

## Fitorremediação de solos utilizando *Crotalaria spectabilis* para remoção de cádmio e chumbo

CLEBER ANTONIO LINDINO<sup>1\*</sup>; ANA PAULA TOMCZAK<sup>2</sup>; AFFONSO CELSO GONÇALVES JUNIOR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Ciências, Professor Associado da Unioeste, Centro de Engenharias e Ciências Exatas – *Campus* Toledo/PR. E-mail: [cleberlindino@yahoo.com.br](mailto:cleberlindino@yahoo.com.br). \*Autor para correspondência

<sup>2</sup>Especialista em Gerenciamento de Laboratórios, Centro de Engenharias e Ciências Exatas – *Campus* Toledo/PR

<sup>3</sup>Pós-Doutor em Ciências Ambientais, Professor Associado da UNIOESTE, Centro de Ciências Agrárias – *Campus* de Marechal Cândido Rondon/PR

### RESUMO

A fitorremediação é uma importante técnica usada na descontaminação de solos e águas, sendo utilizada na remoção, contenção e redução de metais pesados e compostos orgânicos. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a eficiência de *Crotalaria spectabilis* na fitorremediação de solos contaminados com os metais pesados tóxicos Cd (cádmio) e Pb (chumbo). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, sendo cinco doses com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram controle, nível de prevenção Cd 1,3 mg kg<sup>-1</sup>, nível de intervenção Cd 3,0 mg kg<sup>-1</sup>, nível de prevenção Pb 72 mg kg<sup>-1</sup> e nível de intervenção Pb 180 mg kg<sup>-1</sup>. As plantas foram mantidas em solo por 90 dias e a quantificação das concentrações dos metais Pb e Cd na biomassa seca foi realizada por espectrometria de absorção atômica na modalidade “chama”. As plantas tiveram alta taxa de sobrevivência em solo contaminado com Cd e Pb com reduções no crescimento e na produção de biomassa seca. As plantas submetidas aos tratamentos com chumbo apresentaram teor desse metal na parte aérea da planta. Para o metal Cd, não foram detectadas concentrações na biomassa seca.

**Palavras-chave:** fitoextração, metais pesados tóxicos, poluição.

### ABSTRACT

#### Soil phytoremediation using *Crotalaria spectabilis* for removal of cadmium and lead

Phytoremediation is an important technique used in soil and water purification, especially in the removal, containment and reduction of heavy metals and organic compounds. This study aimed to evaluate the efficiency of *Crotalaria spectabilis* in phytoremediation of soils contaminated by the toxic heavy metals Cd (cadmium) and Pb (lead). The experiment design used was the completely randomized design, with five doses and four replications. The following treatments were used: control, prevention level Cd 1.3 mg kg<sup>-1</sup>, intervention level Cd 3.0 mg kg<sup>-1</sup>, prevention level Pb 72 mg kg<sup>-1</sup> and intervention level Pb 180 mg kg<sup>-1</sup>. The plants were kept in the soil for 90 days, and the quantification of Pb and Cd in dry biomass was made through atomic absorption spectrometry with the flame method. The plants presented high rate of survival in contaminated soil by Cd and Pb with reductions in growth and production of dry biomass. The plants subjected to treatments with lead presented contents of this metal in the aerial part of the plant. Concentrations of Cd were not detected in the dry biomass.

**Keywords:** phytoextraction, pollution, toxic heavy metal.

SAP 5720

Data do envio: 25/10/2011

Data do aceite: 13/12/2011

A contaminação do solo é um tema preocupante nos dias atuais, já existindo grande extensão de áreas contaminadas por agentes diversos (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000). As consequências dessa contaminação têm sido objeto de inúmeros estudos nos últimos anos e esforços têm sido feitos no sentido de desenvolver tecnologias para minimizá-la (GABOS, 2008).

A contaminação com metais pesados tóxicos deve-se principalmente ao fato de serem bastante estáveis na natureza e passíveis de serem acumulados no solo, nas plantas, nos sedimentos e em sistemas biológicos (COSTA *et al.*, 2008). A expressão “metais pesados” ou “metais traço” se aplica a elementos que possuem massa específica maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$  ou que tenham número atômico maior do que 20 (GONÇALVES JUNIOR *et al.*, 2000).

Metais como cobre (Cu), zinco (Zn) e cromo (Cr) são utilizados em baixas concentrações no metabolismo biológico (URBANO *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2005) enquanto chumbo (Pb) e cádmio (Cd) não são essenciais, sendo tóxicos, mesmo em baixos níveis (TÜZEN, 2003). A toxicidade produzida por metais geralmente envolve neurotoxicidade, hepatotoxicidade e nefrotoxicidade (STOHS & BAGCHI, 1995).

A população mundial vem enfrentando um grave problema de contaminação e o Pb tem se destacado como um dos maiores contaminantes do solo (GRATÃO *et al.*, 2005) o que pode ser atribuído, principalmente, ao seu largo uso industrial, sendo o metal pesado que oferece maior risco de envenenamento para seres humanos, especialmente às crianças (LASAT, 2002).

Segundo Gonçalves *et al.* (2008), Gonçalves *et al.* (2009), Gonçalves *et al.* (2011), o Cd é um elemento químico relativamente raro, não encontrado em estado puro na natureza, sendo utilizado em ligas, indústrias automotivas, pigmentos, estabilizantes para plásticos de polivinil, baterias e fertilizantes fosfatados. No ambiente, concentra-se nos solos e nos sistemas aquáticos, tornando-se disponível ao sistema radicular de plantas. O acúmulo de Cd nos tecidos de espécies vegetais aumenta o risco de transferência, por meio da cadeia alimentar para humanos e animais (VECCHIA *et al.*, 2005).

A remediação de áreas contaminadas é uma exigência legal e um compromisso social que precisam ser executados, criando uma enorme demanda tecnológica, oportunidades de pesquisa científica e oferecendo grandes possibilidades de negócios (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000).

Dentre as inúmeras tecnologias para remediação de solos contaminados, destacam-se a biorremediação e a fitorremediação que são opções para promover a remoção de elementos contaminantes do solo (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000). Essas técnicas envolvem o uso de plantas e microrganismos capazes de absorver poluentes do solo ou de metabolizar as substâncias, para espécies menos tóxicas (ROCHA *et al.*, 2004).

A fitorremediação do solo é caracterizada não somente pela redução da contaminação do solo, mas também da água que se acumula nele. No processo de remediação, o uso de plantas destina-se à redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com a proteção à saúde humana, ou a impedir a disseminação de substâncias nocivas ao ambiente (ANDRADE *et al.*, 2007).

A planta ideal para fitoextração de metais pesados deve ser tolerante aos seus altos níveis; acumular grande quantidade na parte aérea (GARBUSU & ALKORTA, 2001); ter boa capacidade de absorção; apresentar alta taxa de crescimento; possuir sistema radicular profundo; ser capaz de boa produção de biomassa; ter capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos; ser de fácil colheita e resistência ao poluente (COUTINHO & BARBOSA, 2007).

Na fitoextração, a planta, após absorver o poluente, o armazena no tecido vegetal, o que facilita o descarte do material que pode ser incinerado, depositado em aterro ou co-processado (ANDRADE *et al.*, 2007).

*Crotalaria spectabilis* é uma planta de ciclo anual, da família Leguminosae, originária da Índia, que apresenta adaptação às regiões tropicais e subtropicais (PENTEADO, 2007). O gênero *Crotalaria* é um dos maiores da família Leguminosae, com aproximadamente 600 espécies (MONDIN, 2003), é conhecida como crotalária, guizo-de-cascavel e chocalho-de-cascavel

(CALEGARI et al., 1992). Suas plantas são arbustivas, de crescimento ereto e determinado; apresenta 1,0 – 1,5 m de altura quando maduras; apresenta desenvolvimento lento (Penteado, 2007); e possui como princípio tóxico o alcalóide pirrolizidínico denominado monocrotalina, isolada por Neal *et al.* (1935), podendo ser detectada nas folhas, estágios florais e sementes (JOHNSON *et al.*, 1985).

Leguminosas tropicais como a *C. spectabilis* têm ampla utilização na agricultura como cobertura morta, fixação de nitrogênio, controle de nematóides e reciclagem de nutrientes (SILVEIRA & RAVA, 2004). É utilizada como planta melhoradora do solo, sendo que suas fibras e celulose produzidas são de alta qualidade, próprias para a indústria de papel e outros fins (PENTEADO, 2007).

Diante da importância da fitorremediação para áreas contaminadas por Cd e Pb, são necessários estudos de espécies como *C. spectabilis* para constatar se a planta possui capacidade acumuladora desses metais pesados tóxicos, visando utilizá-la em programas de fitorremediação. Se a planta utilizada apresentar resistência em solos deficientes em nutrientes, e se desenvolver sem a necessidade de correção do solo ou aplicação de nutrientes facilitará seu emprego em regiões não agrícolas e urbanas, permitindo a remediação de solos contaminados em situações críticas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de *C. spectabilis* na fitorremediação de solos, sem correções químicas, contaminados com os metais pesados tóxicos cádmio e chumbo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de abril a julho de 2010, em cultivo protegido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) *campus* Toledo, com sementes de *C. spectabilis* com Termo de Conformidade de Sementes emitido pela empresa fornecedora.

O solo utilizado para os testes foi coletado em Toledo, Paraná com Latitude de 24°46' S, Longitude de 53°41' W e altitude média de 507 m. Os resultados da caracterização do solo são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 respectivamente.

**TABELA 1.** Caracterização química da amostra de solo.

P	MO	pH CaCl <sub>2</sub>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	Al
mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	0,01 mol L <sup>-1</sup>				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	
6,4	26,7	4,9	5,4	0,1	0,6	5,7	2,8	9,1	14,5	62,6	1,1

MO: matéria orgânica

**TABELA 2.** Micronutrientes no solo (mg dm<sup>-3</sup>).

Cu	Mn	Zn	Fe
16,20	0,90	101,50	29,35

**TABELA 3.** Determinação de Cd e Pb no solo estudado (mg kg<sup>-1</sup>).

Cd	Pb
4,00	59,5

A semeadura foi realizada com 2 cm de profundidade, em vasos de PVC, contendo 5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA) e 10 sementes por vaso. O solo não recebeu qualquer tratamento corretivo (adubação e calagem) para permitir estudos em ambientes pouco favoráveis ao desenvolvimento da planta, como os encontrados em inúmeros locais nos quais não há atividade agrícola, por exemplo. Após 30 dias, procedeu-se o desbaste e a contaminação do solo utilizando-se como fontes de Pb e Cd, os sais de nitrato. As plantas foram selecionadas de acordo com o tamanho e a distância, permanecendo duas plantas por vaso.

Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), sendo cinco doses (controle e quatro tratamentos) com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

O solo utilizado no experimento apresentou contaminação prévia de Cd e Pb, segundo a Tabela 3, sendo contaminado posteriormente com as doses sugeridas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo. Os tratamentos utilizados foram: controle, nível de prevenção Cd  $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$ , nível de intervenção Cd  $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$ , nível de prevenção Pb  $72 \text{ mg kg}^{-1}$  e nível de intervenção Pb  $180 \text{ mg kg}^{-1}$  (CETESB, 2005). A irrigação foi realizada com água deionizada padronizando-se o mesmo volume para todos os vasos.

As plantas foram mantidas em solo por 90 dias e observou-se que algumas delas já se encontravam em estágio de floração com 70 dias de semeadura. As partes aéreas foram medidas e lavadas com água destilada, posteriormente acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação fechada, a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ . Após 48 h, a biomassa das partes aéreas foi retirada, sendo posteriormente triturada em moinho.

Na biomassa seca, foi realizada digestão nitroperclórica (AOAC, 2005). A quantificação das concentrações dos metais Pb e Cd foi realizada por espectrometria de absorção atômica modalidade chama, equipamento modelo GBC 932 (GBC, 1998). Também foram coletadas amostras de solo de cada tratamento para a determinação dos metais Pb e Cd disponíveis.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Tukey) a 5% de significância, por meio do programa estatístico SISVAR.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de *C. spectabilis* tiveram taxa de sobrevivência de 100% em solo contaminado com Cd e Pb, pois nenhuma morte ocorreu durante os 90 dias em que as plantas permaneceram em solo contaminado. De acordo com a Tabela 4, pode-se observar que não se obteve diferenças significativas, a 5% pelo teste de Tukey, na altura da planta. Contudo, os valores obtidos são mais baixos do que aqueles relatados por Penteado (2007), que apresenta a *C. spectabilis* com 1,0 – 1,5 m de altura quando madura. Além de o cultivo ter sido realizado em vasos, limitando o crescimento, também é possível verificar que o solo utilizado no experimento já apresentava concentrações iniciais de Cd e Pb, que pode ter influenciado na redução de crescimento das plantas no tratamento controle. Plantas que acumulam altas taxas de metais geralmente apresentam crescimento lento e pequena biomassa (ANDRADE *et al.*, 2007). Outro fator inibidor do crescimento pode ser a acidez do solo original.

**TABELA 4.** Médias da altura das plantas (cm).

Controle	Prevenção Pb	Intervenção Pb	Prevenção Cd	Intervenção Cd	CV %
22,9 <sup>a</sup>	20,6 <sup>a</sup>	20,6 <sup>a</sup>	19,7 <sup>a</sup>	19,7 <sup>a</sup>	54,9

Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na avaliação da produção de biomassa seca de *C. spectabilis*, constatou-se que a espécie estudada não apresentou comportamento distinto comparando-se o experimento controle em relação à presença de Cd e Pb no solo (Tabela 5). Houve redução na produção de biomassa seca em todos os tratamentos, devido à redução no crescimento da planta. Segundo Calegari (1995), a *C. spectabilis* possui uma produção considerada mediana de biomassa, comparada as demais crotalárias. As plantas de ambos os tratamentos apresentaram clorose, manchas foliares, folhas pequenas, estreitas e retorcidas e inflorescência diminuída. Estes efeitos indicam sintomas da deficiência de nutrientes, uma vez que não foi realizada correção do solo estudado. Apesar desses sintomas, não ocorreu nenhuma morte das plantas, indicando a resistência da *C. spectabilis* em solos inóspitos.

**TABELA 5.** Média da biomassa seca de *Crotalaria spectabilis*, nos tratamentos.

	Tratamento (mg kg <sup>-1</sup> )					CV %
	Controle	Prevenção Pb	Intervenção Pb	Prevenção Cd	Intervenção Cd	
Biomassa	0,60 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>	63,98

A Tabela 6 apresenta as concentrações médias dos metais pesados tóxicos Cd e Pb na biomassa seca da parte aérea das plantas de *C. spectabilis*, em função dos tratamentos.

**TABELA 6.** Concentração média dos metais Cd e Pb na biomassa seca, em função dos tratamentos.

Metais	Tratamentos (mg kg <sup>-1</sup> )				
	Controle	Prevenção Pb	Intervenção Pb	Prevenção Cd	Intervenção Cd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	14,00 <sup>ab</sup>	12,25 <sup>ab</sup>	25,00 <sup>b</sup>	14,00 <sup>ab</sup>	9,67 <sup>a</sup>

nd – Não detectado pelo método EAA Chama;

Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A média dos metais do tratamento nível de intervenção Pb difere estatisticamente do tratamento intervenção Cd, em relação ao controle, e as outras médias não diferenciaram estatisticamente do controle.

Pode-se observar que o tratamento controle apresentou teores de Pb na parte aérea, devido o solo utilizado no experimento apresentar concentração iniciais do metal Pb (Tabela 3). A maior média encontrada ocorreu no nível de intervenção Pb 25 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o tratamento que possuía a maior dosagem de Pb. Salienta-se novamente que o solo utilizado no experimento não recebeu qualquer tratamento corretivo (adubação e calagem), no início e decorrer do experimento, reproduzindo as mesmas condições que o solo se encontrava no ambiente.

Os teores de Pb encontrados na biomassa das plantas apresentam-se nos valores de teores considerados normais e de contaminação, sugerida por Kabata-Pendias & Pendias (1992) (Tabela 7).

**TABELA 7.** Padrão de concentração e nível crítico de metais pesados em plantas (mg kg<sup>-1</sup>).

Elemento	Teores normais	Teores de contaminação
Cd	0,2 - 0,8	5,0 - 30
Pb	0,1 - 10	30 - 300

Fonte: Kabata-Pendias; Pendias (1992).

O pH também exerce efeito sobre a disponibilidade dos metais no solo. Em solos ácidos, a concentração de íons metálicos na solução do solo aumenta facilitando sua absorção pelas plantas (GARBUSU & ALKORTA, 2001). O pH do solo utilizado no experimento foi 4,86 (Tabela 1) e a acidez do solo pode ter favorecido a absorção do Pb pela planta.

Marques (2009), em seu experimento com as espécies girassol, vetiver, trigo mourisco, jureminha e mamona, trabalhou com pH do solo 3,9 e a acidez do solo favoreceu a absorção de Pb, encontrando elevada concentração do metal nos tecidos vegetais.

Não foram detectadas concentrações de Cd na biomassa seca da planta. Entretanto, isto não significa que este metal não esteja presente no tecido vegetal da mesma, podendo estar em concentrações abaixo do limite de detecção do método EAA/chama (GBC, 1998), sendo necessário um método mais sensível.

Vários fatores do solo e planta determinam a absorção de Cd. Entre estes pode-se citar Guerinot (2000), relata em seu trabalho que mais de 25 proteínas ZIP (*zinc regulated transporter, iron-regulated transporter protein*) regulam a absorção de metais em *Arabidopsis* e em outras espécies. Alguns dos transportadores de metais podem impedir a absorção de Cd (TAIZ & ZEIGER, 2009). Essas proteínas podem estar presentes em *C. spectabilis* impedindo a planta de absorver Cd em níveis traço.

## CONCLUSÕES

As plantas de todos os tratamentos tiveram diminuição na produção de biomassa e tolerância aos metais pesados tóxicos Cd e Pb. *C. spectabilis* não demonstrou eficiência na absorção de Cd do solo e outros estudos serão necessários para esse metal. *C. spectabilis* possui capacidade de armazenar o metal pesado tóxico Pb no tecido vegetal da parte aérea, o que pode tornar esta espécie de grande importância para programas de fitorremediação de áreas contaminadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.299-352.

ANDRADE, J.C.M.; TAVARES, S.R.L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 176 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of analysis**. 18. ed., Gaithersburg, MD, USA: AOAC International, 2005.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Circular 80, Londrina: IAPAR, 1995. 118p.

CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: COSTA, M.B.B. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. p. 209-327.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2005.

COSTA, M.C.R.; DAMILANO, C.R.; VASCONCELLOS, A.; COSTA, R.C. Diagnóstico ambiental de área industrial contaminada por metais pesados. **Revista Biociências**, v.14, p. 51-61, 2008.

COUTINHO, H.D.; BARBOSA, A.R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização. **Silva Lusitana**, v.15, n. 1, p. 103-117, 2007.

GABOS, M.B. **Lixiviação e absorção de chumbo pelo feijão-de-porco assistido pela aplicação de EDTA no solo**. 2008, 52p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2008.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 229-236, 2000.

GBC SCIENTIFIC EQUIPAMENT. **Flame methods manual for atomic absorption by GBC Scientific Equipament**. Victoria, 1998.

GOMES, M.R.; ROGERO, M.M.; TIRAPEGUI, J. Considerações sobre cromo, insulina e exercício físico. **Rev. Bras. Med. Esporte**, v.11, n.5, p. 262-266, 2005.

GONÇALVES JUNIOR, A.C.; LUCHESE, E.B.; LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio em soja cultivada em latossolo vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**, v.23, p. 173-177, 2000.

GONÇALVES Jr., A.C.; LINDINO, C.A.; ROSA, M.F.; BARICCATTI, R.; GOMES, G.D. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador. **Acta Scientiarum. Technology**, v.30, p.9-14, 2008.

GONÇALVES Jr., A.C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; NAVA, I. ; STREY, L. Phytoavailability of toxic heavy metals and productivity in wheat cultivated under residual effect of fertilization in soybean culture. **Water, Air and Soil Pollution**, v.216, p.712-723, 2011.

GONÇALVES Jr., A.C. ; SELZLEIN, C.; NACKE, H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando a remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum. Technology**, v.31, p.103-108, 2009.

GRATÃO, P.L.; PRASAD, M.N.V.; CARDOSO, P.F.; LEAD, P.J.; AZEVEDO, R.A.A. Phytoremediation: green technology for the cleanup of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, p.53-64, 2005.

GUERINOT, M.L. The ZIP family of metals transporters. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1465, p. 190-198, 2000.

JOHNSON, A.E.; MOLYNEUX, R.J.; MERRIL, G.B. Chemistry of toxic range plants: Variation in pyrrolizidine alkaloid content of *Senecio*, *Amsinckia* and *Crotalaria* species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.33, p. 50-55, 1985.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton: CRC Press, 1992. 365p.

LASAT, M.M. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. **Journal of Environmental Quality**, v.31, p.109-120, 2002.

LASAT, M.M.; PENCE, N.S.; GARVIN, D.F.; EBBS, S.D.; KOCHIAN, L.V. Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p.71-79, 2000.

MARQUES, L.F. **Fitoextração de chumbo por girassol, vetiver, trigo mourisco, jureminha e mamona em áreas contaminadas**. 2009. 48p. Dissertação (Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba), João Pessoa, 2009.

MONDIN, M. **Estudo da evolução cariotípica do gênero *Crotalaria* L. (Leguminosae – Papilionoideae) com emprego de técnicas de bandamento cromossômico e hibridação in**

- situ fluorescente (FISH)**. 2003, 115p. Tese (Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- NEAL, W.M.; RUSOFF, L.L.; AHMANN, C.F. The isolation and some properties of an alkaloid from *Crotalaria spectabilis* roth. **Journal of American Chemical Society**, v.57, p.2560-2561, 1935.
- PENTEADO, S.R. **Adubação verde e produção de biomassa: Melhoria e recuperação dos solos**. Campinas: Livros Via Orgânica, 2007. 174p.
- ROCHA; J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. Introdução à química ambiental. Bookman, 2004. 154p.
- SILVEIRA, P.M.; RAVA, C.A. **Utilização de Crotalaria no controle de Nematóides da raiz de feijoeiro**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004.
- STOHS, S.J.; BAGCHI, D. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 18, p. 321-336, 1995.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Artmed, 2009. 848p.
- TÜZEN, M. Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Food Chemistry**, v.80, p.119-123, 2003.
- URBANO, M.R.D.; VITALLE, M.S.S.; JULIANO, Y.; AMANCIO, O.M.S. Ferro, Cobre e Zinco em adolescentes no estirão pubertário. **J. Pediatr.**, v.78, n.4, p.327-334, 2002.
- VECCHIA, F.D.; LA ROCCA, N.; MORO, I.; DE FAVERI, S.; ANDREOLI, C.; RASCIO, N. Morphogenetic ultrastructural and physiological damages suffered by submerged leaves of *Elodea canadensis* exposed to cadmium. **Plant Science**, v.168, p.329-338, 2005.