



Utilização da mucuna preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy) para a fitorremediação de solo contaminado por chumbo¹

Utilization of the Mucuna aterrima plants in phytoremediation of soil contaminated by lead

Carlos Henrique dos Santos^{2*}, André Luis de Oliveira Garcia³, Juliano Carlos Calonego², Carlos Sérgio Tiritan², Isabela Marega Rigolin⁴, Thadeu Henrique Novais Spósito⁵

Resumo - O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o acúmulo de chumbo (Pb) no tecido vegetal de mucuna preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy.) em solo contaminado por este elemento e verificar o potencial de fitorremediação desta planta. As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade para 9 dm³ de solo. Os tratamentos consistiram de níveis crescentes de Pb nos recipientes: 18,8; 37,5; 75; 150; 300; 600 e 1.200 mg kg⁻¹ de Pb na forma de (Pb(NO₃)₂). Os tratamentos foram distribuídos no delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Amostras do solo e do tecido vegetal foram coletadas noventa dias após a semeadura para a quantificação das massas das matérias secas da parte aérea e das raízes para a determinação do acúmulo de chumbo. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. As plantas de mucuna preta apresentaram maior acúmulo de Pb em sua parte aérea, em função da massa de matéria seca produzida; não houve alteração significativa na produção da massa de matéria seca das raízes e da parte aérea em função das doses de Pb no solo.

Palavras-chave - Fitoextração. Espécies Hiperacumuladoras. Poluição do Solo. Metal Pesado.

Abstract - The work was to evaluate the accumulation of Pb in plant tissue of velvet bean (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy.) in contaminated soil for this element and investigate the potential for soil remediation. Plants were grown in pots with a capacity of 9 dm³ of soil. The treatments were in addition to the vessels: 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600 and 1200 mg kg⁻¹ in the form of Pb (Pb (NO₃)₂). The treatments were distributed according to statistical design DIC with three replications. Samples of soil and plant tissue were collected ninety days after sowing for the quantification of mass of dry matter of shoots and roots for the determination of Pb accumulation. The results obtained were subjected to analysis of variance and regression. The plants showed greater accumulation of Pb in shoots, depending on the weight of dry matter produced; with the gradual increase in Pb concentrations in soil there was no decrease of the dry weight of roots and shoots.

Key words - Fitoextraction. Hyperaccumulator Species. Soil Pollution. Metals.

*Autor para correspondência

¹Enviado para publicação em 27/03/2012 e aprovado em 28/08/2012

²Docentes, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UNOESTE, Campus II, Presidente Prudente, SP, chenrique@unoeste.br, juliano@unoeste.br, tiritan@unoeste.br

³Engenheiro Ambiental, Faculdade de Engenharia "Algacyr Maeder"/UNOESTE, Campus II, Presidente Prudente, SP, andregarciaa@gmail.com

⁴Docente, Faculdade de Engenharia "Algacyr Maeder"/UNOESTE, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UNOESTE, Presidente Prudente, SP, isabelarigolin@unoeste.br

⁵Docente, Faculdade de Ciências Agrárias/UNOESTE, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UNOESTE, Presidente Prudente, SP, thadeu@unoeste.br

Introdução

Há muito tempo o solo vem sofrendo inúmeras interferências antrópicas, causando-lhe sérios problemas de fertilidade e produtividade natural, interferindo de maneira negativa na sociedade. Esse processo de deterioração da qualidade do solo agravou-se bastante devido à explosão demográfica que o mundo presenciou (BRAGA, 2007).

Um dos agravantes do aumento da poluição do solo está relacionado ao acúmulo de metais pesados, uma vez que eles são responsáveis por grande impacto ambiental para o meio ambiente (ANDRADE *et al.*, 2009; SOARES *et al.*, 2005). Um metal pesado é definido como sendo um elemento com densidade maior do que 5 a 6 g cm⁻³ (TAN, 2000), de ocorrência natural e, constituindo menos de 1% das rochas da crosta terrestre (ALLOWAY; AYRES, 1997). Outras alternativas, como metais tóxicos ou elementos traço, podem ser utilizadas para referência aos metais pesados. Desta forma, a sociedade iniciou uma busca por alternativas para preservar e melhorar as condições do solo como fonte de seu sustento (BRAGA, 2007). Uma dessas alternativas é a fitorremediação, que resumidamente, refere-se ao uso de espécies vegetais e seus microrganismos associados para o tratamento do solo, da água ou do ar contaminados (ANDRADE *et al.*, 2007).

Existem inúmeras plantas com potencial fitorremediador, dentre as quais cita-se a mucuna preta, espécie leguminosa muito utilizado na agricultura nas práticas de adubação verde, contribuindo para a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo (CAMARGO FILHO, 2008). Além disso, resultados preliminares envolvendo os herbicidas como o trifloxysulfuron-sodium revelaram que a mucuna preta e o feijão de porco apresentaram maior capacidade fitorremediadora (SANTOS *et al.*, 2007).

O mecanismo utilizado pela mucuna preta para auxiliar na fitorremediação do solo é a fitoextração. Esse mecanismo consiste na extração e acúmulo dos contaminantes em seus tecidos, preferencialmente na parte aérea (ANDRADE *et al.*, 2007). No caso da fitoextração, busca-se utilizar plantas denominadas hiperacumuladoras, as quais apresentam a capacidade de acumular em seus tecidos níveis de metais pesados até cem vezes superiores a uma planta comum (LASAT, 2000). Para Marchiol (2004) e Nascimento e Ching (2006) a planta ideal para uso em fitoextração deve ter a habilidade de hiperacumular metais extraídos, preferencialmente nas partes aéreas, apresentar tolerância às altas concentrações dos metais no solo, rápido crescimento e alta produção de biomassa, além de colheita fácil.

O metal pesado chumbo (Pb) é considerado pelos Estados Unidos o segundo elemento químico mais

perigoso para o meio ambiente, ficando atrás apenas do arsênio (OVSIANY; DELAI, 2007). Sua contaminação aos recursos naturais se deve ao fato do mesmo ser muito empregado em processos industriais, produtos comerciais, mineração e produção de pesticidas e fertilizantes, além de ser aditivo em combustíveis e fazer parte de diversas composições de equipamentos elétricos, médicos e de baterias. Quando introduzido ao solo, o Pb é de difícil remoção, mas pode ser absorvido por algumas espécies vegetais como girassóis, *Brassica juncea* e *Thlaspi* sp.. Além dos graves problemas ambientais que o Pb acarreta, também é considerado uma substância altamente cancerígena (ANDRADE *et al.*, 2007).

O objetivo desse experimento foi avaliar o potencial de fitorremediação de Pb pela mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy) em solo contaminado com este metal pesado.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em condições de ambiente protegido, em vasos com capacidade para 9 (nove) dm³ de solo, na área experimental do curso de Agronomia da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, no município de Presidente Prudente/SP.

Para a composição dos tratamentos, porções de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico foram coletadas na camada de 0-20 cm, peneiradas e submetidas às análises granulométrica, conforme Embrapa (2006), e química, de acordo com Raij *et al.* (2001), cujos resultados se encontram na Tabela 1.

Os resultados da análise química do solo mostraram a necessidade de realização de calagem para a elevação da saturação de bases para 70%, bem como de adubação com 150 mg kg⁻¹ de N, 200 mg kg⁻¹ de P₂O₅ e 150 mg kg⁻¹ de K₂O, além de 0,35 mg kg⁻¹ de ácido bórico e 1,0 mg kg⁻¹ Zn, para proporcionar condições satisfatórias ao desenvolvimento das plantas. Juntamente com os fertilizantes, foi adicionado ao solo 1,66 mmol kg⁻¹ de EDTA dissódico. Esse produto é um agente sequestrante, que forma quelatos estáveis com íons metálicos em ampla escala de pH. Os agentes complexantes artificiais são bons complexantes, pois a ligação de metais com os mesmos previne a adsorção específica, ou seja, forma-se uma ligação química entre os metais pesados e os minerais da fração argila dos solos (caulinita, esmectita, haloisita e oxi-hidróxidos de Fe e Al), consequentemente aumentando a solubilidade desses poluentes e, facilitando a absorção e o acúmulo nas plantas (WILDE *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2006). Porém, apresentam baixa biodegradabilidade ambiental (MEERS *et al.*, 2004), resultando na manutenção de elevados teores de metais

Tabela 1 - Atributos químicos e granulometria do solo após à implantação do experimento, em área experimental da UNOESTE, Presidente Prudente/SP

Atributos	Resultados
pH (CaCl ₂)	5,5
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	22,0
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,0
Mat. Org. (M O) (g dm ⁻³)	22,0
P (mg dm ⁻³)	29,6
K (mmol _c dm ⁻³)	3,0
Ca (mmol _c dm ⁻³)	23,0
Mg (mmol _c dm ⁻³)	9,5
S (mg dm ⁻³)	7,5
SB (mmol _c dm ⁻³)	35,5
CTC (mmol _c dm ⁻³)	57,5
Saturação por bases (%)	72,0
B (mg dm ⁻³)	0,4
Cu (mg dm ⁻³)	1,5
Fe (mg dm ⁻³)	11,2
Mn (mg dm ⁻³)	8,6
Zn (mg dm ⁻³)	3,1
Pb (mg dm ⁻³)	0,25
Areia Total (g kg ⁻¹)	827,2
Silte (g kg ⁻¹)	98,5
Argila (g kg ⁻¹)	74,3

solúveis no solo por longo período, aumentando os riscos de lixiviação (NASCIMENTO *et al.*, 2006; KOMÁREK *et al.*, 2007). Por este motivo, para evitar a lixiviação, foi adotado o controle do molhamento dos vasos em 80% da CC (Capacidade de Campo). Em função da adição de nitrogênio pelo nitrato de chumbo (utilizado como fornecedor de Pb ao solo), a quantidade deste elemento mineral via fertilizante foi reduzida proporcionalmente em cada tratamento, de forma a fornecer a mesma quantidade de nitrogênio a todas as plantas do experimento.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado composto por oito tratamentos (níveis de Pb), aplicados no solo via nitrato de chumbo II PA, com três repetições, totalizando vinte e quatro parcelas (vasos). Os tratamentos foram caracterizados da seguinte forma: Tratamento 1 (T1) = Testemunha - sem adição de Pb(NO₃)₂; Tratamento 2 (T2) = 18,8 mg kg⁻¹ de Pb; Tratamento 3 (T3) = 37,5 mg kg⁻¹ de Pb; Tratamento 4 (T4) = 75 mg kg⁻¹ de Pb; Tratamento 5 (T5) = 150 mg kg⁻¹ de Pb; Tratamento 6 (T6) = 300 mg kg⁻¹ de Pb; Tratamento 7 (T7) = 600 mg kg⁻¹ de Pb; e Tratamento 8

(T8) = 1.200 mg kg⁻¹ de Pb. Os valores adotados estão relacionados aos níveis de Referência de Qualidade (17 mg kg⁻¹ de Pb), Prevenção (72 mg kg⁻¹ de Pb), Intervenção em Áreas Agrícolas (180 mg kg⁻¹ de Pb), Intervenção em Áreas Residenciais (300 mg kg⁻¹ de Pb) e Intervenção em Áreas Industriais (900 mg kg⁻¹ de Pb) determinados pela CETESB (2005).

A semeadura das plantas de mucuna preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy) foi realizada distribuindo-se quatro sementes por vaso, sendo que, após dez dias da semeadura (DAS) (completa emergência), realizou-se um desbaste deixando-se apenas uma plântula em cada vaso. A umidade do solo foi mantida a 80% da CC através do método de pesagem dos vasos, durante o desenvolvimento do experimento, para permitir também a absorção dos nutrientes adicionados ao solo e o desenvolvimento adequado das plantas de mucuna preta.

Aos 90 DAS foram coletadas quatro subamostras de solo dos vasos, com um trado tipo sonda, a 15 cm de profundidade, as quais formaram uma amostra composta por parcela, para a realização da análise química, com a finalidade de determinação da concentração de Pb disponível. Para isso, utilizou-se a solução extratora de DTPA - pH 7,3 seguindo metodologia descrita por Raij *et al.* (2001) com a determinação dos elementos por espectrofotometria de absorção atômica em chama (AAS) em equipamento PerkinElmer, modelo AAnalyst 200. Na mesma oportunidade da coleta das amostras de solo, as plantas foram colhidas, segmentadas em parte aérea (no colo da planta) e sistema radicular (lavadas com água sobre peneira com malha de 2 mm para retirar o solo, o qual, posteriormente, foi recuperado por decantação e a água encaminhada para filtragem), determinadas as massas das matérias secas da parte aérea e do sistema radicular e encaminhadas ao laboratório de análise química de tecido vegetal para a determinação do teor de Pb, em ambas as partes segmentadas do tecido, de acordo com Malavolta *et al.* (1997), a qual consiste na digestão das amostras com HNO₃/HClO₄ (2:1 v/v) e determinação do Pb por espectrofotometria de absorção atômica em chama (AAS) em equipamento PerkinElmer, modelo AAnalyst 200.

Posteriormente, com os valores das massas da matéria seca da parte aérea e das raízes, bem como o teor de Pb de ambos, calculou-se o acúmulo de Pb no tecido vegetal. Os valores de Pb determinados nas amostras de terra e no tecido vegetal, as massas das matérias secas da parte aérea e do sistema radicular e o acúmulo de Pb, nas respectivas partes segmentadas, foram submetidos à análise de variância e regressão. O critério de escolha do modelo que representasse melhor o efeito das doses de Pb nas plantas de mucuna preta foi baseado no grau de significância do coeficiente de determinação (R²), ao nível de 5% de probabilidade, de cada variável estudada.

Resultados e discussão

A concentração de chumbo (Pb) no solo aumentou gradativamente com a quantidade adicionada (Figura 1), não atingindo, entretanto, a disponibilidade máxima em relação ao total adicionado ao mesmo.

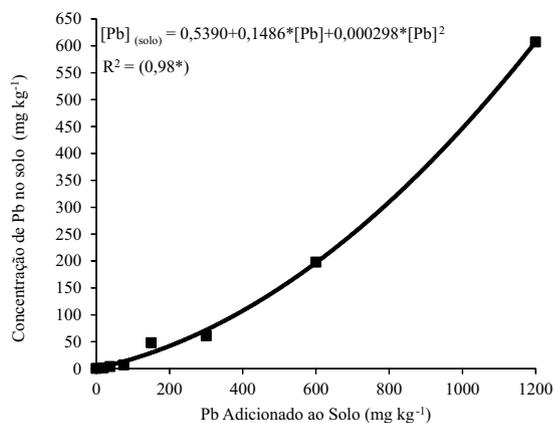


Figura 1- Concentração de Pb no solo disponível para a absorção das plantas de mucuna preta em função de doses aplicadas. * Significativo a 5% de probabilidade.

Os solos que receberam a adição de Pb superior à 150 mg kg⁻¹ apresentaram concentração maior do que a padronizada pela CETESB (2005), cujo valor de referência de qualidade do solo é de 17 mg kg⁻¹ para esse elemento. O valor de intervenção em solos apresentado pela CETESB (2005) foram obtidos nos tratamentos superiores a aplicação de 600 mg kg⁻¹ de Pb. A CETESB (2005) orienta que deve haver uma intervenção em solos agrícolas, residenciais e industriais quando a concentração de Pb encontrada for igual ou superior aos valores de 180, 300 e 900 mg kg⁻¹, respectivamente.

A diferença observada entre a quantidade de Pb adicionada ao solo (Figura 1) e a determinada em função da análise química (Tabela 1) pode estar relacionada às características físico-químicas do solo, uma vez que o excesso de metal pesado poderá estar distribuído em diferentes frações no compartimento solo, devido à forma de ocorrência e à sua mobilidade (ANDRADE *et al.*, 2007), além de suas associações com o pH e com o potencial redox do solo (SHARMA; DUBEY, 2005).

Segundo Pierangeli *et al.* (2001), no solo, o Pb é um dos elementos com menor mobilidade, sendo acumulado naturalmente nos horizontes superficiais e também encontrado em diversas formas químicas,

sempre associado aos argilominerais, oxihidróxidos de ferro, alumínio e manganês. Para Andrade *et al.* (2007) esses fatores, dentre outros, dificultam a mobilidade do elemento no solo bem como sua remoção (extração) pelas plantas. Para esses casos, porém, a utilização de agentes quelantes pode melhorar a mobilidade de metais no solo, pois formam complexos com os mesmos (MEERS *et al.*, 2004), reduzindo, assim, as cargas positivas e afetando a disponibilidade às plantas.

De acordo com as Figuras 2A e 2B, mesmo com a utilização do agente quelatizante, as plantas absorveram o Pb presente no solo, indicando, indiretamente, a necessidade de remediação do Pb em ciclos vegetativos seguintes.

As plantas de mucuna preta, associadas ao tratamento correspondente à dose de 1.200 mg kg⁻¹ de Pb no solo, apresentaram maior teor de Pb na parte aérea e no sistema radicular, respectivamente (Figuras 2A e 2B).

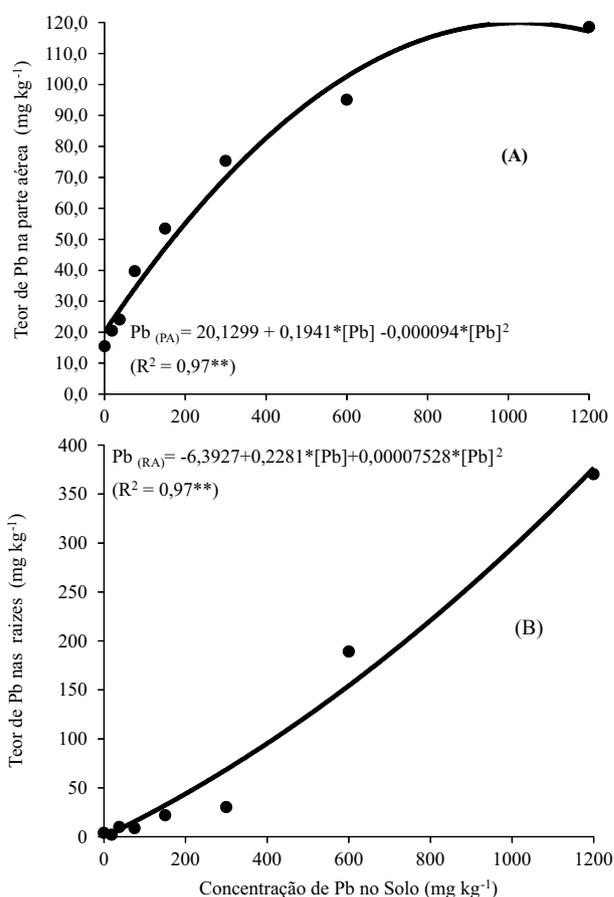


Figura 2 - Teores de Pb na parte aérea (A) e nas raízes (B) das plantas de mucuna preta em função da concentração de Pb no solo. ** Significativo a 1% de probabilidade.

De acordo com Santos *et al.* (2007), a mucuna preta possui boa capacidade para descontaminação de solo pelo fato de realizar interações com a microbiota atuante na região próxima às suas raízes. Anselmo e Jones (2005) relataram que plantas indicadoras de estresses ambientais regulam a absorção e o transporte de metais pesados, por exemplo, em seu tecido, indicando que a concentração interna na parte aérea reflete os níveis externos do metal.

Os teores de Pb encontrados na parte aérea das plantas de mucuna preta dos tratamentos 4 ao 8 (Figura 2A) estão dentro da faixa considerada tóxica para as plantas em geral (30 a 300 mg kg⁻¹), segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001). Assim, a translocação de Pb das raízes para a parte aérea indicam a atuação de mecanismo de resistência das plantas em solos altamente contaminados.

Entretanto, mesmo com a adição de Pb no solo e com a absorção deste elemento pelas mucunas, não foi possível realizar um ajuste de regressão polinomial para explicar a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes (Figuras 3A e 3B). Os dados apenas indicaram que as plantas submetidas ao manejo com Pb no solo não apresentaram diferença significativa nas variáveis estudadas comparadas à testemunha.

Conforme argumentação de Andrade *et al.* (2007), elementos como Hg, Pb e As podem ser absorvidos pelas raízes, até um determinado nível, mas podem não ser translocados para a parte aérea em quantidades suficientes para diminuir o crescimento das mesmas. Almeida *et al.* (2008) não observaram alteração no crescimento das plantas de feijão de porco à medida que se aumentou a dose de Pb na solução nutritiva, até a dose de 1000 µg kg⁻¹. Ainda de acordo com os autores, o índice de produção do feijão de porco foi satisfatório, demonstrando que o Pb afetou pouco a produção de matéria seca; evidenciase, desta forma, a possibilidade do uso do feijão-de-porco como planta fitoextratora.

O fato de não ter ocorrido alteração significativa na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes das mucunas (Figuras 3A e 3B) também pode estar associado à dose do agente quelante que foi adicionada ao solo. De acordo com Melo *et al.* (2006) a adição de metais pesados (Pb, Cu e Zn) e as aplicações de agentes quelantes tiveram forte influência sobre a produção de matéria seca de parte aérea e de raiz das plantas de mucuna preta e de milho. De acordo com os autores, a fitotoxidez dos metais provocou redução de 92 e 85% no crescimento radicular, e de 96 e 81% na parte aérea das duas espécies, respectivamente.

Em concordância com os dados acima, Lasat (2000) também observou que a adição de 10 mmol kg⁻¹ de EDTA em solo contaminado aumentou o acúmulo de Pb na parte aérea de milho. Segundo Wu *et al.* (2004), a adição de 3 mmol kg⁻¹ de EDTA aumentou as concentrações de Cu e

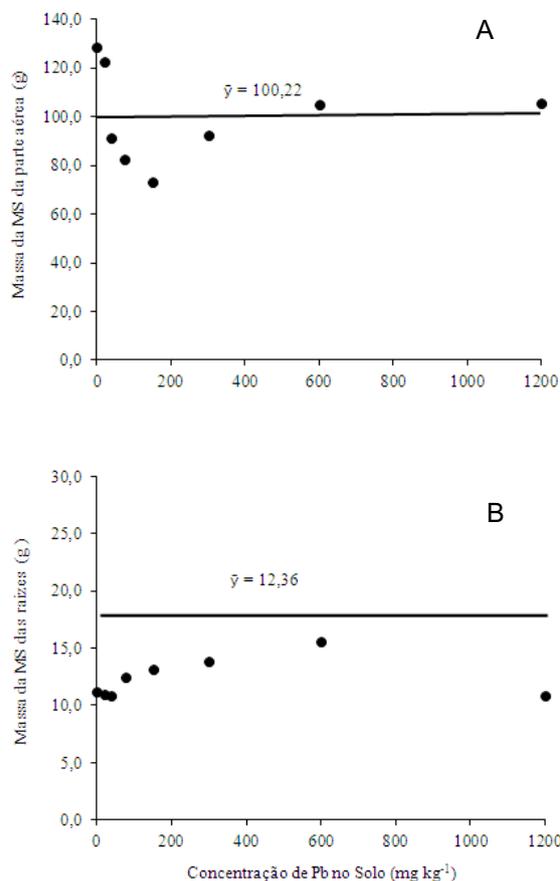


Figura 3- Valores das massas das matérias secas da parte aérea (A) e das raízes (B) das plantas de mucuna preta em função da concentração de Pb no solo.

Pb na parte aérea de *Brassica juncea*. Outros autores como Zeitouni *et al.* (2007) associaram o sucesso na quelatização com doses até 500 mg kg⁻¹ de EDTA. Porém, é importante enfatizar que a remediação de grandes áreas de solo pelo uso da fitoextração inviabiliza a aplicação dos agentes quelantes, embora agilizem a obtenção de resultados.

As Figuras 4A e 4B apresentam os dados de acúmulo de Pb na parte aérea e nas raízes das plantas de mucuna preta, respectivamente, em função das doses deste metal pesado aplicadas no solo. Tanto na parte aérea quanto nas raízes o valor máximo de acúmulo de Pb foi observado nas plantas submetidas ao manejo com a maior quantidade de Pb no solo (1.200 mg kg⁻¹).

Porém, a fitorremediação do metal, verificada pelo seu acúmulo no tecido vegetal, não foi total, comparado com a quantidade adicionada ao solo (Figura 1). Existe, portanto, Pb a ser extraído do solo e, para isso, deve ser

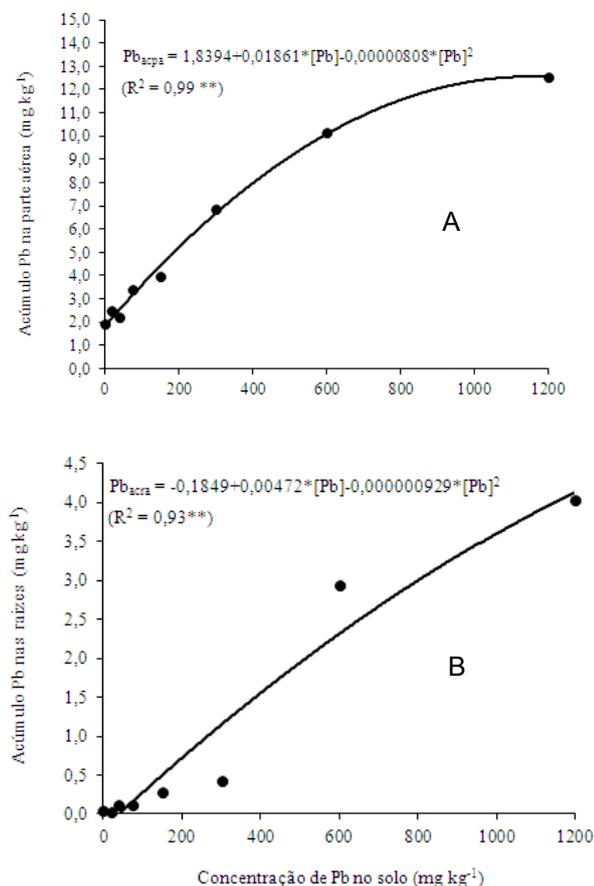


Figura 4 - Relação entre acúmulo de Pb na parte aérea (A) e nas raízes (B) das plantas de mucuna preta em função da concentração de Pb no solo. ** Significativo a 1% de probabilidade.

contemplado um tempo maior de manejo vegetal para fitorremediação.

Segundo Barrow (1993), dentro do sistema solo devem existir algumas condições importantes a serem consideradas. Por exemplo, o maior tempo de contato entre o metal e os colóides do solo propiciam condições para que o mesmo adquira formas mais estáveis, como a formação de óxidos cristalinos. Essa situação permite que a reação no solo continue lentamente com a difusão dos íons adsorvidos às partículas coloidais. Isso dificulta a absorção pelas plantas e torna a fitorremediação mais lenta.

Assim sendo, o sucesso na remoção de metais pesados em solos contaminados por estes deve ser entendido como uma combinação da concentração de metais pesados suficientemente alta na parte aérea e elevada produção de

biomassa, comparativamente a apenas um destes fatores isolados (NASCIMENTO; XING, 2006). Portanto, a eficiência de cada espécie em retirar os metais pesados do solo pode ser avaliada pela remoção líquida dos metais, avaliado pelo acúmulo no tecido da parte aérea.

Conclusões

As plantas de mucuna preta apresentaram acúmulo de Pb na parte aérea, possivelmente, devido à quantidade de matéria seca produzida;

O aumento das doses de Pb no solo não teve influência sobre a produção da massa de matéria seca nem parte aérea tampouco nas raízes, ainda que a dose de 1.200 mg kg⁻¹ de Pb no solo tenha proporcionado o maior teor de Pb tanto na parte aérea quanto nas raízes;

Ainda que os resultados apresentados sejam interessantes, há necessidade de um maior período de avaliação para conferir o potencial de fitorremediação de Pb por plantas de mucuna preta, em solos contaminados por este metal pesado.

Literatura científica citada

- ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. 1. ed. São Paulo: Oficina textos, 2007. 176p.
- ANDRADE, M. G. de; MELO, V. de F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. de PAULA; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I - Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1879-1888, 2009.
- ALMEIDA, E. L.; MARCOS, F. C. C.; SCHIAVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; ABREU, M. F. Crescimento de feijão-deporco na presença de chumbo. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 569-576, 2008.
- ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. **Chemical principles of environmental pollution**. 2.ed. London: Chapman & Hall, 1997.
- ANSELMO, A. L. F.; JONES, C. M. **Fitorremediação de Solos Contaminados - O Estado da Arte**. In: XXV ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 25, 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Editora da FEENG, 2005. 7 p.
- BARROW, N. J. **Mechanisms of sorption of zinc in soil and soil components**. In: ROBSON, A. D. Ed. Zinc in soils and plants. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993. p.15-31.
- BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 318 p.

- CAMARGO FILHO, W. P. de. Reforma de Pastagens para o Estado de São Paulo: Sugestão de Medida de Política Agrícola Sustentável. **Revista Informações Econômicas**, v. 38, n. 8, p. 56-61, 2008.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Disposição sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo - 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em 25 jan. 2009.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. 413 p.
- KOMÁREK, M.; TLUSTOS, P.; SZÁKOVÁ, J.; CHRASTNÝ, V. The use of poplar during a two-year induced phytoextraction of metals from contaminated agricultural soils. **Environmental Pollution**, London, v. 27, p. 1-12, 2007.
- LASAT, M. M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. **Journal of Hazardous Substance Research**, v. 2, n. 2-5, 2000.
- MALAVOLTA, E. A., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Editora Potafós, 1997. 304 p.
- MARCHIOL, L.; ASSOLARI, S.; SACCO, P.; ZERBI, G. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. **Environmental Pollution**, v. 132, p. 21-27, 2004.
- MEERS, E.; HOPGOOD, M.; LESAGE, E.; VERVAEKE, P.; TACK, F. M. G.; VERLOO, M. G. Enhanced phytoextraction: Search of EDTA alternatives. **International Journal Phytoremediation**, v. 6, p. 95-209, 2004.
- MELO, E. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q. Solubilidade, fracionamento e fitoextração de metais pesados após aplicação de agentes quelantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1051-1060, 2006.
- NASCIMENTO, C. W. A.; XING, B. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and accumulation. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 3, p. 299-311, 2006.
- NASCIMENTO, C. W. A.; AMARASIRIWARDENA, D.; XING, B. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. **Environmental Pollution**, v. 140, p. 114-123, 2006.
- OVSIIANY, R.; DELAI, R. M. **Testes fisiológicos para validação da mamona como uma planta fitorremediadora**. Cascavel: Fundação Assis Gurgacz, 2007. 17 p.
- PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; OLIVEIRA, L. R.; CURTI, N.; SILVA, M. L. N. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio sobre a adsorção e dessorção de chumbo em latossolos brasileiros. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, p. 1077-1084, 2001.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- SANTOS, E. A., SANTOS, J. B., FERREIRA, L. R., COSTA, M. D.; SILVA, A. A. Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo de remediação de solo contaminado com trifloxysulfuron - sodium. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2. p. 259-265, 2007.
- SANTOS, F. S.; HERNÁNDEZ-ALLICA, J.; BECERRIL, J. M.; AMARAL-SOBRINHO, N.; MAZUR, N.; GARBISU, C. Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soil with *Brachiaria decumbens*. **Chemosphere**, v. 62, p. 1454-1463, 2006.
- SHARMA P., DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 35-52, 2005.
- SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G.; MOREIRA, F. M. S. Fitotoxicidade de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 29, p. 175-183, 2005.
- TAN, K. H. **Environmental soil science**. 2.ed. New York: Marcel Dekker Inc., 2000. 452 p.
- WILDE, E. W.; BRIGMON, R. L.; DUNN, D. L.; HEITKAMP, M. A.; DAGNAN, D. C. Phytoextraction of lead from firing range soil by vetiver grass. **Chemosphere**, v. 61, p. 1451-1457, 2005.
- WU, L. H.; LUO, Y. M.; XING, X. R.; CHRISTIE, P. EDTA enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil with Indian mustard and associated potential leaching risk. **Agriculture Ecosystem and Environment**, Amsterdam, n. 102, p. 307-318, 2004.
- ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 649-657, 2007.