

Acúmulo e disponibilidade de cromo, cádmio e chumbo em solos tratados com lodo de esgoto por onze anos consecutivos¹

Accumulation and availability chromium, cadmium and lead in soils treated with sewage sludge for eleven consecutive years

Fernando Giovannetti de Macedo^{2*}; Wanderley José de Melo^{3a};
Luciana Cristina Souza Merlino^{3b}; Marina Hernandez Ribeiro^{3c};
Gabriel Maurício Peruca de Melo⁴; Marcos Antonio Camacho⁵

Resumo

Utilizado com fins agrícolas, o lodo de esgoto proporciona inúmeros benefícios ao solo, porém por nele conter elementos prejudiciais ao meio ambiente, nos remete uma maior atenção quanto à sua utilização. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre o acúmulo e disponibilidade de metais pesados (cádmio, cromo e chumbo) no solo e em amostras de planta de milho, bem como a eficiência de extratores químicos em estimar a fitodisponibilidade desses elementos. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, para safra 2007/08 foram utilizados 4 tratamentos: 0, 55, 110 e 167,5 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto com 5 repetições. Foram avaliadas as quantidades disponíveis de Cd, Cr e Pb no solo através dos extratores Melich-1, Melich-3 e DTPA; teores extraídos por plantas de milho; bem como as correlações entre a disponibilidade dos metais no solo e seus respectivos teores em: plantas inteiras, folhas diagnose e grãos de milho. A aplicação de lodo de esgoto por onze anos consecutivos não apresentou acréscimos para os teores totais e disponíveis dos metais Cd, Cr e Pb no solo. O extrator Melich-1 foi o único que se apresentou eficiente na correlação disponibilidade de Cd, Cr e Pb no solo x plantas de milho. Os extratores Melich-3 e DTPA foram eficientes na correlação disponibilidade de metais no solo x folha diagnose apenas para Pb.

Palavras-chave: Metais pesados, bio sólidos, milho

Abstract

The sewage sludge used for agricultural purposes provides many benefits to soil, but it contains harmful elements to environment, that infers in a great attention on its use. The aim of this work was to evaluate the effects of successive applications of sewage sludge on heavy metals accumulation (cadmium, chromium and lead) in samples of soils and corn plants, as well as evaluate the chemicals extractants efficiency in estimate the phyto disponibility of those elements. The experiment was conducted in randomized blocks design in the 2007/08 season, with 4 treatments (0, 5, 10 and 20 Mg ha⁻¹ of sewage sludge) and 5 replicates. It was evaluated: the quantities available of Cd, Cr and Pb in soil by Melich-1, Melich-3 and DTPA extractants; the quantities extracted by corn plants; and the correlation between the disposition and quantities of those metals on whole plants, diagnosis leaves and corn grains. The

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

² Prof. do Deptº de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso, UNEMAT. Campus de Tangará da Serra. E-mail: giovannetti_agro@yahoo.com.br

³ a.Prof. b.Doutoranda; c.Graduanda da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Deptº de Tecnologia. Jaboticabal, SP. E-mail: wjmelo@fcav.unesp.br; lucianachris@hotmail.com; mazinahr@hotmail.com

⁴ Prof. da Universidade Camilo Castelo Branco, Campus de Descalvado, SP. E-mail: gmpmelo@terra.com.br

⁵ Prof. da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana, MS. E-mail: camacho@uems.br

* Autor para correspondência

application of sewage sludge for eleven consecutive years has not showed increase in total quantity nor availability of Cr, Cd and Pb in the evaluated soils. The extractor Melich-1 was the only one that showed significant correlation for availability of Cd, Cr and Pb in soil and corn plants. The correlation of metal availability in soil x leaf diagnosis was significant only for Pb with the Melich-3 and DTPA extractants

Key words: Heavy metals, biosolids, corn

Introdução

Utilizado com fins agrícolas, o lodo de esgoto, resíduo proveniente do tratamento de água, pode proporcionar inúmeros benefícios ao solo: elevação dos valores de pH (SILVA et al., 2001), do teor de C orgânico e da CTC (MELO et al., 1994; OLIVEIRA, 2000), redução da acidez potencial (DA ROS et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1995), maior retorno econômico em relação à aplicação de fertilizante químico (DOU; ALVA; KHAKURAL, 1997), melhorias nas propriedades físicas do solo (JORGE; CAMARGO, O. A.; VALADARES, 1991), além de representar um benefício de ordem social pela disposição final com menor impacto negativo do resíduo no ambiente.

Embora a utilização agrícola de lodo de esgoto se apresente como uma das alternativas mais atrativas para a disposição final desse resíduo (GOMES et al., 2006; BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006), o simples fato de nele conter elementos prejudiciais ao meio ambiente, nos remete uma maior atenção quanto à sua utilização. Neste sentido, a presença de metais pesados constitui uma das principais limitações ao seu uso agrícola (NASCIMENTO et al., 2004).

De modo geral, as concentrações de metais encontradas no lodo são muito maiores que as naturalmente encontradas em solos, daí a necessidade de avaliação dos riscos associados ao aumento desses elementos no ambiente em decorrência da aplicação desse resíduo (NASCIMENTO et al., 2004).

Os metais pesados de maior preocupação nos lodos de esgoto são: Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) devido à sua ocorrência generalizada, ao

potencial de fitotoxicidade e aos danos a animais e humanos (CHANG; HYUN; PAGE, 1997; LUCCHESI, 1998).

O Cr não possui essencialidade comprovada na nutrição das plantas, porém é requerido pelos microrganismos em alguns processos metabólicos específicos (CASTILHO et al., 2001; MONTEMÓR; MARÇAL, 2009). Sob condições oxidantes, o Cr⁴⁺ pode estar presente no solo na forma de íon cromato ou cromato ácido. Essas formas são relativamente solúveis, móveis e tóxicas para os organismos vivos, mas na maioria dos solos há predomínio de Cr³⁺ (ASTDR, 2000).

O Cd é facilmente absorvido e translocado pelas plantas em virtude de sua grande capacidade de movimentação (RAIJ, 1991), no solo, está intimamente ligado a matéria orgânica e sua retenção correlaciona-se com o pH, CTC, superfície específica e força iônica (BORGES, 2002).

A contaminação de solos com Pb é um processo cumulativo praticamente irreversível, aumentando assim, os teores desse metal na superfície do solo, indicando uma disponibilidade de absorção do mesmo pelas raízes das plantas (DUARTE; PASQUAL, 2000).

No entanto, o fato do metal pesado estar presente no solo não significa que esteja numa forma prontamente assimilável pelas plantas, podendo permanecer por longos períodos sem ser absorvido em quantidades tóxicas (SIMONETE; KIEHL, 2002).

O sucesso do monitoramento de metais pesados no solo depende, em parte, de um método químico eficiente para medir a fração desses elementos colocada à disposição das plantas (MANTOVANI et al., 2004).

As principais dificuldades na escolha do extrator são a variação de sua eficiência conforme a quantidade e tipo de metal presente no lodo de esgoto, processo de obtenção do resíduo, tipo de solo, presença de outras espécies químicas e espécie vegetal em questão (BERTONCINI, 2002).

Todavia, existem grandes dificuldades para a definição de um extrator multielementar que inclua vários metais pesados e que ao mesmo tempo, seja eficiente para diagnosticar a sua disponibilidade às várias espécies vegetais cultivadas em diversos tipos de solos. Além disso, em solos contaminados com metais pesados a absorção desses elementos pelas plantas pode não se comportar linearmente com as quantidades de metais aplicadas ou presentes nos solos. Dessa forma, fica clara a necessidade de pesquisas nesta área do conhecimento, principalmente no caso de solos de regiões de clima tropical, como é o caso do Brasil (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001).

No país, ainda não existe um procedimento definido pela pesquisa para avaliar a disponibilidade de metais pesados potencialmente tóxicos (ABREU; ABREU; ANDRADE, 2001). Entre os extratores universais mais utilizados no diagnóstico da disponibilidade de elementos no solo estão DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 (RAIJ, 1994), no entanto,

tais estudos são ainda incipientes, e os resultados encontrados na literatura são bastante controversos (BORGES; COUTINHO, 2004a).

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre o acúmulo e disponibilidade de metais pesados (cádmio, cromo e chumbo) no solo e em amostras de planta de milho, bem como a eficiência de extratores químicos em estimar a fitodisponibilidade desses elementos.

Material e Métodos

O experimento foi inicialmente instalado em novembro de 1997 e vem sendo conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, Campus de Jaboticabal – SP, localizada a uma altitude de 610 metros e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), textura argilosa, A moderado caulínico (EMBRAPA, 2006), cujas características químicas (0-0,20 m de profundidade) antes da instalação do 11º ano de experimentação encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do LVef (0-20 cm) antes da instalação do experimento no 11º ano agrícola (2007/2008).

Tratamentos	pH	M.O.	P _{resina}	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Mg ha ⁻¹	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						%
0	5,0	27	49	4,5	27	6	38	37,5	75,5	50
55	5,1	27	50	2,8	33	8	34	43,8	77,8	56
110	5,2	30	87	3,0	40	9	34	52,0	86,0	60
167,5	4,7	31	107	1,8	33	7	58	41,8	99,8	42

Foi utilizado delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 4 tratamentos e 5 repetições sendo o tamanho das parcelas de 60 m² (6 x 10 m). Os tratamentos inicialmente utilizados foram: testemunha (sem fertilização); 2,5; 5 e 10 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto (base seca). A partir do 2º ano, optou-se por adubar o tratamento testemunha de acordo com a análise de fertilidade do solo e as indicações contidas em Raij et al. (1997). A

partir do 4º ano, com base nos resultados até então obtidos e, na tentativa de provocar fitotoxicidade, optou-se por transformar a dose 2,5 para 20 Mg ha⁻¹ de tal modo que as doses acumuladas no 11º ano foram 0, 55, 110 e 167,5 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto base seca (Tabela 2). A concentração dos elementos cromo, cádmio e chumbo dos lodos de esgoto dos primeiros dez anos do experimento encontram-se na Tabela 3.

Tabela 2. Tratamentos utilizados durante os onze anos do experimento.

Ano agrícola	Tratamentos			
	T1	Lodo de Esgoto Mg ha ⁻¹		
		T2	T3	T4
1997/98	sem fertilização	2,5	5	10
1998/99	fertilizante mineral	2,5	5	10
1999/00	fertilizante mineral	2,5	5	10
2000/01 a 2007/08	fertilizante mineral	20	5	10

Tabela 3. Concentração de cromo, cádmio, e chumbo nos lodos de esgoto aplicados nos primeiros dez anos do experimento.

Ano Agrícola	Cr	Cd	Pb
	mg kg ⁻¹		
1997/98	290	8	152
1998/99	1190	12	371
1999/00	764	8	180
2000/01	699	10	171
2001/02	778	9	155
2002/03	808	11	186
2003/04	736	10	173
2004/05	798	8	169
2005/06	798	8	196
2006/07	434	2	39

O milho foi a cultura utilizada até o 6º e a partir do 9º ano agrícola. No 7º e 8º ano utilizou-se o girassol e a crotalária, respectivamente, visando a rotação de cultura, uma vez que produtividade da cultura do milho vinha decrescendo com o tempo em todos os tratamentos.

O lodo de esgoto foi obtido junto à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SABESP, localizada em Franca, SP. Para a caracterização química do lodo de esgoto (Tabela 4) coletaram-se 6 amostras simples em diferentes pontos da massa do resíduo, as quais foram homogêneas e reunidas em uma amostra composta.

Tabela 4. Caracterização química do lodo de esgoto usado no décimo primeiro ano de experimentação.

N		P		K		Ca		Mg		S	
g kg ⁻¹											
33,42		38,23		1,50		25,20		3,52		5,28	
Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Cr	Cd	Ni	Pb	Ba	Co
mg kg ⁻¹											
572,55	184100,00	726,99	1028,30	71,65	2,77	284,46	3,27	56,63	77,28	306,55	29,04
						1000*	39*		300*		

*Concentração máxima permitida de metais pesados no lodo de esgoto para uso agrícola conforme normas do CONAMA (2006).

Dentre os metais pesados contidos no lodo de esgoto foram escolhidos para este estudo Cr, Cd e Pb, devido à importância desses elementos e ocorrência generalizada nos lodos de esgotos.

O lodo de esgoto, nas parcelas que o receberam, foi aplicado a lanço, em área total, uniformemente distribuído 2 semanas antes da semeadura, nas respectivas doses de cada tratamento, com a umidade com que chegou da ETE (73%), sendo incorporado por meio de gradagem leve (cerca de 0,1 m de profundidade). Admitiu-se que 1/3 do nitrogênio contido no resíduo estaria disponível para as plantas. Para as doses de lodo de esgoto em que 1/3 do nitrogênio contido não supriam a necessidade da cultura utilizou-se de uma fonte mineral (sulfato de amônio) aplicado em cobertura.

As parcelas do tratamento testemunha foram sulcadas em espaçamento de 0,90 m e a fertilização mineral (NPK) aplicada imediatamente ao lado e abaixo da semeadura, utilizando-se, por hectare, 30 kg de N, 50 kg de P₂O₅ e 50 kg de K₂O, sendo utilizados como fonte desses nutrientes a uréia (45% N), o superfosfato simples (18% P₂O₅) e o cloreto de potássio (60% K₂O). Somente o K foi aplicado nas parcelas tratadas com o lodo de esgoto, sendo aplicado 41, 32 e 14 kg ha⁻¹ de K₂O nas parcelas que receberam nesta safra as doses de 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, respectivamente.

A cultura foi então semeada e quando as plântulas apresentavam cerca de 0,2 m de altura foi realizado desbaste, deixando-se 5-7 plantas por m linear.

Foram realizadas duas adubações de cobertura,

uma aos 28 e outra aos 49 dias após a emergência (d.a.e.). Na primeira cobertura foi aplicado, por hectare, 80 kg de N e 40 kg de K₂O nos tratamentos testemunha e 5 Mg ha⁻¹; 70 kg de N e 40 kg de K₂O no tratamento 10 Mg ha⁻¹ e 40 kg de K₂O no tratamento 20 Mg ha⁻¹. Na segunda cobertura foi aplicado, por hectare, 60 e 40 kg de N respectivamente nos tratamentos testemunha e 5 Mg ha⁻¹. Todos os valores referentes às adubações estão de acordo com as recomendações contidas em Raij et al. (1997) para a cultura do milho na produtividade esperada de 12 Mg ha⁻¹.

A amostragem de solo foi realizada aos 60 d. a. e., sendo coletadas 10 subamostras por parcela (5 na linha de plantio a 5 cm das plantas e 5 na entrelinha) que formaram uma amostra composta, nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m. A amostragem de folha diagnose foi realizada segundo método proposto por Raij et al. (1997) aos 60 d. a. e. Para a amostragem de planta inteira foram retiradas 3 plantas por parcela por meio de escavação para preservar as raízes, aos 80 d. a. e. A amostragem de espigas (para determinar a produtividade) ocorreu aos 128 d.a.e, coletando-se as espigas das plantas de 3 m lineares da linha central de cada parcela. A produtividade de grãos foi expressa em massa, com o teor de umidade corrigido para 13%.

Para determinação dos teores totais de Cr, Cd e Pb nas plantas e no solo foi empregada a metodologia proposta pela USEPA (1996) para a obtenção do extrato, com posterior análise em espectrofotômetro de absorção atômica utilizando

chama de ar-acetileno para o Cd e Pb e, acetileno-óxido nitroso para o Cr. Para teores trocáveis de Cr, Cd e Pb no solo foram utilizados os seguintes extratores: DTPA, conforme método preconizado por Lindsay e Norwell (1978); Mehlich-1, conforme método preconizado por Delfelipo e Ribeiro (1981) e Mehlich-3 conforme método preconizado por Mehlich (1984).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Nos casos em que o teste F foi significativo a 1 ou 5% de probabilidade, aplicou-se a análise de regressão (folhas diagnose, planta inteira e grãos) ou o teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o esquema de parcelas subdivididas (metais no perfil do solo), para comparação de médias. Também foram realizadas correlações entre teores disponíveis no solo x teores nas plantas de milho e folha diagnose. Para estas análises, utilizou-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002).

Resultados e Discussão

O balanço da concentração de metais pesados no solo, verificado na Tabela 5, é praticamente inexpressivo, se considerar o tratamento testemunha como referência de acréscimo de metais devido ao intemperismo do material de origem, nos tratamentos que receberam lodo de esgoto esse valor chega ser negativo, porém, cabe lembrar que a adubação química também pode conter estes metais. No caso do Cr na dose de 110 Mg ha⁻¹ o balanço chega ser negativo mesmo este sendo, dos três metais avaliados, o que se encontra em maior concentração no lodo de esgoto. Cabe lembrar também que os teores de metais ficaram abaixo do limite máximo permitido pelas Diretrizes da Comunidade Européia (Cd = 1-3, Cr = 100-150 e Pb = 50-300 mg kg⁻¹) para áreas agrícolas segundo Ferreira, Andreoli e Lara (1999).

Tabela 5. Balanço da concentração de metais em solo submetido à 11 anos de aplicação de lodo de esgoto.

	Lodo de Esgoto, Mg ha ⁻¹			
	0	55	110	167,5
	Cd, mg kg ⁻¹			
Antes da aplicação do L.E.	1,16	1,23	1,32	1,45
Após aplicação do L.E.	1,93	1,80	1,74	1,83
Balanço (Δ Cd)	0,77	0,57	0,42	0,38
	Cr, mg kg ⁻¹			
Concentração no solo antes da aplicação do L.E.	82,81	77,72	105,02	97,92
Concentração no solo após aplicação do L.E.	114,11	101,70	100,79	104,70
Balanço (Δ Cr)	31,30	23,98	-4,23	6,78
	Pb, mg kg ⁻¹			
Concentração no solo antes da aplicação do L.E.	16,64	16,46	19,50	18,95
Concentração no solo após aplicação do L.E.	29,37	25,91	27,23	28,43
Balanço (Δ Pb)	12,73	9,45	7,73	9,48

*LE= lodo de esgoto.

Este efeito pode ser explicado pelo método utilizado para obtenção dos valores totais dos elementos estudados, que no caso não extrai constituintes estruturais das partículas do solo. Desta forma, devido à diferença de cargas elétricas (valência) os metais podem, por exemplo, se ligar

a óxidos e sesquióxidos de ferro e/ou alumínio e constituírem uma nova partícula. Vários autores identificaram esse efeito em trabalhos com extração sequencial (PIRES, 2004; BORGES; COUTINHO, 2004b). Fontes, Camargo e Sposito (2001) em sua revisão de literatura descreve uma série de

fenômenos e teorias que explicam estas trocas e complexações de elementos.

Para efeitos de disponibilidade dos metais, este fenômeno é benéfico, uma vez que este tipo de ligação ganha estabilidade maior não permitindo que seja absorvido pela cultura e nem se desloque no perfil do solo.

Na avaliação da fitodisponibilidade, o extrator Melich-1, foi o único que se apresentou eficiente para o três elementos quando correlacionado com a absorção total dos metais pelas plantas de milho e, portanto será utilizado como referência para os efeitos de disponibilidade dos metais avaliados no experimento (Tabela 6).

Tabela 6. Correlação – disponibilidade de metais no solo x concentração em plantas de milho e folha diagnose.

Elemento	Melich-1	Melich-3	DTPA
Planta Inteira			
Cd	0,7347**	0,579**	0,691 ^{ns}
Cr	0,7189**	nd	nd
Pb	0,4515*	0,311 ^{ns}	0,3215 ^{ns}
Folha Diagnose			
Cd	0,1141 ^{ns}	0,3689 ^{ns}	0,0021 ^{ns}
Cr	nd	nd	nd
Pb	0,4318 ^{ns}	0,5683**	0,4695*

**significativo ao nível de 1% de probabilidade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns}- não significativo; nd- não detectado (valor abaixo do limite de determinação do método analítico).

De maneira geral, os elementos avaliados na profundidade de 0-0,1 m (Tabela 7), considerando os três extratores, apresentaram um comportamento de disponibilidade bastante semelhante, nos tratamentos testemunha e 55 Mg ha⁻¹ onde ocorreram as maiores e menores disponibilidade de metais, respectivamente.

Nas doses de 110 e 167,5 Mg ha⁻¹ foi onde os elementos se comportaram de maneira diferente quanto às suas respectivas disponibilidades, sendo que o Cd, por exemplo, apresentou-se nestes tratamentos em concentração semelhante a testemunha, já o Cr foi semelhante nestes tratamentos porém superior a dose de 55 Mg ha⁻¹

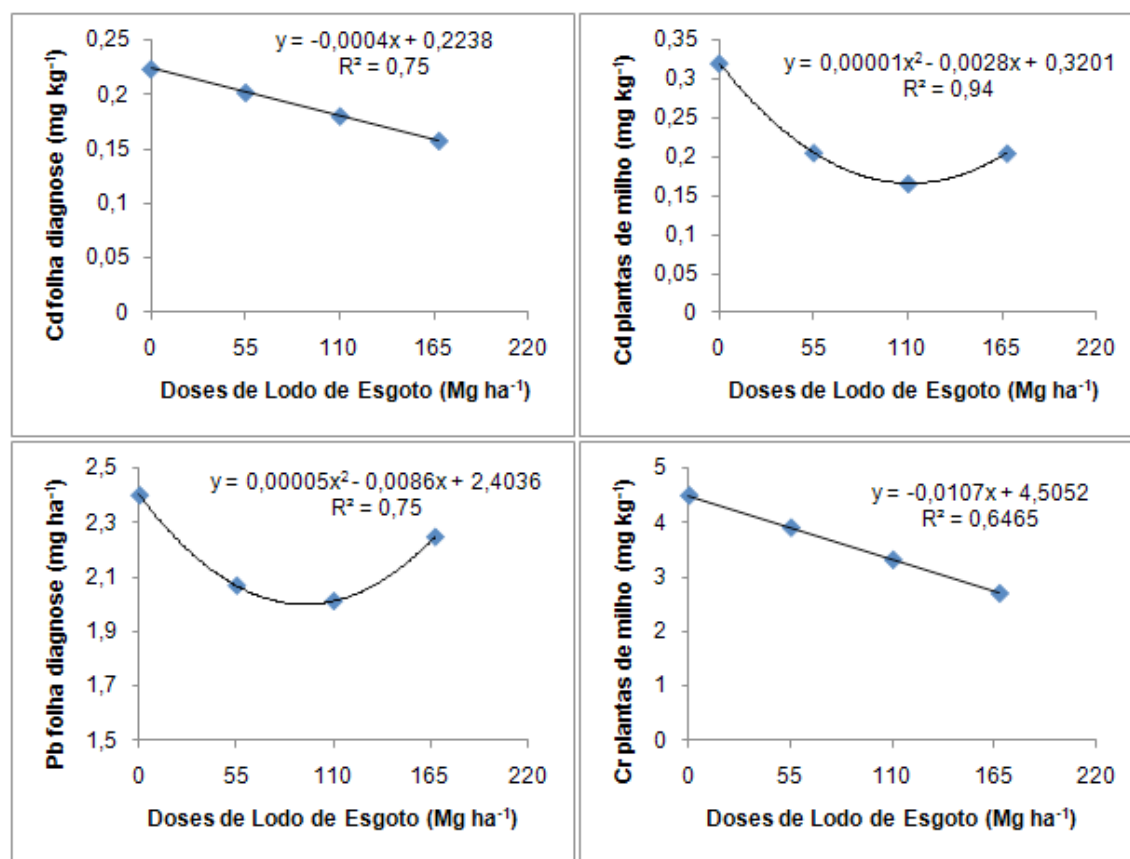
e inferior à testemunha, enquanto os teores de Pb, não foram influenciados pelos tratamentos que se utilizou lodo de esgoto.

Por se tratar de uma solução diluída de ácidos fortes, o Mehlich-1 remove metais em formas trocáveis da fase sólida, da solução e parte dos complexados (ABREU; ABREU; BERTON, 2002), por isso apresentou disponibilidade maior de metais nos tratamentos 110 e 167,5 Mg ha⁻¹ do que, por exemplo, no tratamento 55 Mg ha⁻¹ que apresentou maior absorção de Cd e Cr pelas plantas conforme verifica-se nos valores obtidos pelas regressões de absorção (Figura 1).

Tabela 7. Teores de Cr, Cd e Pb avaliados pelos extratores: Melich-1, Melich-3 e DTPA, em Latossolo tratado com lodo de esgoto.

Profundidade (cm)	Melich-1			Melich-3			DTPA											
	Tratamentos (Mg ha ⁻¹ L.E.)			Tratamentos (Mg ha ⁻¹ L.E.)			Tratamentos (Mg ha ⁻¹ L.E.)											
	0	55	110	167,5	Par.	Subp.	CV (%)	0	55	110	167,5	Par.	Subp.	CV (%)				
	Cádmio (mg kg ⁻¹)																	
0-10	0,191 a A	0,112 b A	0,173 a A	0,194 a A	0,124 a A	0,054 c A	0,062 bc A	0,093 ab A	0,049 ab A	0,032 b A	0,045 ab A	0,066 a A						
10-20	0,165 a A	0,062 b B	0,073 b B	0,083 b B	42,51	30,67	0,061 a B	0,033 a A	0,043 a B	48,08	36,73	0,052 a A	0,022 b A	0,037 ab A	0,035 ab B	65,56	39,10	
20-40	0,035 a A	0,036 a B	0,024 a C	0,004 a C	0,050 a B	0,039 a A	0,039 a A	0,045 a B	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd			
	Cromo (mg kg ⁻¹)																	
0-10	6,481 a A	1,980 c A	3,122 b A	4,749 b A	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd			
10-20	5,420 a A	0,955 c AB	1,829 bc B	2,809 b B	48,39	33,02	nd	nd	nd	-	-	nd	nd	nd	nd	-	-	
20-40	0,602 a B	0,351 a B	0,363 a C	0,5242 _{aC}	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
	Chumbo (mg kg ⁻¹)																	
0-10	1,206 a A	0,651 b A	0,703 b A	0,658 b A	1,226 a A	0,759 b A	0,758 b A	0,877 b A	0,980 a A	0,436 b A	0,565 b A	0,649 b A						
10-20	0,714 a B	0,402 b B	0,485 ab A	0,410 b B	43,18	33,97	1,051 a A	0,673 b A	0,690 b A	0,799 ab A	32,63	18,49	0,691 a B	0,247 b A	0,349 b B	0,462 ab A	56,73	35,09
20-40	nd	nd	nd	Nd	0,353 a B	0,358 a B	0,385 a B	0,380 a B	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

L.E.= lodo de esgoto, base seca. Par. = parcelas (doses L.E.) e Subp. = subparcelas (profundidades). Médias seguidas de mesma letra maiúscula para profundidades (na vertical) e de mesma letra minúscula para tratamentos (na horizontal) não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 1. Equação de regressão expressando o efeito de doses de lodo de esgoto na concentração de Cd, Cr e Pb em plantas de milho e folha diagnose.

O extrator Melich-3 também foi eficiente na correlação da disponibilidade no solo \times absorção de Cd pelas plantas de milho (Tabela 6), porém, sua capacidade de extração do elemento no solo foi inferior ao extrator Melich-1 e seu grau de significância ficou também abaixo deste. Já o extrator DTPA não apresentou correlação significativa com nenhum dos metais avaliados quanto à absorção por plantas de milho. Revoredo e Melo (2006) avaliando a disponibilidade de níquel em solos tratados com lodo de esgoto também observaram ineficiência do extrator DTPA na correlação entre disponibilidade do metal no solo e a absorção por plantas de sorgo. O fato de o DTPA ter sido inicialmente desenvolvido para extrair elementos de solos alcalinos pode justificar os resultados, porém Silva et al. (2006), trabalhando com solos tropicais tratados com lodo de esgoto, verificaram este extrator como o mais

eficiente na avaliação da disponibilidade de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn.

A concentração dos metais no solo seja total (Tabela 8) ou disponível (Tabela 7) sempre foi maior no tratamento testemunha ou não diferiu dos demais tratamentos. Isso indica que mesmo após onze anos de aplicação do resíduo no solo, os metais nele contidos não atingiram níveis de fitotoxicidade. Mesmo ao longo do perfil avaliado do solo (0-0,4 m) verificou-se que o tratamento testemunha foi superior em relação aos demais quanto à concentração dos metais determinados, indicando que o lodo de esgoto, além de não proporcionar acréscimos na disponibilidade de metais, também pode complexar os metais fornecidos pelo material de origem do solo. Outro dado relevante que se pode obter avaliando o perfil do solo é quanto a lixiviação dos metais, que através das concentrações observadas é possível concluir que esta não ocorre.

Tabela 8. Concentração total de Cd, Cr e Pb no perfil de um LVEf tratado com lodo de esgoto por onze anos consecutivos.

Profundidade (cm)	Tratamentos (Mg ha ⁻¹ L.E.)				CV	
	0	55	110	167,5	Par.	Subp.
mg kg ⁻¹						
Cádmio						
0-10	2,11 a A	1,99 ab A	1,82 b A	1,97 ab A	6,57	5,47
10-20	1,74 a B	1,62 a B	1,66 a B	1,69 a B		
20-40	1,61 a B	1,57 a B	1,60 a B	1,59 a B		
Cromo						
0-10	114,53 a A	106,80 a A	108,33 a A	111,47 a A	7,30	6,41
10-20	113,70 a A	96,60 b B	93,25 b B	97,94 b B		
20-40	113,84 a A	109,16 ab A	105,88 ab A	101,49 b AB		
Chumbo						
0-10	31,20 a A	27,95 b A	29,51 ab A	32,11 a A	7,20	6,51
10-20	27,55 a B	23,87 b B	24,96 ab B	24,70 ab B		
20-40	23,98 a C	22,56 a B	23,99 a B	23,48 a B		

L.E.= lodo de esgoto, base seca. Par. = parcelas (L.E.) e Subp. = subparcelas (profundidades). Médias seguidas de mesma letra maiúscula para profundidades (na vertical) e de mesma letra minúscula para tratamentos (na horizontal) não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Para avaliação das correlações entre concentração de metais na folha diagnose e disponibilidade no solo (Tabela 6), foi observado significância apenas para o Pb em somente dois extratores (DTPA e Melich-3). Isso se deve ao fato de que os metais pesados em plantas são pouco móveis, com destaque para o Cr que ficou abaixo do limite mínimo de determinação do método analítico, sendo sua concentração, segundo a literatura, compreendida quase que totalmente nas raízes (WHO, 1995). Silva et al. (2006) relata que na seleção de métodos químicos para avaliar a fitodisponibilidade de metais pesados, devem ser consideradas as partes da planta a ser amostrada. Neste caso, apenas para avaliação do Cd em folha diagnose é necessário que se disponha de um extrator diferente dos utilizados no experimento, já que ele foi o único elemento encontrado na folha diagnose que não apresentou correlação significativa (disponibilidade e absorção) com nenhum dos extratores testados.

As análises de regressão feitas para folha diagnose e planta inteira (Figura 1) com exceção do Cr na folha diagnose e do Pb na planta inteira que não foram influenciadas pelos tratamentos,

apresentaram pico de absorção no tratamento testemunha, para o caso do Cd na folha diagnose e o Cr na planta inteira, estes valores foram decrescendo a medida em que se aumentou a dose de lodo de esgoto aplicada. No caso do Pb na folha diagnose e Cd planta inteira ocorreu decréscimo de concentração nas doses 5 e 10 Mg ha⁻¹ e novamente se elevou na dose 20 Mg ha⁻¹

O caso do Cr, por exemplo, quando se encontra na forma Cr³⁺ apresenta baixa solubilidade e reatividade, resultando em baixa mobilidade e toxicidade (ASTDR, 2000). Kabata-Pendias e Pendias (2001) também relatam que, aproximadamente, 55% do Pb total do solo está na forma residual, 10% ligado à matéria orgânica, 28% associado a óxidos de Fe e Mn, 5% na forma trocável e apenas 2% na forma solúvel.

Já na avaliação da concentração dos metais nos grãos de milho, todos ficaram abaixo do limite mínimo de detecção do método analítico, o que ressalta a baixa translocação dos metais, assim como a eficiência do lodo de esgoto para fins agrícolas.

Conclusão

A aplicação de lodo de esgoto por onze anos consecutivos não apresentou acréscimos para os teores totais e disponíveis dos metais Cd, Cr e Pb no solo.

O extrator Melich-1 foi o único que se apresentou eficiente na correlação disponibilidade de Cd, Cr e Pb no solo e plantas de milho.

Os extratores Melich-3 e DTPA foram eficientes na correlação disponibilidade de metais no solo e folha diagnose apenas para Pb.

Agradecimentos

Ao suporte financeiro fornecido pelas seguintes instituições: CAPES, CNPq, FAPESP e FUNEP.

Referências

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ASTDR. *Toxicological profile for chromium*. Syracuse: U. S. Departamento of Health & Human Services, 2000.

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 240-250.

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; BERTON, R. S. Análise química de solo para metais pesados. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, 2002. p. 645-628.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.

BERTONCINI, E. I. *Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido*: extração seqüencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas. 2002. Tese

(Doutorado Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BORGES, M. *Extratibilidade do cádmio*: influência de atributos de solos muito intemperizados em extratores convencionais e potencialidade de ácidos orgânicos de baixo peso molecular. 2002. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 557-568, 2004a.

_____. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 543-555, 2004b.

CASTILHO, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D.; LEITZKE, V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M. C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. *Revista Brasileira de Agrociências*, v. 7, n. 1, p. 121-124, 2001.

CHANG, A. C.; HYUN, H.-nam; PAGE, A. L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb? *Journal Environmental Quality*, Madison, v. 26, n. 1, p. 11-19, 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução nº 375. de 29 de agosto de 2006*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2007.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 257-261, 1993.

DELFEIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. *Análise química de solo: metodologia*. Viçosa: UFV, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão, 29).

DOU, H.; ALVA, A. K.; KHAKURAL, B. R. Nitrogen mineralization from citrus tree residues under different production conditions. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 61, n. 4, p. 1226-1232, 1997.

DUARTE, R. P. S.; PASQUAL, A. Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. *Energ. na Agricultura*, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 47-58, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

- FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: *Programa de pesquisa em saneamento básico – PROSAB*. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: [s. n], 1999. p. 29-33.
- FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.
- GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; ACCIOLY, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1689-1695, 2006.
- JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 237-240, 1991.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413 p.
- LINDSAY, W. L.; NORWELL, N. A. Development of a DTPA soil text for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 42, n. 3, p. 421-428, 1978.
- LUCCHESI, L. A. C. Características dos biossólidos e efeitos de sua reciclagem em ambientes edáficos com ênfase na dinâmica de elementos traço. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p. 77-83.
- MANTOVANI, J. R.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; ALVES, W. L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasileira, v. 39, n. 4, p. 371-378, 2004.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modifications of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 15, n. 12, p. 1409-1416, 1984.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHEELI, R. A.; LEITE, S. A. A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 449-455, 1994.
- MONTEMÓR, C. H.; MARÇAL, W. S. Desempenho de bovinos da raça nelore suplementados com cromo orgânico. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 30, n. 3, p. 701-708, 2009.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.
- OLIVEIRA, F. C. *Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar*. 2000. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- OLIVEIRA, F. C.; MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 360-367, 1995.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 581-593, 2001.
- PIRES, A. C. D. *Interação dos metais Zn⁺² e Pb⁺² com os constituintes orgânicos e minerais de solos de Curitiba*, Pr. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres, Potafos. 1991. 343 p.
- _____. New diagnostic techniques, universal soil extractants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 25, n. 7-8, p. 799-816, 1994.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- REVOREDO, M. D.; MELO, W. J. Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 4, p. 679-685, 2006.
- SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; DYNIA, W. B.; MANZATO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 353-364, 2006.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 555-563, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Acid digestion of sediments, sludges and soils. Metod 3050b*. Washington: EPA, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/sw-46/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2008.

WHO – Human Exposure to Lead. In: *Human Exposure Assessment Series*, WHO, 1995.

