



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

JULIATTI, M. A.; PRADO, R. M.; BARRIQUELO, M. F.; LENZI, E.  
CÁDMIO EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM MILHO EM COLUNAS: MOBILIDADE E  
BIODISPONIBILIDADE

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 4, 2002, pp. 1075-1081

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218306026>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# **CÁDMIO EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM MILHO EM COLUNAS: MOBILIDADE E BIODISPONIBILIDADE<sup>(1)</sup>**

**M. A. JULIATTI<sup>(2)</sup>, R. M. PRADO<sup>(3)</sup>,  
M. F. BARRIQUELO<sup>(2)</sup> & E. LENZI<sup>(4)</sup>**

## **RESUMO**

Com vistas em avaliar a dinâmica do cádmio no sistema solo-planta, instalou-se um experimento em colunas de PVC (0,10 m de diâmetro e 0,80 m de altura), preenchidas com amostras de Latossolo Vermelho distrófico típico com 320 g kg<sup>-1</sup> de argila (elevou-se V % a 70) onde se aplicou bio sólido (pH 6) contaminado com Cd, incorporado na camada de 0-0,2 m da coluna. Os tratamentos com bio sólido contaminado com cádmio foram (mg kg<sup>-1</sup>): 0 (testemunha), 2.500 e 5.000 de Cd e dois adicionais (2.500 Cd + 2.500 Pb e 5.000 Cd + 5.000 Pb). Cultivou-se milho nas colunas por um período de 80 dias. As concentrações de Cd nas amostras de solo e na parte aérea do milho foram determinadas em extrato nitro-perclórico. A alta concentração do Cd no solo restringiu-se apenas à camada de incorporação, não havendo lixiviação do elemento na coluna do solo. A concentração de 12 mg kg<sup>-1</sup> de Cd não foi suficiente para provocar sintomas visuais de fitotoxidez de Cd em milho. O Pb adicionado juntamente com o Cd não apresentou interferência no sistema solo-planta.

**Termos de indexação:** lodo de esgoto, lixiviação, toxidez, Pb.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Estadual de Maringá – UEM. Recebido para publicação em agosto de 2001 e aprovado em junho de 2002.

<sup>(2)</sup> Mestre, Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Av. Colombo 5790, CEP 87020-900 Maringá (PR). E-mail: mari-juliatti@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Doutorando, Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº, CEP 14870-000 Jaboticabal (SP). Bolsista FAPESP. E-mail: rmprado@fcav.unesp.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Química, UEM. E-mail: elenzi@maringa.com.br

**SUMMARY:** *CADMIUM IN TYPIC HAPLUDOX COLUMNS CULTIVATED WITH MAIZE: MOBILITY AND BIOAVAILABILITY*

*Cadmium dynamics in the soil-plant system were evaluated in an experiment with a Typic Hapludox (320 g kg<sup>-1</sup> of clay) PVC columns (diameter 0.10 m, height 0.80 m) were filled with soil samples (V % elevated to 70), and the surface layer (0-0.2 m) supplemented with Cd-contaminated biosolid (sewage sludge, pH 6). The biosolid treatments were contaminated as follows (in mg kg<sup>-1</sup>): 0 (control) 2,500 of Cd, 5,000 of Cd, 2,500 of Cd + 2,500 of Pb, and 5,000 of Cd + 5,000 of Pb. The soil columns were cultivated with maize for a period of 80 days. The total Cd concentrations in the soil samples and maize shoots were determined using nitro-perchloric extraction solution. There was no percolation of Cd into the soil column, so the high amounts of cadmium remained in the surface layer. The concentration of 12 mg kg<sup>-1</sup> of Cd in the maize shoots was not enough to cause visible toxicity symptoms in the plants. Pb, applied together with Cd, did not affect the soil-plant system.*

*Index terms: sewage sludge, leaching, toxicity, Pb.*

## INTRODUÇÃO

A preocupação com o destino final da grande quantidade de resíduos urbano-industriais, como o lodo de esgoto, produzidos pela atividade humana é crescente na sociedade moderna. Esse lodo de esgoto, quando processado pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), com vistas em permitir o seu manuseio de forma segura na agricultura, é chamado de biossólido.

A aplicação do biossólido na agricultura está se tornando prática comum, já que as estações de tratamento de lodo de esgoto não dispõem de outro destino (Hervas, 1996), uma vez que esse material encerra em sua composição consideráveis teores de matéria orgânica e nutrientes (Oliveira et al., 1995). Apesar dos efeitos benéficos da incorporação do biossólido ao solo, existe o problema dos metais pesados que, ao acumularem no solo e nas plantas, causam sérios riscos à saúde humana, propagando-se nos diversos níveis da cadeia alimentar (Chang et al., 1997).

Dentre os metais pesados presentes no biossólido, o cádmio é uma importante fonte de contaminação (Robards, 1991), em virtude de sua longa persistência no solo, o que facilita sua bioacumulação (Larini, 1993).

Um solo considerado contaminado para cádmio, segundo os padrões de qualidade do solo, pode variar de 1-3 mg kg<sup>-1</sup> (Hall, 1998), segundo Diretriz da Comunidade Européia, e até 20 mg kg<sup>-1</sup>, segundo United States Environmental Protections Agency (USEPA) dos EUA. Para predizer esses teores no solo, têm sido utilizados extratores ácidos, agressivos, como o ácido perclórico, que estimam o Cd próximo

ao teor total (Horwitz, 1980) ou ácido clorídrico (Takijima et al., 1973; Mattiazzo-Prezotto, 1994). Por essa razão, recomendam-se estudos de monitoramento, dos teores do elemento no solo, para evitar atingir teores tóxicos, os quais podem afetar a cadeia alimentar.

É importante ressaltar que o poder contaminante de um metal pesado pode ser caracterizado pelo potencial de movimento no solo. Alguns autores indicam existir certa mobilidade do Cd no solo, especialmente em condições de solos ácidos (Amaral Sobrinho et al., 1998), dada a menor ocorrência dos fenômenos de adsorção e co-precipitação, uma vez que o aumento do pH incrementa a taxa de adsorção deste elemento no solo (Dias et al., 2001), enquanto outros colocam-no como praticamente imóvel no perfil do solo (Chang et al., 1984; Li et al., 1994).

Diante desse contexto, o presente experimento foi desenvolvido, objetivando avaliar a biodisponibilidade e a mobilidade Cd no sistema solo-planta, utilizando biossólido contaminado com Cd e Pb, em colunas com solo cultivado com milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras do Latossolo Vermelho distrófico típico do campus da Universidade Estadual de Maringá, em camadas de 0,20 m até na profundidade de 0,80 m. Em seguida, as amostras foram peneiradas e secas ao ar. A análise química do solo foi efetuada de acordo com método descrito por Pavan et al. (1992), e a análise física, conforme método descrito por EMBRAPA (1997). O solo

apresentou as seguintes características: pH em água = 5,3; K = 0,4; Ca = 0,8; Mg = 0,4; H + Al = 0,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Fe = 114,7; Cu = 3,0; Mn = 75,7 mg dm<sup>-3</sup>; argila = 320; silte = 20 e areia = 660 g kg<sup>-1</sup>.

Determinou-se a necessidade de calagem do solo pelo método SMP (Pavan et al., 1992), elevando o valor de pH para aproximadamente 6,0, utilizando-se de uma mistura CaCO<sub>3</sub>:MgCO<sub>3</sub>, na relação 3:1 (em partes). O corretivo de acidez foi misturado ao solo, permanecendo incubado durante 15 dias.

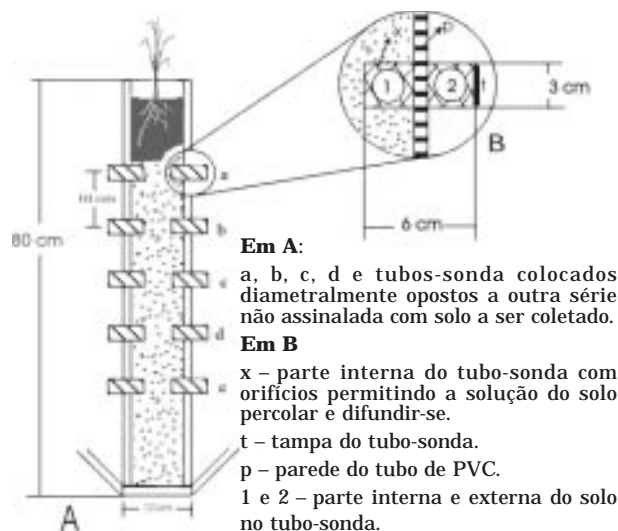
O biossólido (70 % de umidade) foi obtido na estação de tratamento de esgoto da SANEPAR (Companhia de Saneamento de Paraná), em Maringá. Logo após a coleta, foi feita a análise química do produto *in natura*, digerida com solução nitro-perclórica, e os teores de K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Pb e Cd foram determinados por meio de métodos descritos por Horwitz (1980). Os elementos N, P e C foram analisados conforme Pavan et al. (1992). As características químicas do biossólido foram as seguintes, em %, N = 2,9; P = 0,8; K = 0,1; Ca = 3,0; Mg = 1,0; S = 0,3; C = 24,3 e, em mg kg<sup>-1</sup>, Cu = 146; Zn = 132; Fe = 612; Mn = 262; Pb = 122 e Cd = 3,5.

Objetivando elevar o valor de pH para 6,0, foi aplicada no biossólido uma mistura de CaCO<sub>3</sub>:MgCO<sub>3</sub>, na relação 3:1 (partes), permanecendo incubado por 28 dias, mantendo umidade em 80 % da capacidade de campo. Salienta-se que um motivo que leva à aplicação de material corretivo em biossólido seria a medida de higienização contra organismos patogênicos. Logo após a incubação de quatro semanas, adicionaram-se ao biossólido doses de Cd e Pb, usando como fonte os sais CdCl<sub>2</sub> e PbCl<sub>2</sub>.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas respectivas doses de Cd e Pb, em mg kg<sup>-1</sup>: (a) 0 e 0; (b) 2.500 e 0; (c) 5.000 e 0; (d) 2.500 e 2.500; (e) 5.000 e 5.000, respectivamente. A quantidade de biossólido utilizada correspondeu a 6 Mg ha<sup>-1</sup> (base seca), incorporada ao solo na camada de 0-0,2 m da coluna.

As colunas de PVC foram montadas, conforme Silva et al. (1999), com saídas laterais a cada 0,10 m, a partir dos primeiros 0,20 m até 0,60 m de profundidade, onde foram colocados tubos-sonda preenchidos com solo correspondente ao da camada da coluna, para posterior análise. Estes tubos-sonda foram perfurados na parte interna com a finalidade de permitir a passagem da solução do solo, juntamente com o contaminante, permitindo, assim, determinar sua percolação (Figura 1).

Após a instalação do experimento, foram semeadas cinco sementes de milho (híbrido C 444), deixando-se após o desbaste, aos sete dias da emergência, três plantas em cada coluna.



**Figura 1. Representação de um corte vertical - frontal do tubo de PVC (f = 10 cm e altura = 80 cm), que continha o solo e os tubos-sonda (Parte A). E, ampliação de um corte do tubo-sonda (Parte B).**

Para permitir a lixiviação do Cd, durante esse período (80 dias), uma vez por semana, as regas foram feitas com uma quantidade de água duas vezes superior à maior precipitação dos últimos 21 anos (152 mm do dia 05/06/1997), segundo dados do Departamento de Meteorologia da UEM, correspondendo a 1,52 L de água por coluna.

Depois de oitenta dias de cultivo, realizou-se a colheita da parte aérea das plantas, secando o material em estufa, de circulação de ar a 80 °C, por 48 h.

A coleta das amostras de solo (camada de 0-0,20 m e amostra dos tubos-sonda) foi realizada 15 dias após a colheita. Ressalta-se que, imediatamente após a colheita, suspendeu-se a irrigação e aguardou-se esse período (15 dias) para redução e homogeneização da umidade ao longo da coluna, para posterior coleta das amostras de solo. O material de cada tubo-sonda foi dividido em partes, externa e interna, ao tubo de PVC. As amostras foram secas ao ar, trituradas em gral de porcelana, peneiradas e acondicionadas em recipientes fechados e submetidas às análises químicas.

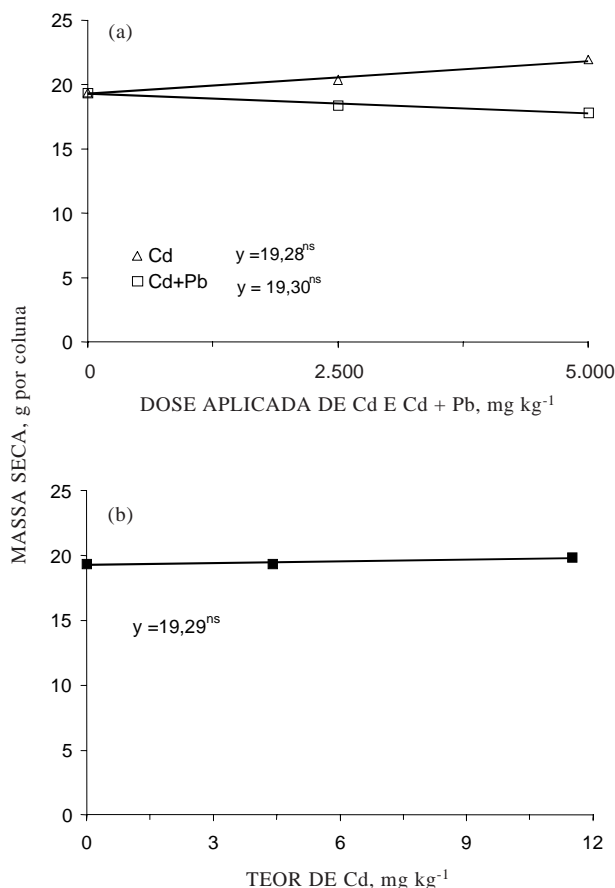
As amostras de solo, da água percolada e de plantas foram digeridas, por via úmida, utilizando a solução nitro-perclórica (Horwitz, 1980), determinando-se o cádmio. Salienta-se que para extração do cádmio total exige-se digestão com ácido fluorídrico juntamente com ácidos fortes; entretanto, o ácido fluorídrico geralmente não é utilizado na rotina dos laboratório pelo difícil manuseio. Assim sendo, é comum utilizar ácidos alternativos, como perclórico, para estimar teores do Cd próximo ao total.

Os dados foram submetidos a uma análise de variância, utilizando o teste de Tukey, para comparação de médias e à análise de regressão polinomial, para avaliar os efeitos das doses. O software utilizado na análise estatística foi o SANEST (Udo & Santana, 1996).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a produção de matéria seca, verificou-se que não houve diferença significativa ( $R^2 = 0,40^{ns}$ ) entre os tratamentos e a testemunha, mostrando que a aplicação do metal no solo não afetou o crescimento das plantas, nem o Pb interferiu na resposta do Cd (Figura 2a).

A aplicação de altas dose de Cd no solo não foi suficiente para atingir toxidez, visto que o Cd absorvido não correlacionou ( $R^2 = 0,30^{ns}$ ) com a produção de matéria seca (Figura 2b).

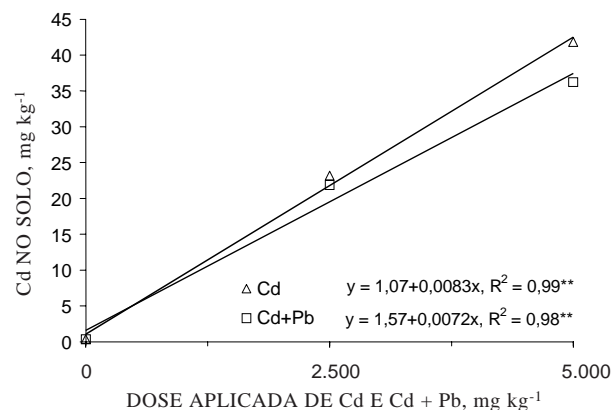


**Figura 2. Efeito da aplicação de bioresíduo contaminado com Cd na produção de massa seca (a) e a relação do teor de Cd e a produção de massa seca (b) do milho.**

Pela literatura, é comum inferir que esta tolerância da planta ao Cd pode ser atribuída a mecanismos de defesa da planta, visto que estudos têm mostrado que plantas submetidas ao Cd aumentam a produção de fitoquelatinas, as quais apresentam propriedades quelantes, que agem na planta (Barceló & Poschenrieder, 1992).

Embora a aplicação de Cd não tenha causado redução na massa seca da parte aérea do milho, observou-se um acúmulo linear na concentração de Cd total na camada superficial do solo (0-0,20 m de profundidade), tanto pela aplicação do Cd isolado como associado ao Pb (Figura 3). Observou-se que a aplicação da maior dose de Cd (5.000 mg kg<sup>-1</sup>) causou uma concentração de 41,8 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o solo considerado contaminado segundo os padrões de qualidade, visto que a United States Environmental Protection Agency (USEPA), dos EUA, estabelece o teor tóxico de 20 mg kg<sup>-1</sup>; a Diretriz da Comunidade Européia, de 1-3 mg kg<sup>-1</sup> (Hall, 1998), e Pepin & Coleman (1984), de 3-8 mg kg<sup>-1</sup>. Nota-se grande variação entre os autores para o teor de Cd tóxico no solo, o que dificulta comparação com a literatura, visto que existem diversos fatores que podem interferir, tais como: a mineralogia e a reação do solo, os métodos químicos empregados e as suas derivações. De qualquer forma, observa-se que o bioresíduo contaminado utilizado transformou-se em fonte de contaminação de Cd no solo, conforme também verificado por outros autores (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

Quanto às outras profundidades (0,20-0,60 m) (Quadro 1), não houve diferença significativa de concentração de Cd na parte interna dos tubos-sonda nas várias profundidades, quando comparadas com a testemunha, mostrando que o metal adicionado na forma de sais não lixiviou no solo, concordando com Chang et al. (1984) e Li et al. (1994) e discordando de Amaral Sobrinho et al. (1998) que alegaram ser a



**Figura 3. Efeito da aplicação de bioresíduo contaminado com Cd na sua concentração no solo, camada da coluna de 0-0,20 m de profundidade.**



maior mobilidade do Cd no solo justificada por estar grande parte do Cd total do solo na forma trocável. Por outro lado, a falta de lixiviação do Cd na coluna pode ser devida à co-precipitação com óxidos de Fe e Mn (Bell et al., 1991), constituinte comum, em solos tropicais, que predominam argila tipo 1:1, a exemplo do utilizado neste trabalho. Soma-se a isso o efeito pH, em decorrência de doses de carbonato de cálcio e de magnésio que o solo recebeu para neutralização da acidez, uma vez que Dias et al. (2001) observaram, em solo semelhante ao estudado, que a elevação do valor pH aumentou a adsorção de Cd no solo.

Quanto à absorção de Cd pelo milho, observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos Cd 2.500 e Cd 2.500 + Pb 2.500, nem entre os tratamentos Cd 5.000 e Cd 5.000 + Pb 5.000, mostrando que o Pb não interferiu na concentração do Cd na parte aérea do milho (Quadro 2), da mesma forma que ocorreu com as concentrações de Cd do solo (Figura 4).

Como não ocorreu diferença entre os tratamentos (Cd e Cd + Pb), observou-se um incremento linear na concentração de Cd na parte aérea do milho com a aplicação do biossólido contaminado (Figura 4). Portanto, estes resultados discordam dos de Beckett (1991), que coloca que os metais pesados não são absorvidos pelas plantas proporcionalmente aos seus teores no solo, usando o extrator HCl, para avaliar a disponibilidade de Cd. Tais resultados podem ser explicados pelo tipo de extrator utilizado, que possibilita estimar, com eficiência, o elemento disponível para as plantas, considerando a alta correlação obtida neste trabalho.

Estes resultados indicam que o extrator nitro-perclórico pode ser utilizado para predizer o Cd absorvido pela planta. Entretanto, é importante destacar que as doses de Cd utilizadas foram altas, o que pode ter favorecido a alta correlação obtida, daí a necessidade de mais estudos para confirmar esse resultado. Outros autores têm obtido resultados favoráveis, utilizando extrator ácido (HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>), para predizer os teores de Cd do solo (Takijima et al., 1973; Mattiazzo-Prezotto, 1994).

Por outro lado, Anjos & Mattiazzo (2001), trabalhando com os extratores água-régia, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>; Mehlich-3 e DTPA-TEA pH 7,3, para quantificar o Cd em solos que receberam biossólido, observaram que nenhum extrator foi eficiente na previsão da disponibilidade deste elemento. Entretanto, segundo os autores, a falta de correlação entre a extração de Cd pelos extratores e a absorção de Cd pela planta pode ser atribuída à baixa dose desse elemento aplicado ao solo, tendo o teor total médio de Cd atingido apenas 4,1 mg dm<sup>-3</sup> e, com isso, o elemento contido na planta esteve abaixo do limite de determinação do método analítico empregado.

Pelos resultados, a maior dose de Cd resultou em alta concentração no solo (até 41,8 mg kg<sup>-1</sup>) (Figura 3) que, por sua vez, atingiu a concentração na parte aérea do milho de 12 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 4). Macnicol & Beckett (1985) observaram que, no milho, a concentração que diminuiu o crescimento da planta ocorreu com 25 mg kg<sup>-1</sup>; portanto, neste experimento, a planta absorveu uma quantidade de Cd abaixo da concentração de visualização dos sintomas de toxidez. Assim, percebe-se que o milho é capaz de

**Quadro 1. Concentração de Cd no solo, em diferentes estratos de profundidade e posições da coluna ou tubo-sonda, após o cultivo de milho durante 80 dias**

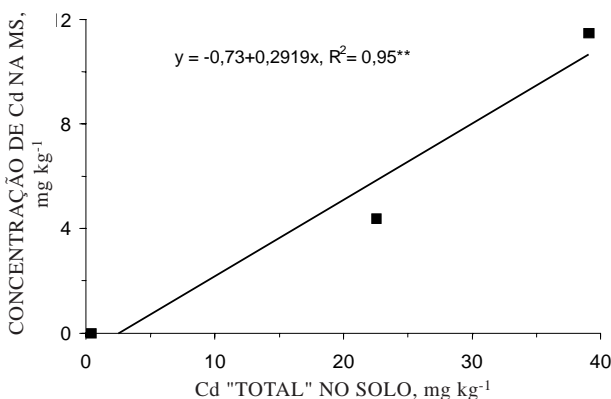
Profundidade		Tratamento				
		Testemunha	Cd 2.500	Cd 5.000	Cd 2.500 + Pb 2.500	Cd 5.000 + Pb 5.000
cm		mg kg <sup>-1</sup>				
Superfície		0,38 a	23,19 a	41,84 a	21,89 a	36,26 a
20	I	1,07 b	1,51 b	1,73 b	1,19 b	1,95 b
20	E	1,08 b	1,47 b	1,22 b	1,06 b	0,91 b
30	I	1,11 b	1,65 b	1,48 b	1,21 b	1,40 b
30	E	1,13 b	1,67 b	1,40 b	1,17 b	1,02 b
40	I	1,23 b	1,79 b	1,42 b	1,17 b	1,10 b
40	E	1,17 b	1,84 b	1,48 b	1,18 b	0,99 b
50	I	1,21 b	1,85 b	1,48 b	1,12 b	0,91 b
50	E	1,18 b	1,90 b	1,49 b	1,14 b	1,00 b
60	I	1,25 b	1,89 b	1,54 b	1,18 b	1,05 b
60	E	1,26 b	1,90 b	1,55 b	1,20 b	1,05 b
D.M.S.		0,18	2,98	1,69	5,45	2,88
C.V. (%)		5,6	27,6	11,3	61,3	22,8

I - parte interna do tubo-sonda; E - parte externa do tubo-sonda. Médias seguidas por letras distintas, na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

**Quadro 2. Concentração de Cd na parte aérea das plantas de milho cultivadas em coluna com solo**

Tratamento	Cd
	Média $\pm$ desvio-padrão
	mg kg <sup>-1</sup>
Testemunha	n.d.
Cd 2.500	4,33b $\pm$ 0,49
Cd 5.000	12,16c $\pm$ 2,00
Cd 2.500 + Pb 2.500	4,46b $\pm$ 0,48
Cd 5.000 + Pb 5.000	10,84c $\pm$ 2,90
D.M.S	4,21
C.V. (%)	24,7

Médias seguidas por letras distintas, na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). nd: Não-determinado (teores abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado).

**Figura 4. Relação entre o teor de Cd extraído com ácido nitro-perclórico no solo e com a sua concentração na parte aérea do milho (média de doses de Cd e de Cd + Pb).**

absorver uma quantidade considerável de Cd, mesmo sem apresentar sintomas visuais de fitotoxidez, mesmo em solos considerados contaminados (41,8 mg kg<sup>-1</sup>). Anjos & Mattiazzo (2000) observaram que o solo que recebeu biossólido com contaminação por Cd (total) de 4 mg kg<sup>-1</sup>, extraído com água régia, não apresentou teores detectáveis de Cd em plantas de milho. Amaral et al. (1994), cultivando alface em solo contaminado com até 34,6 mg kg<sup>-1</sup> de Cd (extrator nitro-perclórico), não observaram sintomas visíveis de toxidez.

Estes resultados também permitem inferir que o prévio tratamento do solo e também do biossólido, com carbonatos, pode aumentar a viabilidade do uso do biossólido na agricultura, considerando a ausência de mobilidade no perfil do solo e a falta de sintomas visuais de toxidez em plantas de milho.

Entretanto, é prudente considerar que as plantas, mesmo com certo teor de contaminação, a exemplo

deste trabalho (Cd na parte aérea igual a 12 mg dm<sup>-3</sup>), podem não apresentar sintomas visuais de toxidez, indicando que o consumo alimentício de plantas, especialmente “*in natura*”, sem devidas precauções, pode ser perigoso, pois estas podem estar contaminadas com metais pesados e isto não ser visualmente percebido.

## CONCLUSÕES

1. A alta concentração do Cd total no Latossolo Vermelho restringiu-se apenas à camada de sua incorporação, de forma que não houve movimento do elemento na coluna do solo.
2. A concentração de 12 mg kg<sup>-1</sup> de Cd na planta não foi suficiente para provocar sintomas de fitotoxidez de Cd em milho.
3. O Pb adicionado juntamente com o Cd não apresentou interferência no sistema solo-milho.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa concedida à primeira autora, e ao SANEPAR (Companhia de Saneamento de Paraná), pelo constante apoio.

## LITERATURA CITADA

- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & OLIVEIRA, C. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. R. Bras. Ci. Solo, 22:345-353, 1998.
- AMARAL, A.S.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M. & FONTES, M.P.F. Liberação de Zn, Fe, Mn, Cd e Pb de quatro corretivos de acidez do solo e absorção por alface, em dois solos. Pesq. Agropec. Bras., 29:1351-1358, 1994.
- ANJOS, A.R.M. & MATTIAZZO, M.E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolos tratados com biossólido e cultivados com milho. Sci. Agric., 58:337-344, 2001.
- ANJOS, A.R.M. & MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido. Sci. Agric., 57:769-776, 2000.
- BARCELÓ, J. & POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. Suelo Planta, 2:345-361, 1992.
- BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations as indicators of toxicity. Suelos Ecuatoriales, 21:39-44, 1991.
- BELL, P.F.; JAMES, B.R. & CHANEY, R.L. Heavy metal extractability in long-term sewage sludge and metal salt-amended soils. J. Environ. Qual., 20:481-486, 1991.

- CHANG, A.C.; HYUN, H. & PAGE, A.L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb. *J. Environ. Qual.*, 26:11-19, 1997.
- CHANG, A.C.; WARNEKE, J.E.; PAGE, A.L. & LUND, L.J. Accumulation of heavy metals in sewage sludge - treated soils. *J. Environ. Qual.*, 13:87-91, 1984.
- DIAS, N.M.P.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. & CAMARGO, O.A. Adsorção de cádmio em dois Latossolos ácricos e um Nitossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:297-304, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212p.
- HALL, J. Standardising and the management of biosolids the international experience. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., Curitiba, 1998. Anais. Curitiba, SANEPAR/ABEAS, 1998. p.113-122.
- HERVAS, D.A. Dinâmica de metais pesados no sistema solo-planta, influenciada pela calagem, pelo tempo de incubação e pelas doses, quando incorporados no solo via biossólido. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1996. 80p. (Tese de Mestrado)
- HORWITZ, W. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists - AOAC. 13.ed. Washington, The Association of Official Analytical Chemists, 1980. p.30.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 1992. p.74-143.
- LARINI, L. Toxicologia. 2.ed. São Paulo, Manole, 1993. p.128-130.
- LI, Y.M.; CHANEY, R.L. & SCHNEITER, A.A. Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant Soil*, 167:275-280, 1994.
- MACNICOL, R.D. & BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil*, 85:107-129, 1985.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Comportamento de Cu, Cd, Cr, Ni e Zn adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1994.197p. (Tese Livre-Docência)
- OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A. & PERECIN, D. Biossólido como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Sci. Agric.*, 52:360-367, 1995.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina, IAPAR, 1992. p.7-18. (Circular, 74)
- PEPIN, R.G. & COLEMAN, P. Paper mill sludge and ash as soil conditioner. *J. Waste Recyc.*, 25:52-54, 1984.
- ROBARDS, K. Cadmium: toxicology and analysis. *Analyst*, 116:549-568, 1991.
- SILVA, M.S.; LENZI, E. & LUCHESE, E.B. Comportamento do chumbo em solo argiloso tratado com lodo de esgoto contaminado e sua absorção pelas plantas. *Acta Scient.*, 21:757-762, 1999.
- TAKIJIMA, Y.; KATSUMI & KOIZUMI, S. Cadmium contamination of soils and rice plants caused by zinc mining. V. Removal of soil cadmium by na HCl-leaching method for the control of high Cd rice. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 19:245-254, 1973.
- UDO, M.T. & SANTANA, R.G. Análise de variância - I Parte, Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 1996. p.1-14. (Apontamentos, 50)



