



Fitorremediação por *Brachiaria humidicola* de área de disposição de um resíduo perigoso

Fabiana Soares dos Santos^{1*}, Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho²,
Vinícius Sampaio do Nascimento², Ricardo Bezerra Hoffmann², Nelson Mazur².

Departamento de Agronegócios e Administração, EEIMVR/Universidade Federal Fluminense.
Av. dos Trabalhadores, 420. Vila Santa Cecília, Volta Redonda-RJ. CEP 27255-125¹
Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR465, Km7, Seropédica-RJ.
CEP23890-000. *e-mail: santosfs1@hotmail.com²

Recebido em 05 de Outubro de 2005

Resumo

Com o objetivo de avaliar a fitoestabilização de um resíduo industrial contaminado com Zn e Cd, foi utilizada a *Brachiaria humidicola* em um experimento conduzido em casa-de-vegetação, utilizando um resíduo alcalino (silicato de cálcio) e um resíduo orgânico (lodo do biodigestor de uma cervejaria) para reduzir a solubilidade de metais pesados no resíduo Ingá. A adição de resíduos industriais, alcalino e orgânico, provocou uma significativa redução nas percentagens de Zn e Cd nas frações solúvel e trocável, e predominância dos mesmos em frações químicas mais estáveis, como complexados e precipitados. A *B. humidicola* apresentou tolerância e potencial de revegetação do resíduo Ingá.

Palavras-chaves: fitoestabilização, resíduos industriais, contaminação

Phytoremediation Using *Brachiaria humidicola* in Area with Dangerous Waste

Abstract

To evaluate the phytostabilization of a Zn and Cd contaminated industrial residue, it was conducted an experiment with *Brachiaria humidicola* in a greenhouse, using an alkaline residue (calcium silicate) and an organic residue (sludge from a brewery factory) to reduce the heavy metal solubility in the Ingá residue. The addition of alkaline and organic industrial residues caused a significant reduction in the percentages of Zn and Cd in the soluble and exchangeable fractions, and predominance of the same ones in the most stable chemical fractions, such as complexed and precipitated compounds. The *B. humidicola* presented tolerance and potential of revegetation of the Ingá residue.

Key words: phytostabilization, industrial residues, contamination

Introdução

As denúncias de poluição ambiental ocorridas recentemente no Brasil, são herdadas de uma prática antiga de irresponsabilidade no destino final do lixo industrial. A Cia Mercantil e Industrial Ingá, localiza-

da no município de Itaguaí-RJ, foi uma usina produtora de metal primário zinco a partir do minério de calamina. Atualmente em situação falimentar, possui um passivo ambiental estimado em 2 milhões de m³ de resíduo contaminado com metais pesados, provenientes da mineração, redução e refino do zinco, acu-

mulados há mais de 30 anos no local de produção.

Uma técnica promissora, para a remediação de áreas contaminadas é a fitorremediação, que já tem sido estudada e utilizada (Chaney, 1997; Raskin et al., 1997; Gleba et al., 1999; Kamnev, 2003). Essa técnica envolve o uso de plantas verdes para remover, conter ou tornar inofensivos os contaminantes ambientais. Esta definição se aplica a todos os processos biológicos, físicos e químicos influenciados pelas plantas que auxiliam na remediação de substratos contaminados (Cunningham & Berti, 1993). Possui uma série de vantagens por não agredir o meio ambiente, ser simples e de baixo custo.

Entre as técnicas de fitorremediação de solos contaminados com metais pesados, a fitoestabilização consiste na utilização de plantas para reduzir a mobilidade dos contaminantes do solo através da revegetação. Neste caso, a tolerância das espécies é importante para sua efetiva implantação em solos contaminados. Esta técnica apresenta vantagens relativas às demais pelo fato de ser permanente, de fácil adoção e mais econômica (Accioly & Siqueira, 2000).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de resíduos industriais, alcalino e orgânico, na fitoestabilização de uma área de disposição de um resíduo industrial perigoso, contaminado com zinco e cádmio.

Material e Métodos

Amostra de resíduo da Cia. Mercantil e Industrial Ingá foi coletada em dezembro de 2002, retirando-se amostras simples do topo, meio e base da pilha de resíduo mantida no pátio de armazenamento da indústria formando uma amostra composta de 100 kg (ABNT, 1987). No laboratório, a amostra do resíduo foi seca ao ar, destorroada e passada por peneira de 2 mm de malha.

Para caracterização do resíduo, foram determinados os teores de macronutrientes, sódio, alumínio e pH em água, segundo EMBRAPA (1997). O carbono orgânico foi determinado pelo método proposto por Yeomans & Bremner (1988). Os teores “pseudo-totais” de metais pesados foram determinados por digestão nitro-perclórica 2:1 (Scott, 1978) e os teores solúveis e lixiviáveis pelos testes de solubilização

e lixiviação, respectivamente, segundo as normas da ABNT (1987). Nos extratos obtidos na digestão e no teste de solubilidade foram determinados os teores de Zn, Cd, Cu, Fe, Mn e Pb por espectrofotometria de absorção atômica, empregando-se o equipamento VARIAN AA600. Nos extratos obtidos no teste de lixiviação, foram determinados somente Cd e Pb, pois entre os metais que estão presentes em elevadas concentrações no resíduo Ingá, esses são os elementos que podem conferir periculosidade ao resíduo.

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), com plantas de *Brachiaria humidicola* cultivadas em vasos contendo resíduo Ingá incubado com o resíduo industrial alcalino constituído de silicato de cálcio e o resíduo orgânico do biodigestor de cervejaria.

No resíduo alcalino, a proporção entre as misturas foi determinada mediante curva de neutralização visando um pH de equilíbrio nos valores de 6,5 e 7,0 na mistura. A dose adicionada do lodo do biodigestor foi estimada de modo que a mistura final ficasse com teor de matéria orgânica de 2% da massa contida nos vasos, com o objetivo de avaliar o potencial da matéria orgânica na imobilização de metais pesados.

Os tratamentos foram:

- 1- Resíduo Ingá (testemunha);
- 2- Resíduo Ingá + 20% de resíduo do biodigestor de uma cervejaria;
- 3- Resíduo Ingá + 2% de resíduo silicato de cálcio;
- 4- Resíduo Ingá + 3% de resíduo silicato de cálcio;
- 5- (Resíduo Ingá + 20% de resíduo do biodigestor de uma cervejaria) + 4% de resíduo silicato de cálcio.

Esses resíduos foram acondicionados em vasos de 30 litros, onde ficaram incubados, com 80% da capacidade de campo, por um período de 30 dias até a estabilização do pH. Sementes de *B. humidicola* foram germinadas em areia autoclavada e transferidas 4 plântulas por vaso com os diferentes tratamentos, com ± 10 cm de altura. O modelo estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, utilizando como fatores dose e planta, com 6 repetições para cada tratamento.

Foram retiradas amostras de resíduo no plantio e

na colheita das plantas, para a determinação do pH em água (1:2,5) e realização de extrações simples, utilizando-se os seguintes extratores: (i) água; (ii) nitrato de sódio 0,1 mol L⁻¹ (Keller & Védy, 1994); (iii) DTPA (Lindsay & Norvell, 1978); e (iv) ácido acético 0,043 mol L⁻¹ (Ure et al., 1993). Nos extratos obtidos foram determinados os teores de Cd e Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

Com os resultados obtidos nessas extrações, foram definidas pelas diferenças nas quantidades extraíveis, as prováveis frações químicas de Zn e Cd nos tratamentos. As frações químicas definidas foram: F1: extração com água ⇒ fração solúvel em água; F2: extraído com NaNO₃ – extraído com água ⇒ corresponde aos metais ligados eletrostaticamente à superfície do resíduo; F3: extraído com DTPA – extraído com NaNO₃ ⇒ fração associada predominantemente à superfície de óxidos de Fe e compostos orgânicos mais estáveis pela formação de complexos de esfera interna; F4: extraído com ácido acético – extraído com NaNO₃ ⇒ fração associada predominantemente a precipitados de carbonatos; F5: total – Σ das frações (F1; F2; F3 e F4) ⇒ fração associada a compostos de Fe com alto grau de cristalinidade (Fração residual).

As plantas foram coletadas 45 dias após o transplântio, separadas em raiz e parte aérea, secas

em estufa com circulação de ar a 70°C, feita digestão nitro perclórica, segundo Tedesco et al. (1995), e os extratos lidos em espectrofotometria de absorção atômica para os metais Cd e Zn.

Resultados e Discussão

De acordo com a Tabela 1, podem ser observadas elevadas concentrações de Ca, Mg, P e K neste resíduo, provavelmente devido aos elevados teores destes nutrientes presentes no minério de calamina e adicionados no processo de extração do Zn.

As concentrações “pseudo-totais” de Zn, Cd, Fe, Mn e Pb no resíduo Ingá, foram elevadas (Tabela 2). Verificam-se elevadas concentrações de Zn e Cd extraídas no teste de solubilidade, elementos que são mais facilmente lixiviáveis aumentando os riscos de contaminação do lençol freático e de outras áreas da região.

Com relação ao teste de lixiviação, foram encontradas concentrações de Cd aproximadamente 80 vezes superior ao limite estabelecido pela ABNT (1987) para resíduo inerte (0,5 mg kg⁻¹). Diante disso, esse resíduo foi classificado como resíduo Classe I - perigoso e deveria ser acondicionado em locais adequados, sendo necessária a utilização de técnicas

Tabela 1. Teores de macronutrientes, H, Al e Na presentes no resíduo Ingá.

Table 1. Macronutrients, H, Al and Na contents in the Ingá residue.

Resíduo	Ca	Mg	H+Al	Al	Na	C	P	K	pH
	mmol _c kg ⁻¹					g kg ⁻¹			
Ingá	2.500	410	46	0	9,80	1	0,174	0,094	5,6

Tabela 2. Teores “pseudo-totais” de metais pesados e obtidos nos testes de solubilidade e lixiviação do resíduo Ingá.

Table 2. Pseudototal contents of heavy metals and in the solubilization and leaching tests of the Ingá residue.

Resíduo	Zn	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb
	mg kg ⁻¹					
Ingá	22.294,4	175,2	123,2	79.986,7	5.525,6	2.486,8
Teste de solubilidade	1.755(7,9)	31,7(18)	0,10(0,08)	0,93(0,04)	34,1(0,6)	0,93(0,04)
Teste de lixiviação		43,4				1,60
Os números entre parênteses correspondem à percentagem em relação ao total.						

de remediação para a redução da toxicidade desse resíduo.

A incorporação de resíduo de biodigestor e de doses crescentes de resíduo silicato de cálcio elevou o pH nos diferentes tratamentos, quando comparados à testemunha (Tabela 3). Nas doses mais elevadas de resíduo silicato de cálcio (Tratamentos 4 e 6), o pH das misturas atingiu valores próximos à neutralidade.

Tabela 3. Valores médios do pH nos diferentes tratamentos, no plantio e na colheita de *B. humidicola*.
Table 3. pH values in the different treatments at planting and harvesting of *Brachiaria humidicola*.

Tratamentos	plantio	colheita
1	5,94±0,06	5,70±0,02
2	6,33±0,11	6,18±0,07
3	6,37±0,04	6,16±0,31
4	7,06±0,13	6,42±0,34
5	7,30±0,23	6,96±0,22

1: Testemunha (Resíduo Ingá); 2: Resíduo Ingá + 20% lodo do biodigestor de uma cervejaria; 3: Resíduo Ingá + 2% resíduo silicato de cálcio; 4: Resíduo Ingá + 3% resíduo silicato de cálcio; 5: (Resíduo Ingá + 20% lodo do biodigestor de uma cervejaria) + 4% resíduo silicato de cálcio. Cada valor corresponde a uma média de 3 repetições ± erro padrão.

Houve uma significativa redução nas percentagens de Zn e Cd nas frações de maior biodisponibilidade, F1 (solúvel em água) e F2 (troçável), em todos os tratamentos, quando comparados à testemunha (Figura 1). A redução foi mais significativa nos tratamentos com pH próximo à neutralidade (Tratamentos 4 e 5) (Tabela 3), principalmente no tratamento com matéria orgânica (Tratamento 5), demonstrando a importância do pH e da matéria orgânica na precipitação e complexação de Zn e Cd no resíduo.

O decréscimo nas frações F1 e F2 foi acompanhado de um aumento nas frações de menor solubilidade, principalmente F3 e F4 (Figura 1). Como as reações de precipitação, complexação e adsorção de metais pesados são favorecidas pela elevação do pH e da presença de matéria orgânica (Sposito, 1989), a adição de produtos de reação alcalina e matéria orgânica, provavelmente favoreceu a transferência de

Zn e Cd das frações mais solúveis para as de menor solubilidade.

Na fração F3 (Figura 1), as porcentagens de Zn e Cd nos tratamentos com valores mais elevados de pH e com adição de matéria orgânica (lodo de biodigestor), foram superiores quando comparados com a testemunha, demonstrando que parte desses elementos que encontravam-se na fração solúvel em água (F1) e ligado eletrostaticamente (F2), provavelmente passaram para as formas mais estáveis através do mecanismo de adsorção específica na superfície de óxidos e da matéria orgânica. No entanto, o aumento nessa fração foi maior no tratamento com adição de matéria orgânica simultaneamente ao aumento do pH (T5), demonstrando a importância da matéria orgânica e do pH no aumento de carga líquida negativa no solo, aumentando assim a CTC e a adsorção de metais pesados. Yamada et al. (1984) e Mesquita (2002) também observaram a redução na solubilidade dos metais pesados, entre eles o Zn e o Cd, na adição de matéria orgânica.

Verificam-se maiores percentagens de Zn e Cd na fração F4 em todos os tratamentos, quando comparados com a testemunha (Figura 1). Ao contrário do ocorrido na fração F3, esses aumentos foram mais expressivos pela adição do resíduo alcalino, não havendo diferença significativa entre os tratamentos com ou sem adição de matéria orgânica (T 3 e 4; T5, respectivamente). As percentagens de Zn e Cd foram superiores nessa fração quando comparados com as frações F1, F2 e F3, com exceção da testemunha. Esses resultados demonstram que a elevação do pH pelo resíduo alcalino causou, possivelmente, a precipitação do Zn e Cd na forma de hidróxidos e carbonatos, principalmente nos tratamentos 3, 4 e 5 (Figura 1).

Apesar da maior percentagem desses elementos estarem na fração F5, de maior estabilidade, não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos quando comparados à testemunha.

Comparando os diferentes tempos de amostragem, verifica-se que a solubilidade de Zn e Cd aumentou por ocasião da colheita das plantas quando comparada ao plantio. Esse aumento foi decorrente das maiores percentagens desses elementos na fração F1 e, principalmente na F2, devido, provavelmente, à redução do pH na colheita (Tabela 3), que pode ter sido

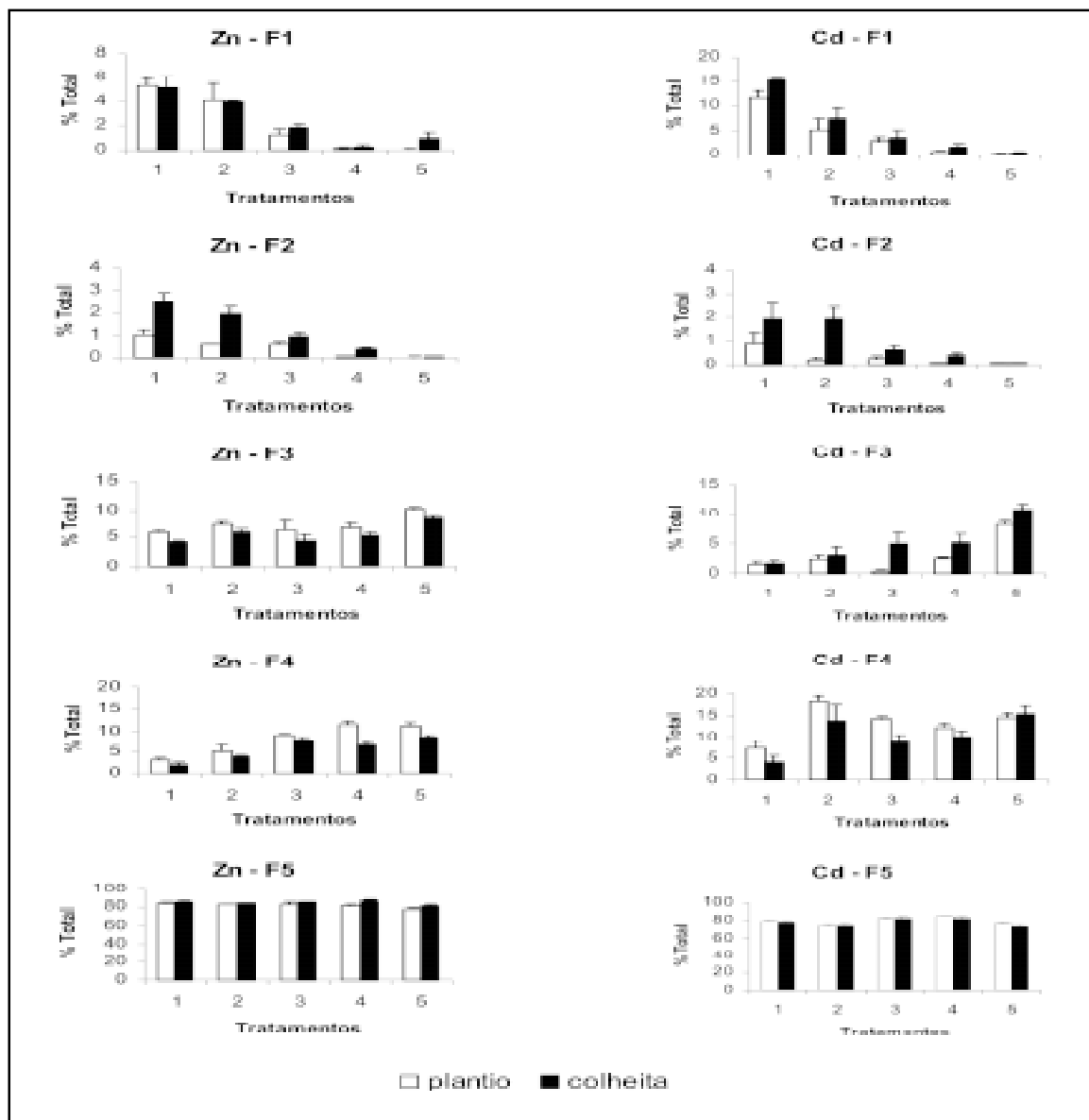
ocasionado pela exsudação de compostos pelas raízes, como ácidos orgânicos, acidificando a região da rizosfera. Segundo Zaharieva & Römheld (2000), as raízes podem exsudar moléculas capazes de quelatar o metal na rizosfera solubilizando o metal imobilizado no solo. Segundo esses autores, podem também

solubilizar o metal por acidificação da rizosfera, liberando cátions metálicos para a solução do solo.

O aumento nas frações de maior disponibilidade reduziu, conseqüentemente, as percentagens nas frações de menor solubilidade, F3 e F4. A fração F5 não

Figura 1. Porcentagem de Zn e Cd, em relação ao total, nos diferentes tratamentos e frações químicas no plantio e colheita da *B. humidicola*.

Figure 1. Zn and Cd percent of the total concentration, in the different treatments and chemical fractions at both planting and harvesting of *B. humidicola*.



1: Testemunha (Resíduo Ingá); 2: Resíduo Ingá + 20% lodo do biodigestor de uma cervejaria; 3: Resíduo Ingá + 2% resíduo silicato de cálcio; 4: Resíduo Ingá + 3% resíduo silicato de cálcio; 5: (Resíduo Ingá + 20% lodo do biodigestor de uma cervejaria) + 4% resíduo silicato de cálcio. Cada valor corresponde a uma média de 3 repetições ± erro padrão.

foi alterada por essa redução do pH, por se tratar de uma fração mais estabilizada.

A redução de Zn e Cd nas frações F1 e F2 e o conseqüente aumento nas frações F3 e F4, em todos os tratamentos, quando comparados à testemunha, mostraram que o silicato de cálcio e o lodo de biodigestor contribuíram na elevação do pH e adição de matéria orgânica, respectivamente, atuando provavelmente na precipitação de metais pesados e na adsorção específica pelo aumento de carga líquida negativa na superfície de óxidos de Fe, Mn e Al, e da matéria orgânica, fazendo com que esses elementos que estavam associados a frações químicas mais

no simultaneamente, os teores de Zn e Cd absorvido pelas plantas foram significativamente menores quando comparados aos demais tratamentos e à testemunha. Entretanto, os teores de Zn e Cd permaneceram acima da faixa considerada para plantas contaminadas segundo Kabata-Pendias & Pendias (1992), que é de 100-400 e 5-30 mg kg⁻¹, respectivamente.

Com isso, é provável que essas plantas apresentem certa tolerância ao Zn e Cd, devido ao aumento na produção de matéria seca nos tratamentos com adição de matéria orgânica e resíduo alcalino a pH 7,0 e, ao mesmo tempo, apresentando valores acima dos limites críticos na parte aérea. Resultados seme-

Tabela 4. Peso seco médio (g) e concentração de Zn e Cd (mg kg⁻¹) na parte aérea e raiz das plantas de *Brachiaria humidicola* nos diferentes tratamentos.

Table 4. Dry weight (g) and Zn and Cd concentrations (mg kg⁻¹) in shoot and root of the *Brachiaria humidicola* in different treatments.

Tratamentos	Peso (g)		Zn		Cd	
	parte aérea	raiz	parte aérea	raiz	parte aérea	raiz
1	x	x	x	x	x	x
2	1,7±0,3	0,3±0,1	1278,1±0,1	5655,2±0,7	41,4±0,1	69,0±0,7
3	3,6±1,2	1,5±0,7	1572,6±2,4	4269,7±3,1	54,8±2,4	96,0±3,1
4	5,3±0,9	3,4±0,9	1016,9±0,7	4958,6±4,4	37,7±0,7	65,1±4,4
5	3,7±1,9	0,9±0,7	802,7±7,3	3633,3±5,7	25,0±7,3	51,1±5,7

1: Testemunha (Resíduo Ingá); 2: Resíduo Ingá + 20% lodo do biodigestor de uma cervejaria; 3: Resíduo Ingá + 2% resíduo silicato de cálcio; 4: Resíduo Ingá + 3% resíduo silicato de cálcio; 5: (Resíduo Ingá + 20% lodo do biodigestor de uma cervejaria) + 4% resíduo silicato de cálcio. Cada valor corresponde a uma média de 3 repetições ± erro padrão. X = tratamentos cujas plantas não sobreviveram

lábéis (F1 e F2), passassem para frações de maior estabilidade (F3 e F4).

A produção de matéria seca das plantas de *Brachiaria humidicola* foi influenciada pela biodisponibilidade de Zn e Cd nos tratamentos, e pelo tipo e doses de inertizantes utilizados (Tabela 4).

As maiores produções de matéria seca nas plantas de *B. humidicola* foram constatadas nos tratamentos com pH próximo à neutralidade (T4 e 5), demonstrando a importância do pH na redução da solubilidade de metais pesados, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Os teores de Zn e Cd na parte aérea das plantas foram influenciados pela adição de resíduos de reação alcalina e orgânica (Tabela 4). No tratamento 5, que foi adicionado matéria orgânica e resíduo alcali-

lhantes foram encontrados por Accioly et al. (2004) estudando os efeitos da aplicação de diferentes doses de calcário em solos contaminados com Zn e Cd. A adição de calcário elevou o pH do solo próximo à neutralidade e reduziu os teores de Zn e Cd biodisponíveis, beneficiando o crescimento de plantas de *Eucalyptus camaldulensis*.

A concentração de Zn e Cd foi maior nas raízes quando comparado à parte aérea, o que pode estar ocorrendo devido a algum mecanismo que favoreça o acúmulo desses elementos nas raízes, como imobilização, exclusão ou compartimentalização (Cobbett & Goldsbrough, 2002).

Conclusões

- O aumento do pH e a adição de matéria orgânica causaram redução na biodisponibilidade de Zn e Cd pela associação desses elementos a frações químicas mais estáveis no resíduo estudado, beneficiando o desenvolvimento de plantas de *B. humidicola*;
- A menor biodisponibilidade de Zn e Cd no resíduo Ingá, pela aplicação de resíduos industriais alcalino e orgânico, resultou na redução da absorção desses elementos nas plantas de *B. humidicola*.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10004: Classificação de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 1987. 63p.

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, V.1, p.299-352, 2000.

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O.; CURTI, N.; MOREIRA, F.M.S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V.28, n.4, p.775-783, 2004.

CHANEY, R.L. Phytoremediation of soil metals. **Current Opinion in Biotechnology**, London, V.8, n.3, p.279-284, 1997.

COBBETT, C.; GOLDSBROUGH, P. Phytochelatin and metallothioneins: Role in heavy metal detoxification and homeostasis. **Annual Review of Plant Biology**, Califórnia, V.53, p.159-182, 2002.

CUNNINGHAM, S., BERTI, W. R. The remediation of contaminated soils with green plants: an overview. **In Vitro Cellular and Development Biology Plant**, Columbia, V.29, p.207-212, 1993.

EMBRAPA/CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/

CNPS, 1997. 212p.

GLEBA, D.; BORISJUK, N. V.; BORISJUK, L. G.; KNEER, R.; POULEV, A.; SKARZHINSKAYA, M.; DUSHENKOV, S.; LOGENDRA, S.; GLEBA, Y. Y.; RASKIN, I. Use of plant roots for phytoremediation and molecular farming. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, V.96, p.5973-5977, 1999.

KAMNEV, A. A. Phytoremediation of heavy metals: an overview. **Recent Advances in Marine Biotechnology**, V.8, p.269-317, 2003.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Flórida: CRC Press, 1992. 315p.

KELLER, C.; VÉDY, J. C. Distribution of cadmium fractions in two forest soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, V.23, p.987-999, 1994.

LINDSAY, W.L., NORWELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, V.42, p.421-428, 1978.

MESQUITA, A.A. **Remediação de áreas contaminadas por metais pesados provenientes de lodo de esgoto**. 2002. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

RASKIN, I.; SMITH, R.D.; SALT, D.E. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. **Current Opinion in Biotechnology**, London, V.8, n.2, p.221-226, 1997.

SCOTT, K. Cause and control of losses of chromium during nitric-perchloric acid oxidation of aquatic sediments. **Analyst**, London, V.103, p.754-758, 1978.

- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 234p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p.
- URE, A.; QUEVAUVILLER, P.M.; MUNTAU, H.; GRIEPINK, B. Speciation of heavy metals in soils and sediments, an account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, New York, V.51, p.135-151, 1993.
- YAMADA, R.; IMAIUMI, M.; SANO, K. Behaviour of heavy metals in soil treated successively with sewage sludge. **Ken Agricultural Research Centre**, V.16, p.228-238, 1984.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science and Plant Analysis**, New York, V.19, p.1467-1476, 1988.
- ZAHARIEVA, T.; RÖMHELD, V. Specific Fe (II) uptake system in strategy plants inducible under Fe deficiency. **Journal of Plant Nutrition**, V.23, p.1733-1744, 2000.