

AValiação dos Teores de Metais Pesados no Solo e na Planta de Cana-de-Açúcar sob Adubação com Lodo de Esgoto e Vinhaça

EVALUATION OF HEAVY METALS CONTENTS IN SOIL AND SUGARCANE PLANT UNDER FERTILIZATION WITH SEWAGE SLUDGE AND VINASSE

Fábio CAMILOTTI¹; Itamar ANDRIOLI²; Marcos Omir MARQUES²; Alysson Roberto da SILVA³; Luiz Carlos TASSO JÚNIOR⁴

1. Professor, Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brasil. fabiocamilotti@hotmail.com; 2. Professor, Doutor, FCAV – UNESP, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brasil; 3. Engenheiro Agrônomo, Doutor, Bunge Fertilizantes; 4. Engenheiro Agrônomo, Doutor, Canaeste.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb no solo e na cana-de-açúcar após quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça em doses suficientes para fornecer todo N e todo K exigidos pela cultura. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho argiloso. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram em: (i) dose de lodo de esgoto para suprir 100% do N exigido pela cultura; (ii) dose de lodo de esgoto para suprir 200% do N exigido; (iii) dose de vinhaça para suprir 100% do K exigido; (iv) dose de vinhaça para suprir 200% do K exigido; (v) combinação dos tratamentos (i) e (iii); (vi) combinação dos tratamentos (ii) e (iv); (vii) testemunha (adubação mineral). Os teores de Cd, Cr, Ni e Pb no lodo de esgoto atingiram valores máximos de 1,58, 41,66, 35,17 e 45,25 mg kg⁻¹, respectivamente. Esses metais não foram detectados na vinhaça. Os resíduos foram aplicados anualmente por quatro anos. Ao final desse período, as doses acumuladas de lodo de esgoto e de vinhaça, que chegaram até 51 t ha⁻¹ e 762 m³ ha⁻¹, respectivamente, não provocaram alteração nos teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb no solo, até 50 cm de profundidade, e na planta. A aplicação de lodo de esgoto e vinhaça para fornecer N e K para a cana-de-açúcar não ofereceu risco de poluição do solo por metais pesados.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar. Resíduos orgânicos. Solo. Metais pesados. Poluição.

INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto e a vinhaça são resíduos orgânicos gerados em larga escala, os quais podem ser utilizados na adubação de diversas culturas, entre elas, a cana-de-açúcar. Em termos de produção de lodo de esgoto, ressalta-se que somente a região metropolitana de São Paulo, com uma população equivalente a 6.500.000 pessoas, produz 229 t de lodo de esgoto por dia (SABESP, 2006). No caso da produção de vinhaça, calcula-se que a quantidade produzida em todo Brasil na safra 2005/06 tenha sido de 221 milhões de m³, considerando que a produção de álcool no período foi de 17 bilhões de litros (ANUÁRIO BRASILEIRO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2005). Cada litro de álcool destilado, por sua vez, gera, em média, 13 litros de vinhaça (FREIRE; CORTEZ, 2000).

O lodo de esgoto e a vinhaça podem ser usados para fornecer, respectivamente, todo nitrogênio e todo potássio à cana-de-açúcar, sem prejuízo à produtividade agrícola da cultura e à qualidade da matéria-prima para a agroindústria canavieira (CAMILOTTI et al., 2006), sendo, portanto, um dos meios de destinar as grandes quantidades produzidas desses resíduos. No entanto,

a destinação de resíduos no solo deve ser realizada de tal forma a não poluí-lo, principalmente por metais pesados, uma vez que esses elementos podem entrar em teores elevados na cadeia alimentar e, por conseguinte, atingir o homem, causando-lhe toxicidade (McLAUGHLIN et al., 1998).

O lodo de esgoto apresenta em sua composição metais pesados como cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), entre outros elementos, cujos teores variam principalmente em função da procedência do resíduo (MARQUES et al., 2001). Assim, se aplicado ao solo, o resíduo pode provocar aumento dos teores desses metais no solo. Oliveira e Matiazzo (2001) verificaram que o teor total de Cr na camada de 0–20 cm de um Latossolo Amarelo aumentou de 16,57 para 27,19 mg kg⁻¹ [extrator água-régia (HCl + HNO₃)] pela aplicação cumulativa de 209 t ha⁻¹ de lodo de esgoto com 385,5 mg kg⁻¹ do elemento. Cd e Pb não foram detectados e o Ni foi detectado no solo que recebeu cumulativamente 140 ou 209 t ha⁻¹ do resíduo. Oliveira et al. (2005b) constataram aumentos significativos nos teores totais de Ni e Pb (extraídos por HNO₃ + H₂O₂ + HCl) na camada de 0–20 cm de dois Latossolos após cinco anos de aplicações

anuais de lodo de esgoto cuja dose máxima acumulada foi de 50 t ha⁻¹.

A vinhaça é um resíduo que reconhecidamente não contém metais pesados, porém Gatto (2003) encontrou em uma amostra desse resíduo 0,06 mg kg⁻¹ de Cd, 0,05 mg kg⁻¹ de Cr, 0,20 mg kg⁻¹ de Ni e 0,03 mg kg⁻¹ de Pb (base seca). Embora sejam teores baixos, aplicações de elevadas doses de vinhaça por longo período poderiam aumentar os teores de metais pesados no solo.

A determinação do teor total é uma das formas de avaliação da poluição do solo por metais pesados. No entanto, o teor total não dá informação precisa sobre a disponibilidade desses elementos para as plantas, e pesquisas mostram que ainda não há um só extrator capaz de avaliar eficientemente o teor disponível de todos os metais pesados de interesse em solos brasileiros (ANJOS; MATIAZZO, 2001; BORGES; COUTINHO, 2004; MANTOVANI et al., 2004). Assim, torna-se necessária a determinação dos teores desses elementos na cana-de-açúcar como meio de confirmar se a eventual poluição do solo chegou a contaminar a planta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb no solo e na planta de cana-de-açúcar após quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça em doses suficientes para fornecer todo N e todo K exigidos pela cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área da Destilaria Santa Inês Ltda, município de Pontal, SP. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico argiloso, apresentando na camada de 0–20 cm as seguintes características: pH (CaCl₂) 5; MO = 25 g dm⁻³; P (resina) = 20 g dm⁻³; bases trocáveis, em mmol_c dm⁻³, K = 1,2, Ca = 20 e Mg =

6; H+Al = 28 mmol_c dm⁻³; SB = 27,2 mmol_c dm⁻³; CTC = 55,2 mmol_c dm⁻³; V = 49%; areia = 380 g kg⁻¹, silte = 110 g kg⁻¹ e argila = 510 g kg⁻¹. O clima da região é do tipo Cwa, pela classificação de Köppen.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a variedade SP 81-3250 e o plantio ocorreu em abril de 2000. A área vinha sendo cultivada com cana-de-açúcar e em rotação com a cultura do milho para silagem na reforma do canavial.

O experimento constou de sete tratamentos com três repetições distribuídas em delineamento em blocos ao acaso. A área total de cada unidade experimental (parcela) foi de 75 m² (5 linhas de plantio, com 10 m de comprimento cada, espaçadas entre si por 1,5 m). A área útil da parcela foi de 36 m² (3 linhas de plantio, com 8 m de comprimento cada, espaçadas entre si por 1,5 m).

Os tratamentos apresentados na Tabela 1 consistiram em duas doses lodo de esgoto e de duas doses de vinhaça, sendo os resíduos aplicados separadamente ou em conjunto. O lodo de esgoto foi aplicado anualmente para fornecer 100 ou 200% de todo N requerido pela de cana-de-açúcar, conforme recomendação de Spironello et al. (1997). Da mesma forma, a vinhaça foi aplicada anualmente para fornecer 100 ou 200% de todo K requerido pela de cana-de-açúcar, conforme recomendação de Spironello et al. (1997). Nos tratamentos com um só tipo de resíduo orgânico, quando se usou lodo de esgoto como fonte de N, o K foi suplementado com KCl, enquanto que, quando se usou vinhaça como fonte de K, o N foi suplementado com uréia. Nos tratamentos com os dois resíduos, uréia e KCl não foram empregados. Na testemunha, todo N e K requeridos pela cana-de-açúcar foram fornecidos com uréia e KCl, respectivamente. Os resíduos orgânicos foram aplicados em área total no plantio e após cada colheita da cultura.

Tabela 1. Doses aplicadas de lodo de esgoto e vinhaça a cada ciclo da cana-de-açúcar em função dos tratamentos

Tratamento	Ciclo da cana-de-açúcar				Total
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte	
Le 1 ⁽¹⁾ , t ha ⁻¹	5	7	7,5	6	25,5
Le 2 ⁽²⁾ , t ha ⁻¹	10	14	15	12	51
V 1 ⁽³⁾ , m ³ ha ⁻¹	125	130	124	153	532
V 2 ⁽⁴⁾ , m ³ ha ⁻¹	250	260	248	306	1064
Le 1 ⁽¹⁾ + V 1 ⁽³⁾	5 + 125	7 + 130	7,5 + 124	6 + 153	25,5 + 532
Le 2 ⁽²⁾ + V 2 ⁽⁴⁾	10 + 250	14 + 260	15 + 248	12 + 306	51 + 1064
Testemunha ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Le 1: dose de lodo de esgoto aplicado para fornecer 100% do N requerido pela cultura. ⁽²⁾ Le 2: dose de lodo de esgoto aplicado para fornecer 200% do N requerido pela cultura. ⁽³⁾ V 1: dose de vinhaça aplicada para fornecer 100% do K requerido pela cultura. ⁽⁴⁾ V 2: dose de vinhaça aplicada para fornecer 200% do K requerido pela cultura. ⁽⁵⁾ Sem aplicação de lodo de esgoto e vinhaça.

As amostras de lodo de esgoto, obtidas na Estação de Tratamento de Esgoto da Sabesp de Franca, SP, foram digeridas com $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl}$ (USEPA, 1986), e nos extratos obtidos foram determinados Cd, Cr, Ni e Pb por espectrofotometria de absorção atômica, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2. As amostras de vinhaça, obtidas na Destiladora Santa Inês, foram submetidas à digestão nítrico-

perclórica, e nos extratos obtidos foram determinados os mesmos metais pesados também por espectrofotometria de absorção atômica. Nenhuma amostra de vinhaça apresentou tais elementos ou pelo menos eles ficaram abaixo do limite de determinação do método analítico. A cultura foi mantida no limpo por meio de aplicações de herbicida (hexazinona + diuron).

Tabela 2. Teores de metais pesados nos lodos de esgoto usados em cada ciclo da cana-de-açúcar

Ciclo da cultura	Cd	Cr	Ni	Pb
	mg kg ⁻¹			
1º corte ⁽¹⁾	1,54	41,33	34,75	43,84
2º corte ⁽¹⁾	1,54	41,33	34,75	43,84
3º corte	1,50	41,00	34,33	42,42
4º corte	1,58	41,66	35,17	45,25

⁽¹⁾ O teor de cada metal pesado corresponde à média dos teores obtidos no 3º e no 4º corte.

As plantas do 4º corte da cana-de-açúcar foram separadas em colmo, folha e palmito. Essas frações foram lavadas, secas e submetidas à digestão nítrico-perclórica (BATAGLIA et al., 1983). Nos extratos foram determinados Cd, Cr, Ni e Pb por espectrofotometria de absorção atômica.

Logo após essa colheita foram retiradas amostras de solo no meio da entrelinha da cultura, nas camadas de 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 e 40–50 cm de profundidade. Essas amostras foram secas ao ar, passadas por peneira de 2 mm de abertura de malha e submetidas à digestão com $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl}$ (USEPA, 1986). Nos extratos foram

determinados Cd, Cr, Ni e Pb por espectrofotometria de absorção atômica.

Os resultados referentes a cada camada do solo e a cada parte da planta foram submetidos à análise de variância pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Metais pesados no solo

Os teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb nas diferentes camadas do solo não foram alterados após quatro aplicações anuais de lodo de esgoto ou vinhaça ou ambos os resíduos (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância (ANOVA) dos teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb em diferentes camadas do solo

ANOVA	Cd	Cr	Ni	Pb
	0–10 cm			
Teste F	1,13NS ⁽¹⁾	1,16NS	1,18NS	0,89NS
CV (%) ⁽²⁾	8,23	22,47	7,68	9,42
	10–20 cm			
Teste F	0,89NS	1,20NS	0,61NS	0,59NS
CV (%)	9,09	16,18	7,06	9,83
	20–30 cm			
Teste F	1,43NS	1,92NS	0,90NS	2,21NS
CV (%)	6,31	16,73	7,89	6,69
	30–40 cm			
Teste F	0,30NS	1,59NS	0,45NS	1,42NS
CV (%)	11,45	16,33	7,83	6,56
	40–50 cm			
Teste F	0,37NS	1,44NS	1,42NS	1,57NS
CV (%)	10,98	20,34	6,70	5,28

⁽¹⁾ NS: não-significativo ($P > 0,05$). ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação.

Os teores médios de Cd estão apresentados no Tabela 4. Considerando todos os tratamentos e todas as camadas do solo, os valores variaram de 1,17 a 1,42 mg kg⁻¹. Lake (1987) cita faixa menor para solos agrícolas, 0,01–0,7 mg kg⁻¹. No Brasil, Juliatti et al. (2002) constataram em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho textura média teores entre 1,07 e 1,26 mg kg⁻¹ (extração nítrico-perclórica), que variaram em função da profundidade (até 60 cm). Ao usarem esse mesmo método de extração, Oliveira et al. (2005a) verificaram na camada de 0–20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média teor de 0,7 mg kg⁻¹. Essas diferenças podem estar relacionadas principalmente com os materiais de origem dos solos, que, em princípio, apresentam teores variáveis de metais pesados, e com os extratores químicos, que removem, em função da sua composição, quantidades diferenciadas de Cd (MATTIAZZO et al., 2001).

Referente aos teores de Cr, nota-se que os valores oscilaram entre 26,08 a 39,75 mg kg⁻¹ (Tabela 4). Estes valores estão dentro da faixa

apresentada por Lake (1987), 5–1000 mg kg⁻¹. Entretanto, Barceló e Poschenrieder (1992) mencionam teor normal de 50 mg kg⁻¹. No Estado de São Paulo, Oliveira e Mattiazzo (2001) constataram na camada de 0–20 cm de um Latossolo Amarelo textura média sem aplicação de lodo de esgoto teores de 15,55 a 16,57 mg kg⁻¹, inferiores aos do presente estudo. Porém, esses autores usaram água-régia (HCl + HNO₃) como extrator de Cr, o que supostamente é a principal causa da diferença.

Quanto ao Ni, seus teores ficaram entre 13,29 e 15,75 mg kg⁻¹ (Tabela 4), enquadrando-se na faixa de Lake (1987), 5–500 mg kg⁻¹. Em estudo que envolveu solos do Estado de São Paulo, Rovers et al. (1983) observaram variação de < 10 a 85 mg kg⁻¹ em Latossolos com diferenças marcantes nos teores de argila (110–590 g kg⁻¹). Oliveira et al. (2005b) constataram em Latossolo argiloso teores de 12,44 a 13,34 mg kg⁻¹, semelhantes ao do presente trabalho. Ressalta-se que esses autores usaram o mesmo método de extração empregado no atual estudo.

Tabela 4. Teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb em diferentes camadas do solo após quatro aplicações anuais de lodo de esgoto ou vinhaça ou ambos os resíduos

Tratamento	Cd	Cr	Ni	Pb
			mg kg ⁻¹	
			0–10 cm	
Le 1 ⁽¹⁾	1,17	38,58	13,29	21,33
Le 2 ⁽²⁾	1,33	38,75	15,17	24,33
V 1 ⁽³⁾	1,33	30,25	14,88	21,33
V 2 ⁽⁴⁾	1,25	33,58	15,25	23,83
Le 1 ⁽¹⁾ + V 1 ⁽³⁾	1,33	28,75	14,83	22,50
Le 2 ⁽²⁾ + V 2 ⁽⁴⁾	1,33	27,75	14,58	22,58
Testemunha ⁽⁵⁾	1,33	30,17	15,42	23,32
			10–20 cm	
Le 1 ⁽¹⁾	1,33	31,42	14,63	22,25
Le 2 ⁽²⁾	1,33	39,33	15,50	24,75
V 1 ⁽³⁾	1,17	31,67	14,30	21,88
V 2 ⁽⁴⁾	1,25	36,92	15,58	22,83
Le 1 ⁽¹⁾ + V 1 ⁽³⁾	1,25	32,17	15,21	23,50
Le 2 ⁽²⁾ + V 2 ⁽⁴⁾	1,33	29,67	15,25	24,08
Testemunha ⁽⁵⁾	1,25	34,83	14,75	22,92
			20–30 cm	
Le 1 ⁽¹⁾	1,33	39,75	15,54	22,58
Le 2 ⁽²⁾	1,33	39,42	15,75	24,58
V 1 ⁽³⁾	1,25	30,50	14,04	25,13
V 2 ⁽⁴⁾	1,25	33,17	15,75	23,33
Le 1 ⁽¹⁾ + V 1 ⁽³⁾	1,33	27,66	14,54	21,17
Le 2 ⁽²⁾ + V 2 ⁽⁴⁾	1,33	34,25	15,42	24,33
Testemunha ⁽⁵⁾	1,42	31,33	15,00	24,00
			30–40 cm	
Le 1 ⁽¹⁾	1,33	31,50	14,04	22,83
Le 2 ⁽²⁾	1,33	39,08	15,17	24,75

V 1 ⁽³⁾	1,33	38,67	14,38	24,50
V 2 ⁽⁴⁾	1,25	31,42	15,08	22,33
Le 1 ⁽¹⁾ + V 1 ⁽³⁾	1,33	30,17	15,08	22,17
Le 2 ⁽²⁾ + V 2 ⁽⁴⁾	1,33	38,33	14,67	24,17
Testemunha ⁽⁵⁾	1,42	31,33	14,33	23,08
40–50 cm				
Le 1 ⁽¹⁾	1,25	33,58	15,38	23,58
Le 2 ⁽²⁾	1,25	38,42	15,50	24,33
V 1 ⁽³⁾	1,17	29,08	14,00	22,58
V 2 ⁽⁴⁾	1,25	29,00	15,00	21,83
Le 1 ⁽¹⁾ + V 1 ⁽³⁾	1,33	30,00	15,00	23,08
Le 2 ⁽²⁾ + V 2 ⁽⁴⁾	1,25	36,50	15,42	23,67
Testemunha ⁽⁵⁾	1,25	26,08	13,83	22,25

⁽¹⁾ Le: lodo de esgoto (dose total de 25,5 t ha⁻¹). ⁽²⁾ Le: lodo de esgoto (dose total de 51 t ha⁻¹). ⁽³⁾ V: vinhaça (dose total de 532 m³ ha⁻¹).

⁽⁴⁾ V: vinhaça (dose total de 1064 m³ ha⁻¹). ⁽⁵⁾ Sem aplicação de lodo de esgoto e vinhaça.

No que diz respeito aos teores de Pb, Tabela 4, verifica-se que os teores variaram de 21,17 a 24,75 mg kg⁻¹, valores esses que também estão dentro da faixa de 2 a 200 mg kg⁻¹ mostrada por Lake (1987). O teor normal, segundo Barceló e Poschenrieder (1992), é de 14 mg kg⁻¹. Entretanto, Oliveira et al. (2005b) verificaram em Latossolo argiloso no Estado de São Paulo teores semelhantes aos do presente trabalho (12,44 a 13,34 mg kg⁻¹), usando o mesmo método de extração.

O lodo de esgoto não provocou acréscimos nos teores de Cd, Cr, Ni e Pb no solo pelo fato de apresentar baixos teores desses metais em sua composição (Tabela 2). A vinhaça não conteve esses elementos. Incrementos nos teores de metais pesados no solo têm sido verificados quando são aplicadas doses elevadas de lodo de esgoto com altos teores de metais. Oliveira e Mattiazzo (2001) verificaram aumento linear nos teores de Cr e Ni no solo pela aplicação cumulativa de até 209 t ha⁻¹ de lodo de esgoto com teores de Cr e Ni que variaram, respectivamente, de 385 a 386 e de 239 a 286 mg kg⁻¹. Ao aplicarem cumulativamente até 50 t ha⁻¹ de lodo de esgoto com teor de Ni e Pb entre 268 a 595

e 152 a 371, Oliveira et al. (2005b) observaram incremento significativo nos teores desses metais no solo.

Os teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb nas diferentes camadas do solo (Tabela 4) estão bem abaixo dos limites críticos apresentados por Kabata-Pendias e Pendias (1984). De acordo com os autores, o limite crítico de cada metal no solo corresponde à faixa de teor acima da qual pode ocorrer fitotoxicidade do elemento.

Reforçando o argumento de que os baixos teores de metais pesados no lodo de esgoto evitaram o aumento significativo desses elementos no solo, observa-se no Tabela 5 que as quantidades aplicadas de Cd, Cr, Ni e Pb na área foram baixas em comparação ao máximo permitido. Com base no Tabela 5, para serem atingidos os valores acumulados máximos de Cd, Cr, Ni e Pb seriam necessários, respectivamente, mais 3896, 13479, 1596 e 1067 anos de aplicações anuais de lodo de esgoto, de mesma composição química, em dose suficiente para fornecer todo o N exigido pela cana-de-açúcar.

Tabela 5. Metais pesados adicionados ao solo até o 4^o corte da cana-de-açúcar pela aplicação cumulativa de 25,5 e 51 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (Le) e quantidade acumulada máxima permitida desses elementos em solos agrícolas devido à adição do resíduo

Metal pesado	Quantidade aplicada do metal com:		Quantidade acumulada máxima permitida
	25,5 t ha ⁻¹ de Le ⁽¹⁾	51 t ha ⁻¹ de Le ⁽²⁾	
	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹
Cd	0,04	0,08	39 ⁽³⁾
Cr	0,89	1,78	3000 ⁽⁴⁾
Ni	1,05	2,10	420 ⁽³⁾
Pb	1,12	2,24	300 ⁽³⁾

⁽¹⁾ Dose cumulativa de aplicações anuais de lodo de esgoto para fornecer 100% do N requerido pela cultura; ⁽²⁾ Dose cumulativa de aplicações anuais de lodo de esgoto para fornecer 200% do N requerido pela cultura; ⁽³⁾ CETESB (1999); ⁽⁴⁾ CFR (1993).

semelhantes ao deste trabalho, ao não detectar Cd, Cr, Ni e Pb no colmo e na folha+1 de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto.

Os teores de Pb no palmito e na folha (Tabela 7) ficaram abaixo dos limites gerais de toxicidade para plantas. Lake (1987) cita 35 mg kg⁻¹ como teor fitotóxico em tecido vegetal. Para Barceló e Poschenrieder (1992), esse teor na parte aérea de plantas pode variar de 30 a 300 mg kg⁻¹. Marques et al. (2001) consideram que os teores de 100 a 400 mg kg⁻¹ são fitotóxicos.

CONCLUSÕES

Aplicação de lodo de esgoto, com objetivo de fornecer todo o N requerido pela cana-de-açúcar, não aumentou os teores totais de Cd, Cr, Ni e Pb no solo e na planta;

A aplicação de vinhaça não ofereceu risco algum de contaminação do solo quando da aplicação desses metais pesados.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate Cd, Cr, Ni and Pb total contents in soil and sugar cane after four annual applications of sewage sludge and vinasse to supply all N and all K required by the crop. A field experiment was carried out on clayey Typic Haplustox. It was used a randomized block design with seven treatments and three replications. The treatments consisted in: (i) rate of sewage sludge to supply 100% of the N required by the crop; (ii) rate of sewage sludge to supply 200% of the N required; (iii) rate of vinasse to supply 100% of the K required; (iv) rate of vinasse to supply 200% of the K required; (v) combination of the treatments (i) and (iii); (vi) combination of the treatments (ii) e (iv); (vii) control (mineral fertilization). The contents of Cd, Cr, Ni and Pb in sewage sludge reached maximum values of 1.58, 41.66, 35.17 and 45.25 mg kg⁻¹, respectively. These metals were not detected in vinasse. The residues were applied annually for four years. At the end of this period, sewage sludge and vinasse accumulated rates, that get up to 51 t ha⁻¹ and 762 m³ ha⁻¹, respectively, did not cause alteration in Cd, Cr, Ni and Pb total contents in soil, up to 50 cm of depth, and in plant. Sewage sludge and vinasse application to supply N and K for sugar cane did not offer soil pollution risk by heavy metals.

KEYWORDS: Heavy Metals. Organic residues. Pollution. Soil. Sugarcane.

REFERÊNCIAS

- 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. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 337-344, 2001.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA CANA-DE-AÇÚCAR 2005. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136p.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, CH. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelo Planta**, Madrid, v. 2, p. 345-361, 1992.
- BATAGLIA, O. C. FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- 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, 2004.
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. NOGUEIRA, G. A.; PRATI, F. Produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 3, p. 32-35, 2006.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. Disponível em: http://www.sabesp.com.br/o_que_fazemos/coleta_e_tratamento/tratamento_metropolitano_numerossistemaprincipal.htm. Acesso em 1 de maio 2006.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação**. São Paulo: Cetesb, 1999. 32p. (Manual Técnico da Norma P4230).
- CFR - CODE OF FEDERAL REGULATIONS. **Title 40 chapter I Subchapter O – Sewage Sludge**. Part 503. Standards for the use or disposal of sewage sludge. Federal Register, v. 48, p. 9387-9415, 1993.
- FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.
- GATTO, R. H. **Lodo de esgoto e vinhaça como fonte de cálcio, magnésio e potássio para a cultura da cana-de-açúcar**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- JULIATTI, M. A.; PRADO, R. M.; BARRIQUELO, M. F.; LENZI, E. Cádmiu em Latossolo Vermelho cultivado com milho em colunas: mobilidade e biodisponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1075-1081, 2002.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Inc., 1984, 315p.
- LAKE, D. L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J. N. (ed.). **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Vol. II. Boca Raton: CRC Press, p. 91–130, 1987.
- 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**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 371-378, 2004.
- MARQUES, M. O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1996. 111 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1996.
- MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; MARQUES, T. A. **Metais pesados e o uso de biossólido na agricultura**. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (eds). **Biossólidos na agricultura**. 1. ed. São Paulo: ABES/SP, 2001. p. 365–403.
- MATTIAZZO, M. E. BERTON, R. S.; CRUZ, M. C. P. **Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos**. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (eds.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, 2001. p. 213-234.
- McLAUGHLIN, M. J.; PARKER, D. R.; CLARKE, J. M. **Metals and micronutrients – food safety issues**. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 60, p. 143-163, 1999.
- OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MARQUES, V.S.; MAZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 109-116, 2005a.
- OLIVEIRA, K. W.; MELO, W. J.; PEREIRA, G. T.; MELO, V.P.; MELO, G. M. P. Heavy metals in Oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 381-388, 2005b.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 581-593, 2001.

ROVERS, H.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Níquel total e solúvel em DTPA em solos do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, n. 3, p. 217-220, 1983.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETO, R. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. p.237-239. (Boletim Técnico, 100)

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY. **Standards for the use and disposal of sewage sludge**. Washington: USEPA, 1986. EPA, 1986. (Code of Federal Regulations 40 CRF Part 503).