

Fitoextração de cobre e zinco de um Neossolo Quartzarênico contaminado com metais pesados

Lucia Helena Garófalo Chaves*, Ramara Sena de Souza

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

*Autor correspondente, e-mail: lhgarofalo@hotmail.com

Resumo

O uso de plantas para fitorremediação do solo constitui uma técnica capaz de empregar sistemas vegetais fotossintetizantes a fim de diminuir o nível de metais presentes nele. Objetivou-se com este trabalho avaliar a capacidade de extração de metais pesados por plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L), cultivadas sob um Neossolo Quartzarênico. O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se vasos com capacidade para 8,6 kg. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições, sendo cinco níveis de cobre (0; 20; 40; 60 e 80 mg dm⁻³) e cinco níveis de zinco (0; 20; 40; 60 e 80 mg dm⁻³). A colheita das plantas foi feita aos 90 dias após a semeadura sendo determinados: produção de matéria seca, os metais pesados nas plantas e os teores de tais metais no solo. A aplicação dos metais cobre e zinco diminuiu a matéria seca total das plantas e aumentou suas concentrações em todas as partes da planta. O pinhão-manso é mais eficiente em extrair zinco em relação ao cobre sendo por isso, necessário um maior número de cultivos em solos contaminados com o cobre.

Palavras-chave: contaminação, *Jatropha curcas* L., remediação

Phytoextraction of copper and zinc from an entisol contaminated with heavy metals

Abstract

The use of plants for soil phytoremediation is a technique capable of using photosynthetic plant systems to reduce levels of soil metals. The objective of this study was to evaluate the ability of extracting heavy metals by *Jatropha* (*Jatropha curcas* L) plants, grown under an entisol. The experiment was carried out in a greenhouse, using pots with 8.6 kg of capacity. The experimental design was completely randomized with three replications, with five levels of copper (0, 20, 40, 60 and 80 mgdm⁻³) and five levels of zinc (0, 20, 40, 60 and 80 mgdm⁻³). Plant was harvested 90 days after sowing and the dry matter content, plant and soil heavy metals content were evaluated. With the application of copper and zinc, plant total dry matter decreased and the concentrations of these evaluated metals increased in all plant parts. The *Jatropha* is more efficient in extracting zinc than copper, which is a demand of a greater number of crops grown in copper contaminated soils.

Key words: contamination, remediation, *Jatropha curcas*

Introdução

Os ecossistemas terrestres, como solos, com elevada concentração de metais pesados, exigem ação remediadora que diminua os teores desses poluentes em níveis ambientalmente seguros (Tavares et al., 2013). Essa ação, pelas atividades humanas, pode ser feita através de vários métodos, tais como escavação, incineração e outros que são bastante dispendiosos. Por isso, em anos recentes passou-se a dar preferência por métodos "in situ" que perturbem menos o ambiente e sejam mais econômicos. Dentro deste contexto, a biotecnologia oferece a fitorremediação a qual pode ser conceituada como o uso de plantas e sua microbiota associada com o fim de desintoxicar ambientes degradados ou poluídos. É uma técnica não destrutiva, com baixo custo (Tandy et al., 2004), remediando vários contaminantes ao mesmo tempo (Lambert et al., 2012). Entretanto, uma das desvantagens da fitorremediação é a lentidão na obtenção dos resultados por causa do crescimento das espécies que dependem da estação, do clima, solo, além do fornecimento de água.

Um tipo de fitorremediação utilizado é a fitoextração, que envolve a absorção pelas raízes, nas quais os contaminantes são armazenados ou são transportados e acumulados nas partes aéreas. As plantas hiperacumuladoras são altamente especializadas em acumular ou tolerar altíssimas concentrações de metais (Raskin et al., 1994). No Brasil, ainda são poucos os trabalhos relacionados a este assunto e a maioria deles é considerada como trabalhos acadêmicos (Santos et al., 2007; Coscione & Berton, 2009; Gabos et al., 2009)

As peculiaridades do pinhão-mansão fizeram com que surgisse nos últimos tempos, esse interesse em utilizá-lo na produção de biodiesel e na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados por esta espécie não ser utilizada na alimentação humana (Chaves et al., 2010).

Dentre os metais pesados, tem-se o cobre e o zinco. O cobre é um dos micronutrientes essenciais para o crescimento da planta. Ele está envolvido em inúmeras funções fisiológicas como um componente de várias enzimas (Hansch & Mendel, 2009).

No entanto, quantidades excessivas de cobre torna-se tóxico, uma vez que interfere com processos fotossintéticos e respiratórios, na síntese de proteínas e o desenvolvimento de organelas vegetais (Upadhyay & Panda, 2009). Especificamente, o excesso de cobre pode provocar clorose, inibição de crescimento da raiz e danos para a permeabilidade da membrana plasmática (Bouazizi et al., 2010).

O zinco participa de muitas enzimas com papel, principalmente, de catalisador e em muitas funções celulares, tais como o metabolismo de proteínas, de carbono fotossintético e do ácido indol acético, entretanto, com maiores concentrações causam toxicidade (Sinha, 2007). A deficiência de Zn afeta o crescimento dos caules e das raízes e os sintomas de toxicidade de Zn nas plantas, em geral, são semelhantes aos de deficiência do elemento. Um dos principais mecanismos de toxicidade de Zn pode ser um aumento da permeabilidade das membranas radiculares, o que fará com que os nutrientes saiam a partir das raízes (Kabata - Pendias & Pendias, 1992).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento do pinhão-mansão na fitorremediação de solo contaminado por metais pesados como cobre e zinco.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, no período de julho a outubro de 2011, utilizando-se vasos plásticos com 10 L de capacidade os quais foram preenchidos com 8,60 kg de substrato, constituído por solo franco arenoso classificado como Neossolo Quartzarenico (Embrapa, 2006), coletado na camada superficial do solo (0 – 0,20 m de profundidade), tendo como atributos químicos: pH (H₂O) = 5,4; Ca = 1,08 cmol_c kg⁻¹; Mg = 0,82 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,07 cmol_c kg⁻¹; K = 0,18 cmol_c.kg⁻¹; H = 3,85 cmol_c kg⁻¹; Al = 0,2 cmol_c kg⁻¹; matéria orgânica = 4,8 g kg⁻¹; P = 4,6 mg kg⁻¹.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, sendo com cinco doses de Cu e Zn (0; 20; 40; 60 e 80 mg dm⁻³) perfazendo o total

de trinta unidades experimentais, ou seja, quinze unidades experimentais com Cu e nos outros quinze com Zn, utilizando-se como fontes dos elementos sulfato de cobre e sulfato de zinco.

O substrato foi incubado com os metais Cu e Zn, por um período de 25 dias, mantido com umidade a 50 % de sua capacidade máxima de retenção de água. Após este período foi aplicado em cada unidade experimental adubação com uréia (1,91 g de nitrogênio por unidade experimental), com superfosfato triplo (5,61 g de P₂O₅ por unidade experimental) e com cloreto de potássio (2,08 g de K₂O por unidade experimental). A adubação fosfatada foi aplicada toda em fundação e as adubações potássica e nitrogenada foram distribuídas da seguinte forma: ½ das quantidades de potássio e de nitrogênio foram aplicadas aos 28 dias após a semeadura (DAS), e o restante foram aplicadas a 52 DAS.

Cada unidade experimental recebeu cinco sementes de pinhão-manso, tendo permanecido após o primeiro e o segundo desbaste, realizados vinte dias e trinta dias após o semeio (DAS), duas e uma planta por unidade, respectivamente.

Durante todo o período experimental (90 dias), o solo foi mantido com umidade corresponde a 80 % da capacidade de campo, tendo sido monitorada diariamente pelo método de pesagens.

Ao final do experimento, após 90 DAS, as plantas foram colhidas, sendo o material vegetal separado em raízes, caules e folhas, o qual, depois de lavado em água destilada e seco em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante, foi pesado e moído em moinho tipo Wiley. Posteriormente, efetuou-se a digestão nitroperclórica do material para determinação, nos extratos, de Cu e Zn por espectrofotometria de absorção atômica. Os teores destes elementos presentes nos substratos também foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

O acúmulo (A) do Cu e do Zn nas folhas, caules e raízes das plantas (mg) foi calculado pela expressão,

$$A = \frac{MSC \text{ ou } MSF \text{ ou } MSR \text{ (mg)} \times \text{Concentração do elemento (mg kg}^{-1})}{1000} \quad (1)$$

onde:

MSC-massa seca dos caules;

MSF-massa seca das folhas;

MSR-massa seca das raízes.

A quantidade total de Cu e de Zn acumulada na planta foi calculada pelo somatório das quantidades acumuladas deste elemento em cada parte da planta.

$$NC = \frac{\text{Teor de metal aplicado no solo de cada vaso}}{\text{Teor de metal acumulado na parte aérea de cada planta}} \quad (2)$$

O número de cultivos necessários para descontaminar a amostra de solo do vaso foi calculado da seguinte forma .

A matéria seca total produzida (MST) foi obtida pela equação **MST = MSP x NC**; onde MSP-matéria seca produzida e NC-número de cultivos necessários para descontaminar a área (Zeitouni et al., 2007).

Os dados foram analisados através da análise de variância e análise de regressão, através do programa estatístico software SISVAR 5.3. (Ferreira, 2009).

Resultados e Discussão

A aplicação de cobre e de zinco no solo provocou alterações nas reações fisiológicas das plantas de pinhão-manso influenciando, de forma significativa, a fitomassa seca das plantas (Tabela 1), ou seja, em geral a fitomassa seca diminuiu em função do aumento das doses dos elementos aplicados ao solo (Figuras 1 e 2).

Este comportamento foi observado também por Marques et al. (2000) que constataram que a produção de matéria seca da parte aérea das espécies arbóreas estudadas foi influenciada pela contaminação do solo (Zn, Cd, Pb e Cu), onde algumas espécies tiveram seu crescimento comprometido, como a *Hymenaea courbarile* *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. Da mesma forma foi constatado por Zeitouni et al. (2007) que a aplicação de zinco ao solo, diminuiu a matéria seca de várias culturas, como girassol, tabaco, mamona e pimenta. Entretanto, Chaves et al. (2011) não verificaram diferença significativa na produção de massa seca da parte aérea de girassol cultivado com doses crescentes de cobre e zinco, ou seja, com 0; 20; 40; 60 e 80 mg dm⁻³.

Tabela 1. Resumo das análises de variância da fitomassa seca de caule, de folha, de raiz e fitomassa seca total das plantas de pinhão-mansão em função das doses de cobre e do zinco

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		Fitomassa Seca			
		Caule	Folha	Raiz	Total
Cobre					
Tratamentos	4	36,33**	17,52ns	9,25**	164,36ns
Resíduos	10	3,38	6,50	1,17	21,64
CV %		40,43	56,04	31,57	37,15
Zinco					
Tratamentos	4	34,29**	13,04**	9,02**	154,60**
Resíduos	10	2,55	1,35	0,79	11,58
CV %		32,39	27,36	25,55	26,88

*** = Significativo no nível de 5% e 1%, de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ns = Não significativo.

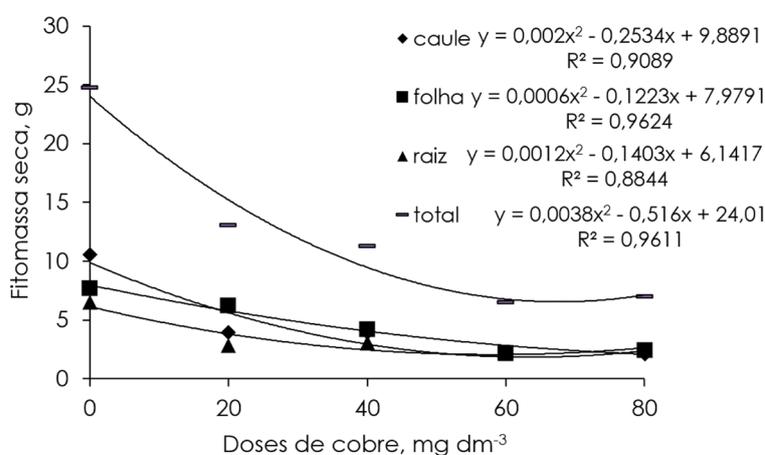


Figura 1. Fitomassa seca de caule, de folha, de raiz e fitomassa seca total das plantas de pinhão-mansão em função das doses do cobre.

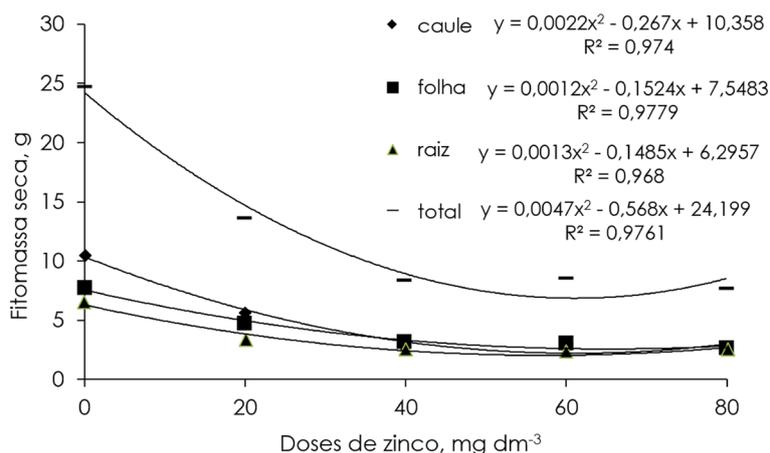


Figura 2. Fitomassa seca de caule, de folha, de raiz e fitomassa seca total das plantas de pinhão-mansão em função das doses do zinco.

A redução do crescimento de girassol, de *Vigna radiata* (L.) Wilzeck e da aveia, devido ao Cd, Cu e Zn foi observada por Gopal & Khurana (2011), Manivasagaperumal

et al. (2011) e Abranches et al. (2009), respectivamente. Esta redução na fitomassa, em excesso do metal pesado, pode ser devido à formação de baixo teor de proteína, resultando

na inibição da fotossíntese, bem como dificultando a translocação de carboidratos (Manivasagaperumal et al., 2011).

Dentre as partes da planta, o caule, foi a mais atingida pelo efeito tóxico do Cu e/ou Zn, ou seja, com a aplicação da maior dose destes elementos no solo, reduziu a fitomassa seca do caule em torno de 80,37 e 74,88 % para o Cu e o Zn, respectivamente, em relação à testemunha. A diminuição da fitomassa seca das folhas e das raízes das plantas cultivadas com a maior dose de Cu, em relação à testemunha, foi em torno de 68,78 e 61,53 %, respectivamente. No plantio com Zn, estas diminuições corresponderam a 66,06 e 61,38 %, respectivamente as folhas e as raízes. Em geral, considerando a redução da fitomassa seca total, as plantas submetidas às doses maiores de Zn foram mais tolerantes do que à aplicação de Cu no solo.

Segundo Kopittke & Menzies (2006), a redução da massa seca das plantas não é devido a uma direta toxidez de Cu nas mesmas, mas sim, por causa de sua deficiência nutricional causada pelas lesões nas raízes provocadas pelos elevados teores de Cu no solo.

Em relação ao Zn, Malavolta et al. (1997) explicam que a redução na produção de matéria seca em planta submetidas a elevados teores deste elemento é devido ao acúmulo de tampões (plugs) contendo Zn, no xilema das plantas, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta.

Zeitouni et al. (2007), avaliando o desenvolvimento de plantas de mamona

submetidas aos tratamentos com Cu (0 a 40 mg dm⁻³) e com Zn (0 a 125 mg.dm⁻³), também observaram diminuição na matéria seca das plantas com o aumento das doses dos metais aplicadas ao solo.

Os teores totais de Cu e Zn encontrados no solo, após a colheita das plantas, aumentaram em função das doses crescentes dos tratamentos e diferiram do valor inicial devido ao acúmulo dos metais pelas plantas (Figura 3 e 4), no entanto, pela análise de variância, somente os teores de Zn foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 2). O Zn como metal mais acumulado pelas plantas de pinhão-manso, conseqüentemente foi encontrado em menor teor no solo. O inverso ocorreu para o Cu, por ter sido o metal menos acumulado nas plantas e encontrado em maiores teores no solo.

As doses crescentes de Cu não tiveram efeito significativo sobre o teor e o acúmulo deste elemento nas partes da planta; ao contrário, a aplicação de Zn ao solo teve efeito significativo no teor do elemento nas partes da planta, caules, folhas e raízes, e no acúmulo deste elemento nos caules e nas folhas (Tabela 3).

Mesmo assim, quando comparados os dados de Cu com a testemunha, houve um aumento de 194, 23,43 e 367 % do Cu no caule, folhas e raízes, respectivamente; já com a aplicação de Zn houve aumentos de 4284; 1272 e 1043 % de Zn nas raízes, folhas e caule, respectivamente, quando comparados com a testemunha (Figura 5). Em geral, houve maiores

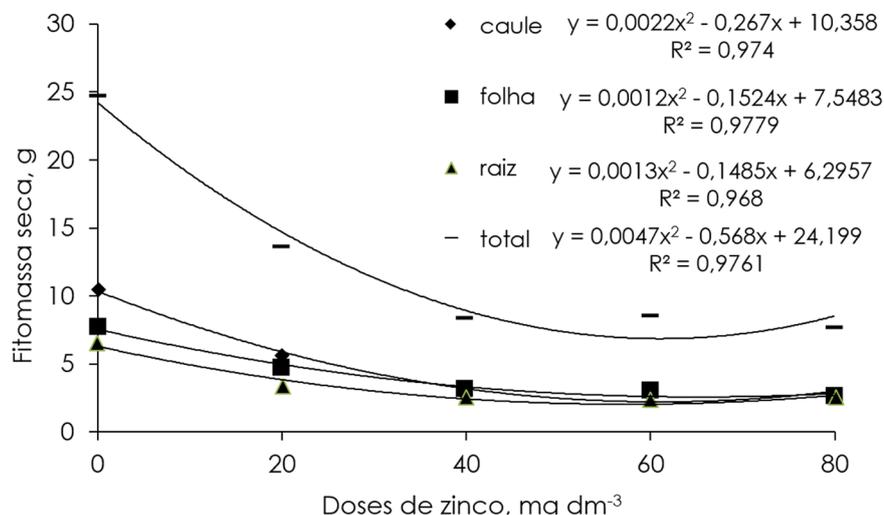


Figura 3. Teor total de cobre no solo em função das doses do cobre.

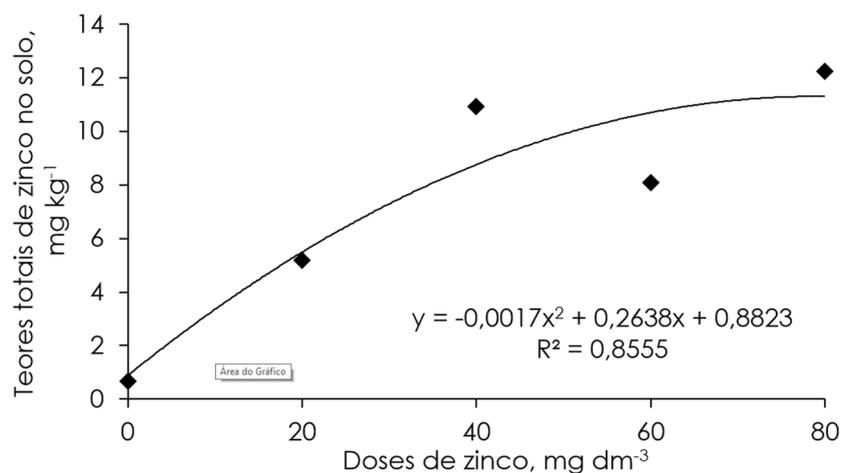


Figura 4. Teor total de cobre no solo em função das doses do zinco.

Tabela 2. Teores totais de Cu e Zn encontrados no solo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio - Teores no Solo	
		Cu	Zn
Tratamentos	4	33429,56 ^{ns}	64,95 ^{**}
Resíduos	10	8896,15	9,53
CV %		113,99	41,57

*,** = Significativo no nível de 5% e 1%, de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ns = Não significativo.

Tabela 3. Resumo das análises de variância dos teores e acúmulo de cobre e zinco encontrados nas folhas, caule e raízes das plantas de pinhão-mansão, em função das doses de cobre e zinco.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio						
		Teores			Acúmulo		Acúmulo Total	
		Caule	Folha	Raiz	Folha	Caule		Raiz
Cobre								
Tratamentos	4	2,20 ^{ns}	4,13 ^{ns}	146,11 ^{ns}	0,00020 ^{ns}	0,00002 ^{ns}	0,00023 ^{ns}	0,00039 ^{ns}
Resíduos	10	1,55	1,93	87,12	0,00026	0,00003	0,00015	0,00077
CV %		56,29	37,71	73,80	103,95	65,60	43,02	52,71
Zinco								
Tratamentos	4	26393 ^{**}	22918 [*]	2986068 [*]	0,28 [*]	0,53 ^{**}	25,45 ^{ns}	36,27 ^{ns}
Resíduos	10	1167,65	3894,08	786742,87	0,05	0,08	9,81	10,95
CV %		20,54	37,92	76,77	39,58	44,99	91,94	71,77

*,** = Significativo no nível de 5% e 1%, de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ns = Não significativo.

teores destes elementos nas raízes, seguidos no caule e folha para Cu e na folha e caule para Zn. Este comportamento não foi observado por Santos et al. (2010) estudando a fitoextração de vários metais pesados por diversas espécies vegetais; neste ensaio houve maior acúmulo de Zn e Cu nos caules dos que nas raízes das plantas.

A concentração de Cu no caule, folhas e raízes estavam abaixo dos níveis críticos, ou seja, abaixo da variação de 20 a 100 mg kg⁻¹. De forma semelhante, podem-se observar ainda os baixos valores de acúmulo do Cu pelo pinhão-mansão. Resultados semelhantes para o Cu e Zn foram encontrados por Chaves et al. (2010).

A concentração de Zn no caule e nas

folhas variou, mais ou menos, de 14-260 mg kg⁻¹ e nas raízes de 56-2480 mg kg⁻¹. De acordo com Kabatia-Pendias & Pendias (1992), os valores de 100 a 400 mg kg⁻¹ são tóxicos e a planta é acumuladora de Zn se as plantas absorvem 1% do total presente Zn no solo, o que ocorreu neste caso.

A eficiência do pinhão-mansão em remediar uma área contaminada com Cu e/ou com Zn foi muito diferente levando-se em consideração o número de cultivos necessários para cada elemento (Tabela 4).

De acordo com este número, o pinhão-mansão se mostrou mais eficiente em extrair Zn do que Cu do solo, ou seja, para descontaminar o

solo será necessário um maior número de cultivos em solos contaminados com o Cu. Conforme o número de cultivos para a descontaminação

do solo a massa seca do pinhão-mansão a ser produzida vai ser maior para Cu do que Zn.

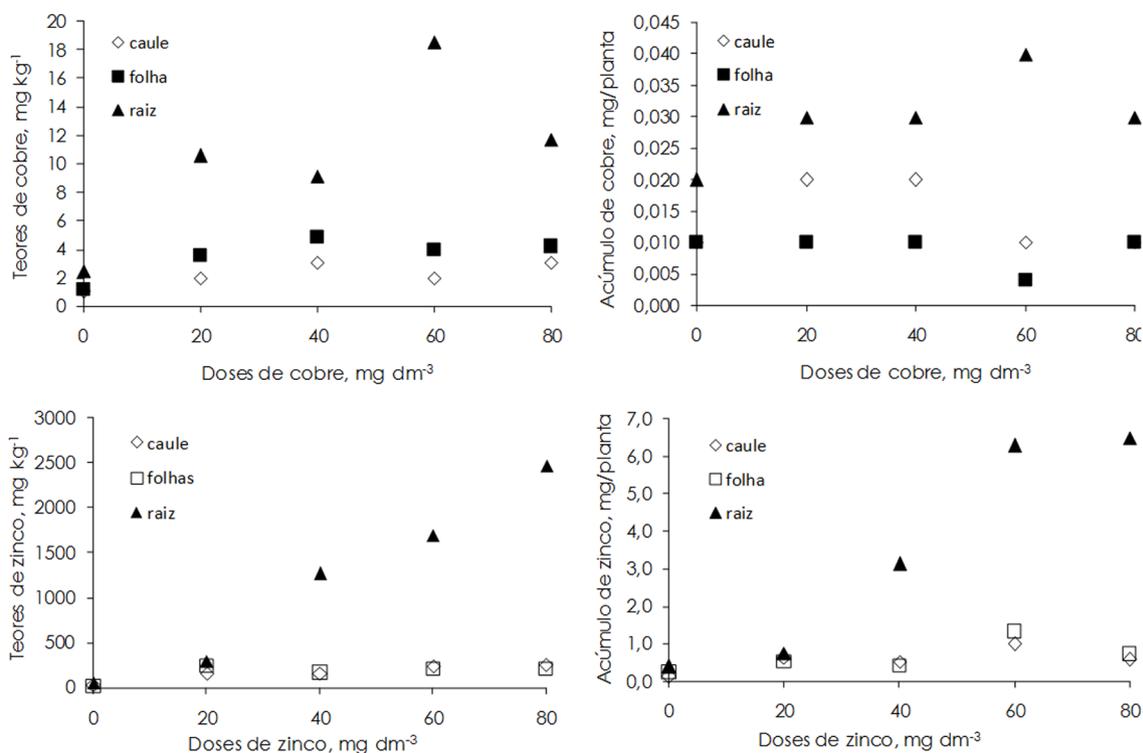


Figura 5. Teor e acúmulo do cobre e zinco nas partes das plantas em função das doses de cobre e de zinco, respectivamente.

Tabela 4. Matéria seca total na remediação e número de cultivos necessários para remediar o solo contaminado.

Doses de Cu e Zn (mg dm ⁻³)	Remediação Total			
	Cu		Zn	
	Matéria seca produzida (g vaso)	Número de cultivos	Matéria seca produzida (g vaso)	Número de cultivos
20	70309,03	5371,20	2973,37	212,40
40	108514,6	9611,57	3095,96	369,45
60	262265,1	40473,02	1913,79	223,83
80	269279,9	38578,78	4149,15	533,31

Conclusões

Para as condições apresentadas neste estudo, o pinhão-mansão é mais eficiente em extrair zinco do que o cobre.

Para descontaminar o solo, será necessário um maior número de cultivos em solos contaminados com o cobre.

Referências

Abranches, J.L., Batista, G.S., Ramos, S.B., Prado, R.M. 2009. Resposta da aveia preta à aplicação de zinco em Latossolo Vermelho Distrófico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4: 278-282.

Bouazizi, H., Jouili, H., Geitmann, A., Ferjani, E.E.I. 2010. Copper toxicity in expanding leaves of

Phaseolus vulgaris L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 1304-1308.

Chaves, L.H.G., Mesquita, E.F., Araujo, D.L., França, C.P. 2010. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-mansão. *Revista Ciência Agronômica* 41: 167-176.

Chaves, L.H.G., Estrela, M.A., Souza, R.S. 2011. Effect on plant growth and heavy metal accumulation by sunflower. *Journal of Phytology* 3: 04-09.

Coscione, A.R., Berton, R.S. 2009. Barium extraction potential by mustard, sunflower and castor bean. *Scientia Agricola* 66: 59-63

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-

- Embrapa. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 306p.
- Ferreira, D.F. 2009. *Estatística básica*. 2. ed. UFLA, Lavras, 664 p.
- Gabos, M.B., Abreu, C.A., Coscione, A.R. 2009. Edta assisted phytoremediation of a Pb contaminated soil: Metal leaching and uptake by jack beans. *Scientia Agricola* 66: 506-514.
- Gopal, R., Khurana, N. 2011. Effect of heavy metal pollutants on sunflower. *African Journal of Plant Science* 5: 531-536.
- Hansch, R., Mendel, R.R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12: 259-266.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. 1992. *Trace elements in soils and plants*. 2.ed. CRC Press, Boca Raton, 413 p.
- Kopittke, P.M., Menzies, N.W. 2006. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant and Soil* 279: 287-296.
- Lambert, L.F.M, Soares, R.P.S., Souza, S.C. 2012. O uso da fitorremediação para recuperação de solos contaminados por petróleo. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/XI-065.pdf>< Acesso em 06 de Out. 2014>.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Potafos, Piracicaba, 319 p.
- Marques, T.C.L.L.S.M., Moreira, A.M.S., Siqueira, J.O. 2000. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 121-132.
- Manivasagaperumal, R., Vijayarengan, P., Balamurugan, S., Thiyagarajan, G. 2011. Effect of copper on growth, dry matter yield and nutrient content of *vigna radiata* (L.) Wilczek. *Journal of Phytology* 3: 53-62.
- Raskin, I., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, S., Salt, D.E. 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion Biotechnology* 5: 285-290.
- Santos, F.S., Magalhães, M.O.L., Mazur, N., Amaral Sobrinho, N.M.B. 2007. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. *Scientia Agricola* 64: 506-512.
- Santos, G.C.G., Rodella, A.A., Abreu, C.A., Coscione, A.R. 2010. Vegetable species for phytoextraction of boron, copper, lead, manganese and zinc from contaminated soil. *Scientia Agricola* 67: 713-719.
- Sinhal, V.K. 2007. Phytotoxic and cytogenetic effects of Zn²⁺ and Pb²⁺ in *Vicia faba*. *Pollution Research* 26: 417-420.
- Tandy, S., Bossart, K., Mueller, R., Ritschel, J., Hauser, L., Schulin, R., Nowack, B. 2004. Extraction of heavy metals from soils using biodegradable chelating agents. *Environmental Science Technology* 38: 937-944.
- Tavares, S.R.L., Oliveira, S.S., Salgado, C.M. 2013. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. *Holos* 5: 80-97.
- Upadhyay, R.K., Panda, S.K. 2009. Copper-induced growth inhibition, oxidative stress and ultrastructural alterations in freshly grown water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Comptes Rendus Biologies* 332: 623-632.
- Zeitouni, C.F., Berton, R.S., Abreu, C.A. 2007. Fitoextração de cádmio e zinco de um Latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. *Bragantia* 66: 649-657.