

**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)**

**INFLUENCE OF COPPER SOIL CONTAMINATION ON GROWTH AND QUALITY OF AÇOITA-CAVALO (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) AND AROEIRA-VERMELHA (*Schinus therebinthifolius* Raddi) SEEDLINGS**

Rodrigo Ferreira da Silva<sup>1</sup> Fábio Luiz Fleig Saidelles<sup>2</sup>  
Alessandro Salles da Silva<sup>3</sup> Juan Silveira Bolzan<sup>4</sup>

**RESUMO**

A contaminação do solo por cobre tem se tornado comum em áreas de mineração e de viticultura no Rio Grande do Sul. O trabalho objetivou avaliar o efeito de doses de cobre sobre o crescimento e qualidade de mudas de açoita-cavalo e aroeira-vermelha. O delineamento foi inteiramente casualizado num fatorial (2 x 5), sendo as duas espécies florestais e cinco doses de cobre: 0, 64, 128, 192 e 256 mg kg<sup>-1</sup> de solo, com cinco repetições. Avaliaram-se altura da 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 revelaram que as doses testadas de cobre não alteraram a qualidade de mudas de aroeira-vermelha, enquanto que o açoita-cavalo apresentou melhor qualidade com aplicação de 64 mg kg<sup>-1</sup> de Cu. O cobre afeta primeiramente o sistema radicular das mudas de açoita-cavalo e aroeira-vermelha. A aroeira-vermelha é mais tolerante a elevadas doses de cobre do que o açoita-cavalo.

**Palavras-chave:** espécies florestais; metal pesado; tolerância.

**ABSTRACT**

Copper contamination has become common in areas of mining and grape culture in Rio Grande do Sul. The aim of this study was to evaluate the influence of the dose of copper on growth and seedling quality of acoita-cavalo and aroeira-vermelha. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (2 x 5), using two forestry species and five copper doses: 0, 64, 128, 192 and 256 mg kg<sup>-1</sup> of soil, with five replications. Plant height, collar diameter, dry mass weight of root system and shoot, length and surface specific area of root system and index of seedlings quality were evaluated and relation between shoot height and haste diameter, shoot height and shoot dry mass weight and Dickson quality index were assessed. The results showed that the copper doses tested did not change the quality of aroeira-vermelha seedlings but acoita-cavalo displayed better quality with the application of 64 mg kg<sup>-1</sup> Cu. Copper primarily affected the acoita cavalo and aroeira-vermelha root system. Aroeira vermelha was more tolerant to copper toxicity than acoita-cavalo and displayed better quality at higher copper doses.

**Keywords:** forestry species; heavy metal; tolerance.

1. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Agronomia, CESNORS-FW, Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro s/n, Caixa Postal 54, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS). rodrigossilva@smail.ufsm.br.
2. Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Secretaria de Ciência e Tecnologia, FEPAGRO Florestas, Boca do Monte, 7º Distrito, Caixa Postal 346, CEP 97001-970, Santa Maria (RS). ffeig@yahoo.com.br.
3. Engenheiro Ambiental, Mestrando do Programa de Pós-graduando em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Campus Universitário, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). alessandrosalles@yahoo.com.br.
4. Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário Franciscano, Rua dos Andradas, 1614, CEP 97010-032, Santa Maria (RS). jbolzan@terra.com.br

Recebido para publicação em 24/10/2009 e aceito em 8/06/2010

## INTRODUÇÃO

A contaminação do solo por cobre tem se tornado comum em várias regiões do Rio Grande do Sul. A contaminação de áreas por cobre ocorre por causa de atividades de mineração e em regiões vinícolas, decorrentes da aplicação de fungicidas à base de cobre (GIOVANNINI, 1997; CHAIGNON e HINSINGER, 2003; NACHTIGALL et al., 2007). Em áreas contaminadas por metais, ocorrem danos ao meio ambiente, pela ação desses elementos sobre a vegetação (GRAZZIOTTI et al., 2003). Nesse sentido, torna-se necessária a elaboração de estudos que visem à seleção de plantas tolerantes à toxicidade de cobre.

As plantas respondem de maneira diferenciada à contaminação do solo por cobre. O cobre é um elemento essencial para produtividade em plantas e participa do metabolismo de carboidratos, do nitrogênio, da síntese de lignina e de clorofila (MARSCHNER, 1995; FILHO, 2005). Algumas plantas podem tolerar níveis elevados desse elemento podendo acumular concentração superior a 1000 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca por meio de mecanismos bioquímicos (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000). Entretanto, a maioria das plantas manifesta sintomas de toxidez como necrose e redução no crescimento do sistema radicular (SOARES et al., 2000), necrose das folhas, desfolhamento precoce e diminuição do crescimento aéreo da planta (FILHO, 2005). A seleção de espécies florestais arbóreas tolerantes à toxicidade do cobre pode ser uma opção para o restabelecimento vegetal em áreas contaminadas.

No que se refere às espécies arbóreas, o açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) é uma árvore típica de solos aluviais das bacias hidrográficas, distribuídas na América Latina, sendo recomendada para controle de voçorocas e enriquecimento de florestas ribeirinhas (BACKES e IRGANG, 2002). A Aroeira-vermelha (*Schinus therebinthifolius* Raddi.) é encontrada em solos secos, pedregosos, ou até em banhados, sendo indicada para o reflorestamento de margens de reservatórios de água por se tratar de espécie pioneira (BACKES e

IRGANG, 2002). Contudo, pouco se sabe a respeito do comportamento de açoita-cavalo e aroeira-vermelha a elevadas doses de cobre.

A escolha adequada de espécies utilizadas em processos de revegetação é muito importante, em razão da necessidade de rápida adaptação aos fatores limitantes de crescimento da planta, sobretudo quando relacionado a solos contaminados (PRALON e MARTINS, 2001). Nesse caso, a avaliação da qualidade das mudas de plantas arbóreas ainda no viveiro pode ser uma ferramenta para identificar o seu adequado desenvolvimento e se elas se encontram sadias com o máximo potencial para sobrevivência após o transplante para o campo (FONSECA, 2000). Para evitar distorções provenientes do excesso de nitrogênio, ou do crescimento foliar em detrimento do sistema radicular, utilizam-se índices de qualidade, que são relações entre os parâmetros de crescimento. O índice de Qualidade de Dickson leva em consideração a produção da matéria seca da parte aérea, das raízes e total, bem como a altura e diâmetro de coleto das plantas (DICKSON et al., 1960) e tem sido o mais utilizado para avaliar qualidade de mudas.

A seleção prévia em substrato contaminado pode fornecer informações adequadas sobre a capacidade de sobrevivência da muda pós transplante para o campo. Nesse sentido, o trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito de doses de cobre sobre o crescimento e qualidade de mudas de açoita-cavalo e aroeira-vermelha.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Estação de Pesquisas Florestais da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO-Floresta) em Santa Maria, RS. O solo utilizado para compor as unidades experimentais foi um Argissolo Vermelho-amarelo (EMBRAPA, 1999) cuja análise química está apresentada na tabela 1. Para elevar o pH para 5,5, adicionou-se mistura de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e carbonato de magnésio (MgCO<sub>3</sub>) na relação molar 3:1 e

TABELA 1: Características gerais do solo utilizado no experimento em casa de vegetação em Santa Maria, RS, UFSM

TABLE 1: General characteristics of the soil used at green-house experiment in Santa Maria, RS, UFSM.

pH - água	Ca + Mg	Al	H + Al	P	K	Cu	MO	Argila
1:1	-----	Cmol <sub>c</sub> /L	-----	-----	mg dm <sup>3</sup>	-----	-----	%
5,0	8,4	11	5,5	20,8	212	0,8	2,5	21

aguardaram-se 53 dias até a estabilização do pH. Aplicaram-se o equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia no plantio.

As espécies arbóreas nativas utilizadas no trabalho foram açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) e aroeira-vermelha (*Schinus therebinthifolius* Raddi). As mudas foram formadas em viveiro, em bandeja de isopor, tendo como substrato areia lavada e, quando apresentaram um par de folhas definitivas, foram transplantadas para os vasos de cultivo com 500 g de solo.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado num esquema bifatorial (2 x 5), qualitativo em A (duas espécies florestais) e quantitativo em D (cinco doses de cobre: 0 (nível natural do solo), 64, 128, 192 e 256 mg kg<sup>-1</sup> de solo), com cinco repetições. O cobre foi aplicado como solução de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O) de forma suplementar. O experimento foi conduzido por 6 meses, mantendo o solo a aproximadamente 80% da capacidade de campo.

Os parâmetros analisados foram: (1) altura de planta (AP), (2) diâmetro do colo (DC), (3) peso da matéria seca radicular (PMSR), (4) PESO DA MATÉRIA SECA da parte aérea (PMSA), (5) comprimento radicular (CR) e (6) área superficial específica radicular (ASE), conforme Tennant (1975). A altura de parte aérea (cm) foi medida com régua graduada do colo da planta até o meristema apical. O diâmetro do colo da muda foi tomado com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Para quantificação da matéria seca, o sistema radicular foi separado da parte aérea e ambos foram secos em estufa de circulação forçada a 60°C, até atingir peso constante, logo depois, pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g.

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

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey. Foram ajustadas equações de regressão pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2006), tomando como base os níveis de significância maiores que 95% ( $P \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de 128 mg kg<sup>-1</sup> de cobre aumentou significativamente ( $P < 0,05$ ) a altura e diâmetro do colo, enquanto que a dose de 64 mg kg<sup>-1</sup> aumentou o peso da matéria seca aérea e radicular, o comprimento e área superficial específica das mudas de açoita-cavalo (Tabela 2). Conforme Filho (2005) e Dechen e Nachtigall (2006) o cobre é considerado um elemento essencial para o desenvolvimento da planta, pois participa intensivamente do metabolismo de carboidratos, nitrogênio, da síntese de lignina e clorofila. Entretanto, a partir dessas doses ocorre redução gradual nos valores desses parâmetros, sendo que para a altura e peso da matéria seca aérea ocorre redução significativa com 256 mg kg<sup>-1</sup> de cobre (Tabela 2). O cobre quando em altas concentrações na solução do solo, pode proporcionar alterações nos tecidos vegetais, em nível bioquímico e fisiológico, os quais podem resultar em perdas consideráveis do potencial produtivo das plantas (FERNANDES e HENRIQUES, 1991). Plantas expostas ao excesso de cobre apresentam redução na produção de clorofila por causa da alteração na atividade da enzima nitrato redutase, que reduz o N total na planta e, conseqüentemente, seu crescimento (LUNA et al., 1997).

Contudo, as mudas de aroeira-vermelha não manifestaram diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para altura, diâmetro, peso da matéria seca aérea e radicular com a aplicação das doses de cobre (Tabela 2). Resultado semelhante foi relatado por Marques et al. (2000), no qual a espécie *Cedrela fissilis* foi pouco afetada pelos metais do solo, chegando a ser estimulada pelos níveis de contaminação. Entretanto, observa-se diferença significativa ( $P < 0,05$ ) no comprimento radicular e área superficial específica da aroeira-vermelha na dose de 256 mg kg<sup>-1</sup> de cobre (Tabela 2). Trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o excesso de cobre exerce efeitos deletérios sobre a estrutura e funções das raízes (ADALSTEINSSON et al., 1997; SILVA, 2007), reduzindo o crescimento ou causando necrose nas raízes absorvente (SOARES et al., 2000). Desse modo, embora as mudas de aroeira-vermelha possam expressar algum potencial de sobrevivência em doses elevadas de cobre, é no sistema radicular que pode ser detectado o efeito desse metal.

Mudas de aroeira-vermelha apresentaram maiores valores de altura, diâmetro, peso da massa seca aérea, peso da massa seca radicular, comprimento e área superficial específica radicular

TABELA 2: Altura, diâmetro, peso da massa seca aérea (PMSA), peso da massa seca radicular (PMSR), comprimento (CR) e área superficial específica radicular (ASE) de mudas de açoita-cavalo (Açoita) e aroeira-vermelha (Aroeira) submetida a doses de cobre.

TABLE 2: Height, diameter, dry mass weight of shoot (ADMW), dry mass weight of root system (RDMW), length (RL) and specific surface area of roots (SSA) of açoita-cavalo (Açoita) and aroeira-vermelha (Aroeira) seedlings submitted to copper doses.

Dose mg kg <sup>-1</sup>	Altura (cm)		Diâmetro (mm)		PMSA (g)	
	Açoita	Aroeira	Açoita	Aroeira	Açoita	Aroeira
0	13,76 abA	17,23 aA	4,34 bA	3,95 aA	0,89 bcB	1,63 aA
64	20,84 aA	18,70 aA	5,24 abA	3,75 aB	1,86 aA	1,73 aA
128	19,46 aA	21,52 aA	5,58 aA	3,76 aB	1,23 abB	2,18 aA
192	15,5 abB	23,88 aA	2,20 cB	3,80 aA	1,0 abB	1,96 aA
256	9,0 bB	19,54 aA	2,70 cB	3,60 aA	0,3 cB	2,03 aA
CV (%)	14,63		7,16		12,42	
	PMSR (g)		CR (cm)		ASE (cm <sup>2</sup> )	
	Açoita	Aroeira	Açoita	Aroeira	Açoita	Aroeira
0	0,43 bcB	1,17 aA	185,9 bcB	956,4 aA	53,5 bB	200,1 aA
64	1,02 aA	0,99 aA	428,9 aB	666,6 abA	124,4 aA	155,7 abA
128	0,84 abA	1,01 aA	323,6 abB	703,4 abA	93,4 abB	163,3 abA
192	0,62 bcA	0,86 aA	211,9 bcB	606,4 abA	67,7 abB	148,5 abA
256	0,20 cB	0,90 aA	90,8 cB	458,9 bA	25,2 bB	118,9 bA
CV (%)	10,71		19,71		18,12	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ).

que mudas de açoita em doses mais elevadas de cobre (Tabela 2). A área superficial específica radicular é um parâmetro de grande importância para obtenção de sistemas radiculares com maior capacidade de absorção de nutrientes. Isso significa que, para um mesmo peso de raízes, aquela que apresentar maior área superficial específica, irá possuir 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 aroeira-vermelha em relação ao açoita-cavalo, em doses elevadas de cobre, pode contribuir para o melhor estabelecimento dessa espécie em solo contaminado (Tabela 2, Figura 1).

O maior valor da relação entre altura da parte aérea e peso de matéria seca da parte aérea (H/MSPA) encontrado nas plantas açoita-cavalo

(Tabela 3) foi na dose de 256 mg kg<sup>-1</sup>, sendo nas demais doses significativamente inferior. Estimase que o valor ideal para esse índice seja de aproximadamente 2,00 sem definição de espécie (BRISSETE e BARNETT, 1991). No presente estudo, todos os resultados foram superiores aos considerados desejáveis, variando entre 11,84 e 31,6. A relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo (H/D) revelou maior valor na dose de 192 mg kg<sup>-1</sup>. Conforme Carneiro (1995), esse valor está dentro da faixa considerada adequada para essa relação que é de 5,4 a 8,1. Para a aroeira-vermelha não houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) nessas duas relações com a aplicação das doses de cobre (Tabela 3), entretanto os valores estão acima dos limites mínimos propostos pela literatura, com exceção da relação altura e diâmetro sem aplicação de cobre.

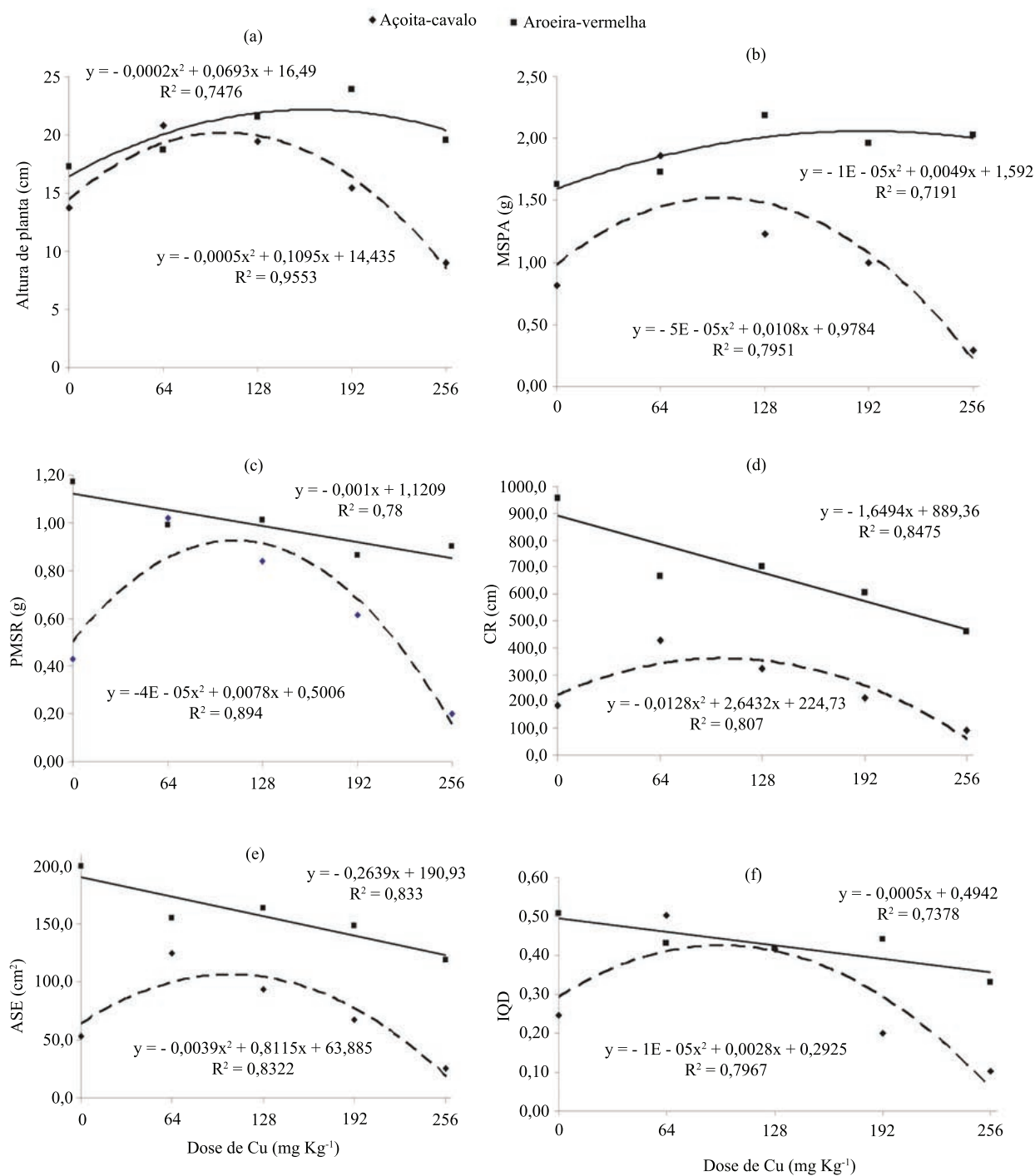


FIGURA 1: Altura (a), peso da matéria seca da parte aérea – MSPA (b), peso da matéria seca radicular – MSR (c), comprimento radicular – CR (d), área superficial específica radicular – ASE (e) e índice de qualidade de Dickson – IQD (f) de mudas de açaita-cavalo e aroeira-vermelha submetida a doses de cobre.

FIGURE 1: Height (a), dry mass weight of shoot – DMWS (b), dry mass weight of root system – DMWR (c), root system length – RL (d), specific surface area of root system – SSR (e) and Dickson quality index Dickson – QID (f) of açaita-cavalo and aroeira-vermelha submitted to copper doses.



TABELA 3: Relação entre altura da parte aérea e peso da matéria seca da parte aérea (H/PMSA), altura e diâmetro (H/D) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de açoita-cavalo (Açoita) e aroeira-vermelha (Aroeira) submetida a doses de cobre.

TABLE 3: Relation between shoot height and dry mass weight of shoot (H/PMSA), height and diameter (H/D) and Dickson quality index (IQD) of açoita-cavalo (Açoita) and aroeira-vermelha (Aroeira) submitted to copper doses.

Dose mg kg <sup>-1</sup>	H/PMSA		H/D		IQD	
	Açoita	Aroeira	Açoita	Aroeira	Açoita	Aroeira
0	20,20 bA	10,75 aB	3,13 bA	4,46 aA	0,25 bcB	0,51 aA
64	11,84 cA	13,24 aA	3,84 abA	5,50 aA	0,50 aA	0,43 aA
128	15,82 bcA	9,88 aB	3,54 abB	6,01 aA	0,41 abA	0,42 aA
192	14,77 bcA	13,15 aA	6,77 aA	6,63 aA	0,20 bcA	0,44 aA
256	31,60 aA	10,40 aB	3,28 bB	5,43 aA	0,10 cB	0,33 aA
CV (%)	13,66		14,63		7,53	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ).

A exceção da dose de 256 mg kg<sup>-1</sup>, as outras doses testadas resultaram em valores de índice de qualidade de Dickson (IQD) maiores que o índice mínimo para o açoita-cavalo (Tabela 3), correspondente a 0,2, preconizado por Dickson (DICKSON et al., 1960; FONSECA e CRUZ et al., 2004), como indicador de alta qualidade de mudas para transplântio. Entretanto, para a aroeira-vermelha até na dose de 256 mg kg<sup>-1</sup> os valores de IQD ficaram acima do índice mínimo, diferindo significativamente do açoita-cavalo. Para o cálculo de IQD, são considerados atributos morfológicos 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. Desse modo, a redução no desenvolvimento do sistema radicular das mudas de açoita-cavalo em doses crescentes de sulfato de cobre (Tabela 2) resultou em redução significativa no IQD. Rossi et al (2008) também observaram que o incremento nas doses de sulfato de cobre ocasionou redução na massa seca total do sistema e no Índice IQD de mudas de pinus.

Os resultados indicam que mudas de aroeira-vermelha apresentam ponto de máxima altura de planta com a dose 176,0 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, enquanto que o açoita-cavalo, com a dose 114,62 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (Figura 1). Para massa da matéria seca da parte aérea, as mudas de aroeira-vermelha apresentam ponto de máxima em 245 mg kg<sup>-1</sup> de

Cu e as de açoita-cavalo em 108 mg kg<sup>-1</sup> de Cu. Quando o cobre atinge elevadas concentrações no solo, variando de 40 mg kg<sup>-1</sup> para solo arenoso e 100 mg kg<sup>-1</sup> para solo argiloso (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000), pode ocorrer necrose das folhas, desfolhamento precoce e diminuição do crescimento da planta (GRASSI FILHO, 2005). Tais sintomas estão diretamente relacionados com a redução das raízes, que diminui a capacidade de absorção de água e nutrientes (PANOU-FILOTHEU et al., 2001). Esses resultados indicam maior tolerância ao cobre das mudas de aroeira-vermelha em relação às de açoita-cavalo nas doses testadas.

O açoita-cavalo revelou ponto de máxima em 97,5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu para o peso da matéria seca de raiz, 103,2 mg kg<sup>-1</sup> de Cu para o comprimento radicular, 104 mg kg<sup>-1</sup> de Cu para a área superficial específica e 115 mg kg<sup>-1</sup> de Cu para o índice de qualidade de Dickson (Figura 1). Esses valores são menores aos obtidos para a altura e peso da matéria seca da parte aérea das mudas, indicando que a raiz é o primeiro sistema a ser afetado pelo cobre. 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. Substâncias químicas à base de cobre agem na planta como inibidores do crescimento radicular (JOHNSON, 1996). Quando as raízes da planta entram em contato com a barreira química representada pelo cobre, cessam seu

crescimento longitudinal e suberizam-se (LANDIS, 1990). As mudas de aroeira-vermelha apresentaram tendência de redução linear nesses parâmetros, entretanto, os valores obtidos são significativamente superiores ( $P < 0,05$ ) aos das mudas de açoita-cavalo (Tabela 2).

## CONCLUSÕES

As doses testadas de cobre não alteram a qualidade de mudas de aroeira-vermelha, enquanto que o açoita-cavalo apresenta melhor qualidade com aplicação de 64 mg kg<sup>-1</sup> de Cu.

O cobre afeta primeiramente o sistema radicular das mudas de açoita-cavalo e aroeira-vermelha.

Mudas de aroeira-vermelha são mais tolerantes que as de açoita-cavalo à contaminação do solo por cobre e apresenta melhor qualidade de mudas em doses mais elevadas de cobre.

## 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.
- ADALSTEINSSON, S. et al. Monotonic copper-induced in fine root geometry of birch (*Betula pendula*) using nutrient film technique, **Physiology Plant**, v. 99, p. 379-384, July, 1997.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul: Guia 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: DURYEY, 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.
- CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A. Biotest for evaluating for bioavailability to plants in a contaminated soil. **Journal of environment quality**. v. 32, p. 834 -833, Mar. 2003.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.
- DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, Dec. 1960.
- FERNANDES, J. C.; HENRIQUES, F. S. Biochemical, physiology and structural effects of excess copper in plants. **The Botanical Review**, Bronx, v. 57, n. 3, p. 246 - 273, July/Sept. 1991.
- FONSECA E CRUZ, C. A. et al. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tebebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 2, n. 66, p. 100-107, nov. 2004.
- FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneurom* Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. 2000. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal)-Universidade Estadual Paulista, 2000.
- FERREIRA, D. F. **Sistemas de análise estatística para dados balanceados**. Lavras, UFLA/DEX/SISVAR, 2006, 145 p.
- GIOVANNINI, E. Toxidez por cobre em vinhedos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 3, p. 115-117, 1997.
- GRASSI FILHO, H. **Cobre na planta**. In: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS. Departamento de Recursos Naturais. Ciência do Solo, 2005. Disponível em: <<http://www.ciencialivre.pro.br/media/5d14138ca192e610ffff81e2ffffd523.pdf>>. Acesso em: 8 de setembro 2009.
- GRAZZIOTTI, P. H.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Espécies Arbóreas e ectomicorriza em relação ao excesso de metais pesados. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciências de solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 55-105.
- GRAZZIOTTI, P. H. **Comportamento de fungos ectomicorrízicos, Acácia mangium e espécies de Pinus e Eucaliptus em solo contaminado por metais pesados**. 1999. 177 f. 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: 1996. 20p. (OMNR, Northeast Science e Technology: TR-026). Disponível em: <[http://www.mnr.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@mnr/@lueps/documents/document/mnr\\_e001821.pdf](http://www.mnr.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@mnr/@lueps/documents/document/mnr_e001821.pdf)>. Acesso em: 10/09/2009.
- LANDIS, T. D. Containers and Growing Media. In: LANDIS, T. D. et al. **The container tree nursery manual**. Washington: Department of Agriculture,

- Forest Service, 1990. V. 2: Cap. 1: Containers: Types and Functions. Disponível em: <<http://www.mgr.net/Publications/ctnm>>. Acesso em: 20/09/2009.
- LUNA, C. M.; CASANO, I. M.; TRIPPI, V. S. Nitrate reductase is inhibited in leaves of *Tricum aestivum* treated with high levels of copper. **Physiology Plant** v. 101, p. 103-108, Mar. 1997.
- 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.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 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, Oct. 2007.
- PANOU-FILOTHEU, H. BOSABALIDIS, A. M.; KARATAGLIS, S. Effectes of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *Hirtum*). **Annals of Botany**. v. 88, p. 207-214, Sept. 2001.
- 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**, v. 25, p. 55-63, abr. 2001.
- ROSSI, V. L.; AMARANTE, C. V. T.; FLEIG, F. D. Crescimento e qualidade de mudas de *Pinus taeda* l. submetidas à poda química de raízes. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 435-442, out./dez., 2008.
- SILVA, R. F. **Tolerância de espécies florestais arbóreas e fungos ectomicorrízicos ao cobre**. 2007. 134 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- SOARES, C. R. F. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 3, p. 213-225. mar., 2000.
- TENNANT, D. A test of a modified liwe intersect method of estimating root lengh. **Journal Ecology**, Wisconsin, v. 63, p. 995-1001, Nov. 1975.