimento da planta

(PRALON e MARTINS, 2001). Conforme Marques et al. (2000), as espécies arbóreas podem ser capazes de imobilizar maior quantidade de metais no tecido em relação às herbáceas. Nesse sentido, é possível que o Barbatimão e a Cássia, por serem espécies arbóreas e adaptadas às condições de clima do Brasil, possam funcionar como fitorremediadoras ou acumuladoras de cobre e assim tolerantes a este metal.

O objetivo do trabalho foi determinar o efeito de doses crescentes de cobre na qualidade de mudas de Barbatimão (*Stryphnodendron polyphyllum* Mart.) e Cássia (*Cassia multijuga* Rich).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais da UFSM, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil. O solo utilizado como substrato para a produção das mudas foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999), cuja análise química está apresentada na Tabela 1. Para estabilizar o pH do solo em 5,5 foi aplicada mistura de carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgSO_3) na relação molar 3:1, aguardando-se 50 dias até a estabilização. Para adubação de base aplicou-se o equivalente a 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia.

As unidades experimentais foram compostas por recipientes plásticos (copos) de 500 ml, com 500 g de solo. A contaminação do solo foi realizada com solução de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e a homogeneização por agitação em saco plástico. As sementes utilizadas, oriundas do Centro de Pesquisas Florestais da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO, Santa Maria, RS), foram submetidas à quebra de dormência por meio da escarificação com lixa n° 220. Na semeadura foram utilizadas 3 sementes

por unidade experimental, deixando-se uma unidade por recipiente (raleio), quando as plântulas apresentavam um par de eófilos.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 4), sendo os níveis do fator "A" composto por duas espécies florestais (Barbatimão - *Stryphnodendron polyphyllum* e Cássia - *Cassia multijuga*), e os níveis do fator "B" por quatro doses de cobre (0 (teor natural do solo), 150, 300 e 450 mg kg⁻¹ de solo), com dez repetições. O experimento foi conduzido por 180 dias, com irrigação diária baseada na pesagem das unidades experimentais, mantendo-se a umidade a 80% da capacidade de campo.

Foram avaliados os seguintes parâmetros: altura da parte aérea (H), diâmetro do colo (DC), peso da massa seca da parte aérea (PMSA), peso de massa seca radicular (PMSR), comprimento radicular (CR) e área superficial específica (ASE), conforme Tennant (1975). A altura da parte aérea foi medida com régua graduada do colo da planta até o meristema apical. O diâmetro de colo foi medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. A matéria seca foi quantificada após a separação do sistema radicular da parte aérea e ambos secos em estufa a 60°C até peso constante, em seguida pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g.

Com base nos parâmetros morfológicos avaliados foram calculados os índices de qualidade de mudas: relação entre altura da parte aérea e peso da massa seca da parte aérea (H/PMSA), relação entre altura da parte aérea e diâmetro do coleto (H/DC) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), por meio da fórmula (DICKSON et al., 1960): $\text{IQD} = \text{PMST}(\text{g}) / [\text{AP}(\text{cm}) / \text{DC}(\text{mm})] + [\text{PMSA}(\text{g}) / \text{PMSR}(\text{g})]$, sendo PMST, o peso da massa seca total obtida pela soma do PMSA e PMSR.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey e foram ajustadas equações de regressão pelo programa

TABELA 1: Características gerais do solo utilizado no experimento em casa de vegetação em Frederico Westphalen, RS, Brasil, UFSM. 2011.

TABLE 1: General characteristics of the soil used at green-house experiment in Frederico Westphalen, RS state, UFSM. 2011.

pH - água	Ca + Mg	Al	H + Al	P	K	Cu	MO	Argila
1:1	-----	Cmol/L	-----	-----	mg dm ³	-----	-----	%
5,0	4,8	0,4	3,1	8,7	20	0,8	0,7	79

SISVAR (FERREIRA, 2008), tomando como base os níveis de significância maiores que 95% ($P \leq 0,05$). O estudo da relação entre os parâmetros de crescimento da planta e as doses de cobre foi realizado por meio de uma ordenação gerada pela análise de correlação canônica (CCA), utilizando-se o *software* CANOCO Versão 4.0 (TER BRAAK e SMILAUER, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Barbatimão não apresentou diferença significativa ($P \leq 0,05$) nas doses de cobre testadas para altura, diâmetro do colo e peso da matéria seca da parte aérea, entretanto, a adição de cobre ao solo reduziu o peso da matéria seca radicular e área superficial específica radicular (Tabela 2). As doses de 0 a 300 mg kg⁻¹ de cobre não afetaram significativamente o comprimento radicular das mudas de Barbatimão, mas a dose de 450 mg kg⁻¹ reduziu esse parâmetro (Tabela 2). Segundo Johnson (1996), as substâncias químicas à base de cobre atuam como inibidores do crescimento radicular. Para a Cássia, as doses testadas não influenciaram o diâmetro do colo e peso da matéria

seca radicular, enquanto que a altura, peso da matéria seca da parte aérea, CR e ASE, diferiram significativamente, sendo reduzidas com a adição das doses de cobre (Tabela 2).

Examinando-se por dose, verifica-se que o Barbatimão apresentou maior diâmetro do colo, peso da matéria seca da parte aérea e radicular, comprimento e área superficial específica radicular que a Cássia nas doses intermediárias de cobre (150 e 300 mg kg⁻¹), não diferindo significativamente na dose de 450 mg kg⁻¹ (Tabela 2). Silva et al. (2011) verificaram variação na resposta de espécies florestais nativas à contaminação do solo por cobre obtendo maior tolerância na aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi – Anacardiaceae) em relação ao açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. e Zucc. – Malvaceae). Conforme Meirelles (2004), pequenas quantidades de metais tóxicos podem causar efeitos deletérios em processos metabólicos das plantas, porém, esses efeitos variam com a quantidade e grau da exposição, estado nutricional, metabolismo individual e a capacidade de desintoxicação da planta. Dessa maneira, percebe-se melhor capacidade de metabolização do cobre pelo Barbatimão em relação à Cássia.

TABELA 2: Altura, diâmetro, peso da massa seca da parte aérea (PMSA), peso da massa seca radicular (PMSR), comprimento (CR) e área superficial específica radicular (ASE) de mudas de Barbatimão e Cássia submetidas a doses crescentes de cobre.

TABLE 2: Height, diameter, dry mass weight of shoot (PMSA), dry mass weight of root system (PMSR), length (CR) and specific surface area of roots (ASE) of Barbatimão and Cassia seedlings, submitted to several copper doses.

Dose mg kg ⁻¹	Altura (cm)		Diâmetro (mm)		PMSA (g)	
	Barbatimão	Cássia	Barbatimão	Cássia	Barbatimão	Cássia
0	7,43 aB	11,60 aA	2,32 aA	1,63 aB	0,19 aA	0,20 aA
150	7,90 aA	6,24 bA	2,17 aA	1,03 aB	0,14 aA	0,04 bB
300	6,97 aA	6,53 bA	1,95 aA	1,10 aB	0,15 aA	0,03 bB
450	6,13 aA	6,46 bA	1,65 aA	1,11 aA	0,08 aA	0,04 bA
CV (%)	10,62		12,75		6,52	
	PMSR (g)		CR (cm)		ASE (cm ²)	
	Barbatimão	Cássia	Barbatimão	Cássia	Barbatimão	Cássia
0	0,17 aA	0,08 aB	100,6 aA	255,9 aA	51,3 aA	37,5 aA
150	0,11 abA	0,03 aB	189,8 aA	60,1 bB	29,8 abA	8,5 bB
300	0,12 abA	0,03 aB	155,2 abA	56,8 bB	30,4 abA	8,4 bB
450	0,05 bA	0,03 aA	38,6 bA	32,2 bA	7,9 bA	5,7 bA
CV (%)	5,13		45,15		43,29	

Em que: Letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

TABELA 3: Relação entre altura da parte aérea e peso da massa seca da parte aérea (H/PMSA), altura e diâmetro do colo (H/DC) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) nas mudas de Barbatimão e Cássia submetidas a doses crescentes de cobre.

TABLE 3: Relation between shoot height and dry mass weight of shoot (H/PMSA), height and diameter (H/DC) and quality index Dickson (IQD) of Barbatimão and Cassia seedlings submitted to several copper doses.

Dose mg kg ⁻¹	H/PMSA		H/DC		IQD	
	Barbatimão	Cássia	Barbatimão	Cássia	Barbatimão	Cássia
0	39,38 aA	64,44 bA	3,22 aB	7,10 aA	0,08 aA	0,02 aA
150	63,70 aB	161,65 abA	3,62 aB	6,04 aA	0,05 abA	0,01 aB
300	45,11 aB	190,65 aA	3,54 aB	5,98 aA	0,05 abA	0,01 aB
450	77,69 aB	176,87 abA	3,72 aB	5,87 aA	0,02 bA	0,01 aA
CV (%)	36,25		15,29		2,86	

Em que: Letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, dentro de cada parâmetro, não diferem entre si para o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As mudas de Barbatimão apresentaram maiores valores de peso da massa seca radicular, comprimento e área superficial específica radicular que mudas de Cássia até a aplicação de 300 mg kg⁻¹ de cobre (Tabela 2). A área superficial específica radicular é um parâmetro importante para obtenção de sistemas radiculares com maior capacidade de absorção de nutrientes. Isso significa que, para um mesmo peso de raízes, a planta que apresentar maior área superficial específica radicular, possuirá maior quantidade de raízes finas (TENNANT, 1975), conseqüentemente terá maior capacidade de absorção de nutrientes. O maior comprimento e área superficial específica radicular das plantas de Barbatimão em relação à Cássia, em doses elevadas de cobre, podem contribuir para o melhor estabelecimento dessa espécie em solo contaminado (Tabela 2, Figura 1).

Nota-se que para o Barbatimão não houve diferença significativa na relação altura da parte aérea e peso da massa seca da parte aérea (H/PMSA), enquanto que para a Cássia, a menor relação foi observada na dose 0 mg kg⁻¹ (Tabela 3). Estima-se que o valor ideal para esse índice seja de aproximadamente 2,00 sem definição de espécie (BRISSETE e BARNETT, 1991). Portanto, a dose 0 mg kg⁻¹ foi a que proporcionou melhor relação H/PMSA para as mudas da Cássia. Comparando as espécies verifica-se que na dose 0 mg kg⁻¹ não houve diferenças significativas, mas nas demais doses a Cássia foi superior ao Barbatimão (Tabela 2). Entretanto, embora todos os valores estivessem acima dos considerados desejáveis, o Barbatimão

foi o que mais se aproximou do ideal proposto por Brissete e Barnett (1991) (Tabela 3).

A relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo (H/DC) revelou que dentro de cada espécie não houve diferenças estatísticas ($P \geq 0,05$) em relação às doses testadas (Tabela 3). Entretanto, quando analisadas ambas as espécies em relação às doses, observa-se que a Cássia apresentou maior relação H/DC ($P \leq 0,05$) comparada com o Barbatimão (Tabela 3). Conforme Carneiro (1995), o valor ideal para esse índice deve estar na faixa de 5,4 a 8,1. Desse modo, apenas a Cássia manteve essa relação dentro dos limites considerados ideais.

No Barbatimão o IQD foi maior na dose 0 mg kg⁻¹, enquanto que na Cássia as doses testadas não influenciaram no IQD (Tabela 3). No desdobramento das espécies dentro de cada dose testada verifica-se que o IQD não diferiu significativamente entre as espécies nas doses 0 e 450 mg kg⁻¹, porém, nas doses de 150 e 300 mg kg⁻¹ de cobre o Barbatimão foi significativamente superior ($P < 0,05$) à Cássia (Tabela 3). Para o cálculo de IQD são considerados atributos físicos que expressam a robustez da muda, entre eles a massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicular, atributos dependentes do crescimento das raízes (DICKSON et al., 1960; FONSECA et al., 2004). Desse modo, a redução no peso da massa seca radicular das mudas de Barbatimão em doses crescentes de sulfato de cobre (Tabela 3) resultou em redução significativa no IQD não manifestando diferença em relação às mudas de Cássia na maior dose de cobre aplicada.

A análise de regressão para os parâmetros

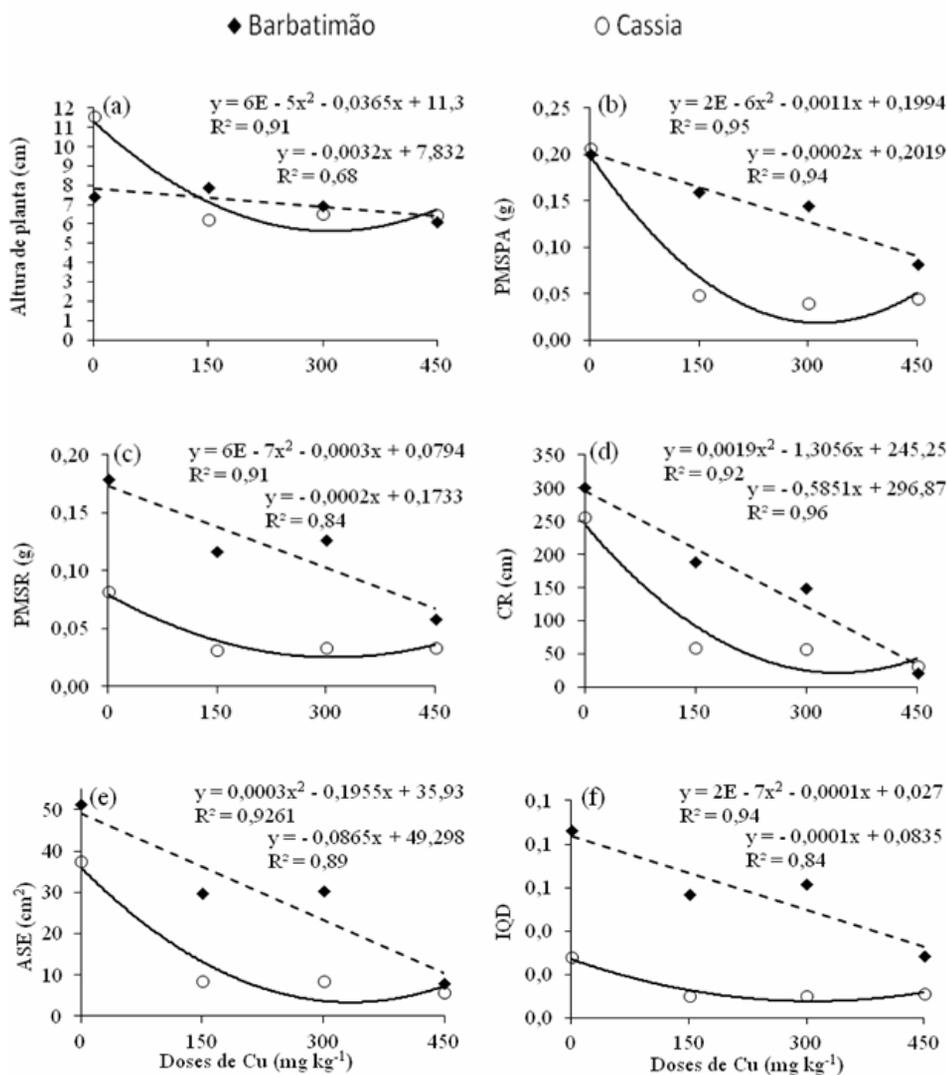


FIGURA 1: Análise de regressão para as variáveis: altura (a), peso da massa seca da parte aérea - PMSA (b), peso da massa seca radicular - PMSR (c), comprimento radicular - CR (d), área superficial específica radicular - ASE (e) e Índice de Qualidade de Dickson - IQD (f) de mudas de Barbatimão e Cássia submetidas a diferentes doses de cobre.

FIGURE 1: Regression analysis for variables: height (a), dry mass weight of shoot – PMSA (b), dry mass weight of root system– PMSR (c), root system length – CR (d), superficial specific area of root system – ASE (e) and Dickson quality index Dickson – IQD (f) of Barbatimão and Cassia seedlings submitted to several copper doses.

de crescimento da Cássia revelou redução na altura da parte aérea da planta com a dose estimada em 304 mg kg⁻¹ de cobre, redução no peso da matéria seca da parte aérea com 275 mg kg⁻¹ de cobre e redução no Índice de Qualidade de Dickson com 250 mg kg⁻¹ de cobre (Figura 1). Conforme Accioly e Siqueira (2000), concentrações de cobre no solo, variando de 40 mg kg⁻¹ para solo arenoso e 100 mg kg⁻¹ para solo argiloso podem ocasionar toxidez às plantas. Os sintomas de toxidez das

plantas ao cobre incluem necrose das folhas, desfolhamento precoce e diminuição do crescimento da planta (GRASSI FILHO, 2005). O Barbatimão evidenciou redução linear na altura de planta, peso da matéria seca da parte aérea e Índice de Qualidade de Dickson.

Em relação aos parâmetros radiculares verifica-se que a Cássia reduziu o peso da matéria seca radicular com 250 mg kg⁻¹ de cobre, o comprimento radicular com 343,6 mg kg⁻¹ e a área superficial

específica com aplicação de $325,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de cobre (Figura 1). Nota-se desse modo, que o menor valor na dose de cobre, estimada pela análise de regressão, a causar efeito negativo para o crescimento das mudas da Cássia, está relacionado ao peso da matéria seca radicular. Silva et al. (2011) trabalhando com as espécies arbóreas açoita-cavalo e aroeira-vermelha, também verificaram que o cobre afeta primeiramente o sistema radicular dessas mudas. Esses resultados corroboram com os de Graziotti (1999), o qual verificou que o excesso de metais reduz o crescimento de raízes absorventes, podendo causar necrose nessas raízes. As mudas de Barbatimão apresentaram tendência de redução linear nesses parâmetros, entretanto, os valores obtidos são significativamente superiores ($P < 0,05$) aos das mudas de Cássia (Tabela 2).

Pela análise canônica de correspondência pode-se observar que os parâmetros de avaliação das mudas de Cássia que levam em consideração a matéria seca e as relações derivadas destes resultados e o Índice de Qualidade de Dickson apresentaram relação inversa à adição de cobre no substrato (Figura 2A). Já os parâmetros associados à altura das mudas e ao diâmetro do colmo não responderam à presença do cobre. Para as mudas de Barbatimão, pode ter ocorrido efeito Hormese, o qual demonstra o efeito bioestimulador de determinado contaminante. Este efeito pode ser observado quando da presença de cobre na concentração de 300 mg kg^{-1} de substrato, onde houve estímulo no crescimento da planta

em termos de matéria seca, e na concentração de 450 mg kg^{-1} , onde houve estímulo do crescimento das mudas em diâmetro e altura (Figura 2B).

CONCLUSÕES

As doses testadas de cobre não alteram a qualidade das mudas da *Cassia multijuga*, enquanto o *Stryphnodendron polyphyllum* mantém a qualidade de mudas até 300 mg kg^{-1} de cobre adicionado ao solo.

O *Stryphnodendron polyphyllum* apresenta maior crescimento e qualidade de mudas que a *Cassia multijuga* em solo contaminado com cobre.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERS) pelo financiamento do projeto. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica PIBIC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2000. p. 299-352.
- BACKES, P.; IRGANG, B. *Árvores do Sul: Guia*

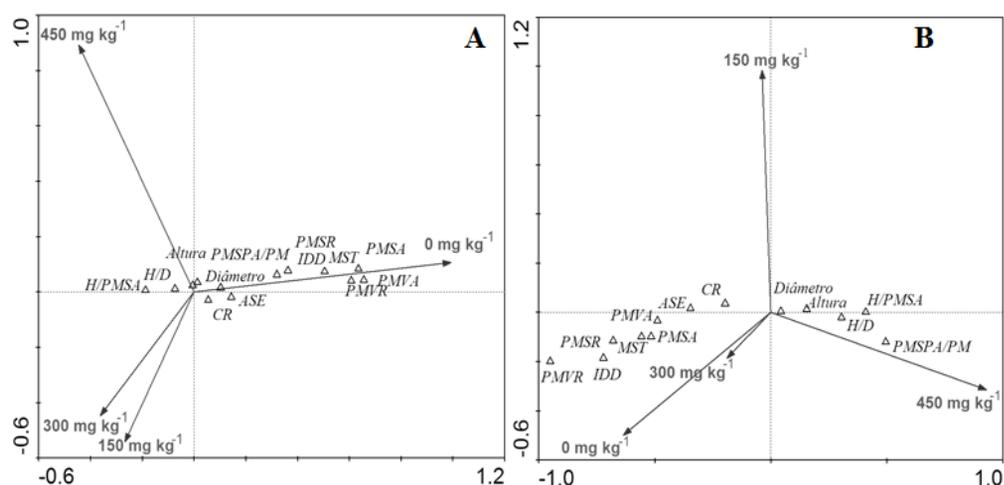


FIGURA 2: Representação gráfica da análise de correlação canônica (CCA) entre as concentrações de cobre e os parâmetros de desenvolvimento das mudas de Cássia (A) e Barbatimão (B).

FIGURE 2: Graphical representation of the canonical correlation analysis (CCA) between copper concentrations and parameters of development of seedlings of Cassia (A) and Barbatimão (B).

- de Identificação e Interesse Ecológico. 2. ed. Porto Alegre: Pallotti – Instituto Souza Cruz, 2002. 326 p.
- BRISSETE, J. C.; BARNETT, T. D. Container Seedlings. In: Duryea, M.L.; Dougherty, P.M. (ed.) **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1991. p. 117-141.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F. M. DE S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11. p. 1629 – 1638, nov. 2002.
- CAMARGO, F. A. O. et al. Uso de microrganismos para a remediação de metais. **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 467 – 496, 2007.
- CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil. **Journal of Environmental Quality**. Madison. v. 32, p. 824 – 833, May/June, 2003.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p.10 – 13, Mar., 1960.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro nacional de pesquisa de Solos (Rio de Janeiro) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999, 412 p.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium** (Lavras), v. 6, n. 2, p. 36 - 41, jul. – dez., 2008.
- FONSECA, E.; CRUZ, C. A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tebeuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 2, n. 66, p. 100-107, dez. 2004.
- GARBISCU, C.; ALKORTA, L. Phytoextraction: a cost effective plant – based technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, p. 229 - 236, May 2001.
- GRASSI FILHO, H. Cobre na planta. In: Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Departamento de Recursos Naturais. **Ciência do Solo**. Brasil. p. 1–4, 2005. Disponível em: <<http://www.ciencialivre.pro.br/media/5d14138ca192e610ffff81e2ffffd523.pdf>>.
- Acesso em: 10 dez. 2011.
- GRAZZIOTTI, P. H. **Comportamento de fungos ectomicorrízicos, Acácia mangium e espécies de Pinus e Eucaliptus em solo contaminado por metais pesados**. 1999. 177 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- JOHNSON, F. The use of chemicals to control root growth in container stock: a literature review. Ontario: Canadá. (**OMNR, Northeast Science & Technology**: TR-026). 20 p., abr., 1996. Disponível em: <http://www.mnr.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@mnr/@lueps/documents/document/mnr_e001821.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2011.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd ed. Florida: CRC Press, 2001. 413 p.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2002. v. 2, p. 202.
- MARQUES, T. C. L. L. S. M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teores de metais em mudas de espécies arbóreas tropicais em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 121-132, jan. 2000.
- MEIRELLES, L. Os metais tóxicos e seus efeitos deletérios. 2004. Disponível em: <<http://fisculturismo.com.br/artigo.php?id=168>>. Acesso em: 05 dez. 2011.
- MOHR, H.; SCHOPFER, R. **Plant Physiology**. Berlin: Springer-Verlog, 1995. 629 p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLS, 2006. 625 p.
- NACHTIGALL, G. R. et al. Copper concentration of vineyard soils as a function of pH variation and addition of poultry litter. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, p. 941-948, Nov. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/babt/v50n6/05.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2011.
- PAIVA, H. N. et al. Absorção de nutrientes por mudas de ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*) em solução nutritiva contaminada por cádmio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2. p. 189-197, mar./abr. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n2/20983.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2011.
- PRALON, A. Z.; MARTINS, M. A. Utilização do resíduo industrial Ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpinifolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicas

- arbusculares e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 55-63, abr. 2001.
- RAMOS, S. J. et al. Uso do silício na redução da toxidez de zinco em mudas de eucalipto. **Interciência, Asociación Interciencia**. Venezuela. v. 34, n. 3, p. 189-194, mar. 2009. Disponível em: < <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33911542008>>. Acesso em: 20 dez. 2011.
- 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 therebinthifolius* Raddi). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 111-118, jan./mar. 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Artmed, 3 ed. Porto Alegre, Brasil. 2004. p. 95-113.
- TENNANT, D. A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**. v. 63, n. 3, p. 995-1001, Nov., 1975.
- TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows**: Software for canonical community ordination (version 4). New York: Microcomputer Power, 1998.