

METAIS PESADOS EM SOLO TRATADO COM LODO DE ESGOTO E CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

Marcos Omir Marques¹, Thiago Assis Rodrigues Nogueira², Ivana Machado Fonseca², Tadeu Alcides Marques³

¹ Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia – UNESP; ² Mestrando em Ciência do Solo – UNESP, ³ Professor da UNOESTE – Presidente Prudente

RESUMO

O lodo de esgoto é um resíduo resultante do tratamento das águas servidas, e por ser gerado em larga escala, é fonte constante de preocupação no que se refere à contaminação ambiental. O presente trabalho buscou avaliar os efeitos da incorporação do lodo de esgoto, em solo cultivado com cana-de-açúcar, sobre os teores fitodisponíveis de Cr, Ni, Pb e Zn em amostras de solo coletadas nas linhas e entrelinhas de cultivo. O experimento foi conduzido em condições de campo, em área do viveiro experimental da COPLANA, Guariba-SP, em Argissolo Vermelho, textura média. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x2+1, com 3 repetições. Os tratamentos utilizados foram quatro doses de lodo de esgoto (0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹), dois níveis de fertilização mineral (50 e 100 % da dose recomendada) e um tratamento adicional testemunha. Houve efeito significativo de todos os tratamentos sobre a testemunha. A aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto aumentou as concentrações de Cr, Ni Pb e Zn no solo (linha e entrelinha), sendo, a dose de 40 t ha⁻¹ de lodo de esgoto a que promoveu as maiores concentrações de metais pesados no solo.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., biossólido, elementos traços, reciclagem de resíduos urbanos.

HEAVY METALS CONCENTRATION IN SOIL AMENDED WITH SEWAGE SLUDGE AND SUGARCANE CROPPED

ABSTRACT

The sewage sludge is a residue from waste water treatment municipal plants. Because is generated in large amounts, it is a constant preoccupation in relation to environmental contamination. So, sewage sludge agricultural reuse is one technical alternative to environment deposition. The objective of this research was evaluate the effects of sewage sludge increasing rates incorporated in the soil, on phytoavailable Cr, Ni, Pb and Zn soil contents, after sugarcane crop. The experiment was conducted out in a field conditions, at Guariba County, São Paulo state, Brazil. The soil was a Red Argisol, middle texture. The experimental design was a randomized blocks with three replications, in 4x2 factorial scheme plus an additional control treatment. The treatments were resulted from combination between four sewage sludge rates (0, 10, 20 and 40 t ha⁻¹, dry base) and two mineral fertilization levels (50 and 100% of the recommended rate to sugarcane). The control treatment was a soil in it natural conditions. Soil samples were collected in plant lines and between lines and analyzed to heavy metal contents. No differences were observed between the treatments of the factorial scheme and the control treatment. Sewage sludge increasing rates, in general, increased Cr, Ni Pb and Zn soil contents when the samples were from plant-line and between-line. The sewage sludge applied at 40 t ha⁻¹ promoted the largest contents of heavy metals in the soil.

Key words: *Saccharum* spp., biosolid, trace elements, urban residues recycling.

INTRODUÇÃO

O setor de saneamento enfrenta atualmente dificuldades crescentes com o gerenciamento de resíduos produzidos nos processos de tratamento de água e de esgoto. Dentre esses resíduos, pode-se destacar o lodo de esgoto, resultante do tratamento das águas servidas. Por ser gerado em larga escala, este resíduo é uma fonte constante de preocupação no que se refere à contaminação ambiental (Rocha et al., 2003).

Embora de composição bastante variável, em função de peculiaridades regionais e dos processos em que é gerado, o lodo de esgoto, em geral, apresenta em sua composição macro, micronutrientes e matéria orgânica, fazendo com que o lodo de esgoto sanitário tenha grandes possibilidades de ser utilizado como fertilizante e condicionador do solo, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais (Melo et al., 1994; Nascimento et al., 2004; Pegorini & Andreoli, 2006).

Desta forma, a reciclagem via utilização agrônômica através da aplicação do lodo de esgoto no solo, apresenta-se como uma tendência mundial. Entretanto, as maiores limitações para o emprego do lodo de esgoto em área agrícola são os riscos de contaminação do solo com metais pesados e agentes patogênicos (Fernandes et al., 1993; Lopes et al., 2005).

A reciclagem do lodo de esgoto na agricultura tem resultado em acúmulo de metais pesados em solos, especialmente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn, principalmente quando o resíduo é originado de áreas industriais (Krebs et al., 1998). O incremento de metais pesados no solo advindos do lodo de esgoto, e sua possível transferência para a cadeia alimentar humana, representa um importante problema ambiental com riscos muitas vezes desconhecidos (Nriagu & Pacyna, 1988). Além disso, impactos na

vegetação, nos organismos do solo e nas águas superficiais e subterrâneas também são verificados (Accioly & Siqueira, 2000).

A aplicação de lodo de esgoto tem sido estudada em diversas culturas como soja e trigo (Brown et al., 1997), algodão (Pedroza et al., 2003), milho e feijão (Nascimento et al., 2004; Nogueira, et al., 2006). A cana-de-açúcar é uma alternativa para a destinação do lodo de esgoto gerado no estado de São Paulo (Marques, 1990; Silva, 1995; Marques et al., 2006).

Segundo Silva et al. (2001), o lodo de esgoto aumenta a fertilidade do solo pela diminuição da acidez e fornecimento de nutrientes para a cultura de cana-de-açúcar. Silva et al. (1998) também encontraram aumentos na produtividade da cana-de-açúcar quando aplicaram 30 t ha^{-1} de lodo de esgoto.

Em países industrializados, o lodo de esgoto é usado como fertilizante alternativo há muito tempo e, por este motivo foram realizadas muitas pesquisas sobre os efeitos deste resíduo nos solos. Entretanto, os resultados, geralmente são obtidos em solos de clima temperado, sendo poucos os trabalhos que avaliaram o efeito do lodo de esgoto e seus impactos causados em solos tropicais, tornando-se fundamental a realização de tais estudos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos decorrentes da incorporação de lodo de esgoto, em solo cultivado com cana-de-açúcar, sobre as concentrações fitodisponíveis de Cr, Ni, Pb e Zn no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área do viveiro experimental da COPLANA (Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba), Município de Guariba/SP, cujo clima é o mesotérmico de inverno seco (Cwa) definido pelo critério de classificação climática de Köppen. O solo em que foi conduzido o

experimento é classificado como Argissolo Vermelho, textura média (EMBRAPA, 1999).

Realizou-se calagem em área total baseada em análise de fertilidade prévia do solo, visando elevação da saturação por bases a 70%, de acordo com a recomendação de Espironello (1996), utilizando-se calcário calcinado (PRNT = 130). Novamente, por ocasião da instalação do experimento, procedeu-se à amostragem do solo para fins de fertilidade (Raij et al., 1987) e os teores fitodisponíveis de metais pesados (Lagerwerff et al., 1995) obtidos por meio da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. Os resultados obtidos da análise química foram: pH em $\text{CaCl}_2 = 5,7$; M.O. = 19 g dm^{-3} ; P resina = 14 mg dm^{-3} ; K = 0,8; Ca = 18,6; Mg = 13,3; H+Al = 20; SB = 33; T = 53, todos expressos em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e V = 62,1%; Cr = 1,89; Ni = 0,11; Pb = 2,73 e Zn = 3,02 todos expressos em mg dm^{-3} .

O lodo de esgoto utilizado foi fornecido pela Estação de Tratamento de Esgotos de Suzano (SABESP), São Paulo, cujo processo de tratamento é de lodo ativado convencional e em nível secundário, que apresenta uma eficiência superior a 90% em termos de redução da carga poluidora, medida através da DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Antes da instalação do experimento, procedeu-se à coleta de amostra do lodo na qual foram quantificados a umidade e as concentrações de macro, micronutrientes e metais pesados (Tabela 1). Para a determinação dos elementos mencionados, procedeu-se à secagem do lodo ao ar e em estufa com circulação e renovação forçada de ar, a 60-70 °C, até massa constante. Em seguida, o material foi peneirado (2 mm) e homogeneizado para que fosse feita a extração (Loon, 1995), e no extrato obtido foram quantificados, por espectrofotometria de absorção atômica, os teores de K, Ca, Mg, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Os teores de P e S foram avaliados neste mesmo extrato por fotolorimetria e turbidimetria, respectivamente. Procedeu-se à digestão sulfúrica do material e, no extrato obtido realizou-se a

determinação dos teores de N-total conforme a metodologia proposta por AOAC (1985).

Tabela 1. Caracterização química do lodo de esgoto (base seca) utilizado no experimento.

Características	Valor	CMP ^{1/}
Umidade (%)	75,0	
N-Kjeldahl (g kg^{-1})	5,5	
P (g kg^{-1})	3,5	
K (g kg^{-1})	3,8	
Ca (g kg^{-1})	42,3	
Mg (g kg^{-1})	7,1	
S (g kg^{-1})	7,0	
Mn (mg kg^{-1})	14,0	
Fe (mg kg^{-1})	44,45	
Cu (mg kg^{-1})	625,0	4.300
Zn (mg kg^{-1})	1,12	7.500
Cd (mg kg^{-1})	8,0	85
Cr (mg kg^{-1})	579,0	-
Ni (mg kg^{-1})	346,0	420
Pb (mg kg^{-1})	217,0	840

^{1/}CMP (Concentração Máxima Permitida) P 4230, CETESB (1999).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial $4 \times 2 + 1$, com três repetições, sendo quatro doses de lodo de esgoto base seca (0, 10, 20 e 40 t ha^{-1}); dois níveis de fertilização mineral: 50 e 100 % da dose recomendada por Espironello (1996), constituindo, no plantio, de 100, 330 e 140 kg ha^{-1} de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, e de 300 kg ha^{-1} de sulfato de amônio e 70 kg ha^{-1} de cloreto de potássio, em cobertura, para o nível 100 % da dose recomendada, aplicada no sulco de plantio e ao lado da linha de cana (cobertura); e, um tratamento adicional testemunha.

O preparo do solo consistiu em uma aração e duas gradagens. Cada parcela foi constituída de 5 linhas espaçadas de 1,40 m, com 5 m de comprimento, totalizando 35 m^2 por parcela. O lodo de esgoto foi aplicado manualmente em área total, nas parcelas, e incorporado com enxada rotativa na camada 0-20 cm

de profundidade. Realizou-se a abertura dos sulcos e em seguida procedeu-se à fertilização mineral, de acordo com os tratamentos. O plantio da cana-de-açúcar, variedade RB72454, foi realizado em novembro de 2003.

No momento da colheita da cana-de-açúcar (setembro de 2004) procedeu-se às amostragens de solo na camada 0-20 cm de profundidade. Para tanto, utilizou-se de trado tipo holandês para a realização de quatro amostragens em cada uma das três linhas e nas duas entrelinhas centrais de cada parcela, totalizando 20 amostras por parcela. As amostras de solo foram secas ao ar e à sombra, passando por peneiras com 2 mm de abertura, sendo devidamente acondicionadas, separadamente (linhas e entrelinhas), em sacos de polietileno, identificados e armazenados em câmara seca até o momento das análises. Posteriormente, procedeu-se a determinação dos teores fitodisponíveis de Cr, Ni, Pb e Zn, nos extratos obtidos, empregando-se espectrofotômetro de absorção atômica (Loon, 1985), entendendo como fitodisponíveis aqueles elementos com potencial de serem absorvidos pelas plantas.

Aos resultados obtidos, aplicou-se a análise de variância, seguindo-se da aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias (Pimentel Gomes, 1990). Também foram feitas análises de regressão polinomial utilizando o programa estatístico ESTAT (1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com referência aos teores de metais traço, termo que engloba as concentrações de micronutrientes e metais tóxicos, observa-se que os valores encontrados no lodo de esgoto (Tabela 1), estão bem abaixo do limite estabelecido pelas normas da CETESB, (1999) que regulamenta a utilização do lodo de esgoto na agricultura no estado de São Paulo.

Apesar disso, tornam-se pertinentes estudos de diferentes doses deste resíduo aplicadas no solo, pois é importante considerar que os metais presentes no lodo de esgoto, quando aplicados no solo,

contribuem para a reserva já existente naturalmente (Andreoli et al., 2006) ou por outras fontes antropogênicas, incluindo emissões industriais, efluentes, fertilizantes, condicionadores de solo e pesticidas, que podem contribuir para o aumento da concentração desses elementos nos solos (Silveira, 2002).

Bell et al. (1991) e Warkentin (1992) reforçam a necessidade de realização de pesquisas que abordem a contaminação ambiental, advinda de aplicações anuais, por longos períodos de tempo, de lodo de esgoto no solo, o que segundo estes autores pode se tornar restritiva ao sistema de produção agrícola pelo enriquecimento de metais pesados no solo e ambiente.

Efeitos dos tratamentos na concentração de metais pesados na linha de cultivo de cana-de-açúcar

Pelos resultados da análise de metais pesados no solo tratado com lodo de esgoto e fertilização mineral, na linha de cultivo de cana-de-açúcar, observou-se diferenças entre os tratamentos que compunham o esquema fatorial e a testemunha adicional (Tabela 2), confirmando a superioridade do lodo em incrementar metais no solo.

Pôde-se verificar também que houve diferença entre as doses de lodo de esgoto para todas as variáveis estudadas. Observa-se na tabela 2, que os maiores valores encontrados estão relacionados com aplicação da dose máxima de lodo (40 t ha^{-1}), indicando que a aplicação de lodo de esgoto, aumentou as concentrações de todos os metais estudados no solo. Estes resultados se assemelham aos encontrados por Silva et al. (1998), cuja dose máxima utilizada de lodo de esgoto (30 t ha^{-1}) proporcionou pequenos aumentos na concentração de Cr, Ni, Pb e Zn. Entretanto, verifica-se na tabela 2 que as concentrações destes elementos no solo, foram muito menores que a máxima adição anual de metais pesados que podem ser adicionados pela aplicação de lodo em área agrícola (CETESB, 1999).

Para as análises realizadas nas amostras coletadas na linha de cultivo, observou-se, porém, que

o fator fertilização mineral foi significativo apenas para os elementos Cr e Zn, evidenciando os maiores valores para as doses 50 e 100%, respectivamente. Quanto ao cromo o aumento da dose de fertilizantes resultou em menores concentrações do elemento no solo, aparentemente não confirmando os fertilizantes como possíveis fontes desse elemento. Vários são os fenômenos que podem ter contribuído para esse comportamento: nível de oxidação do elemento no solo decorrente de processos físico-químicos e biológicos, influenciando a mobilidade do elemento ao longo do perfil, quantidade introduzida no solo e absorção pela planta, estabelecendo a concentração do elemento no solo.

Tabela 2. Efeito dos tratamentos estudados sobre as concentrações de metais pesados na linha de cultivo de cana-de-açúcar.

Lodo de Esgoto (LE)	Cr	Ni	Pb	Zn
	mg dm⁻³			
0 (t ha ⁻¹)	0,62 c	0,00 c	1,54 c	2,03 c
10 (t ha ⁻¹)	3,05 b	0,24 b	1,71 c	4,77 b
20 (t ha ⁻¹)	2,76 b	0,34 b	2,23 b	4,91 b
40 (t ha ⁻¹)	6,70 a	0,79 a	3,64 a	13,84 a
Teste F	74,99*	133,05**	61,57**	68,44**
Dms (Tukey 5%)	1,18	0,12	0,49	2,52
Fertilização Mineral (FM)				
50%	3,70 a	0,33 a	2,25 a	5,63 b
100%	2,86 b	0,35 a	2,31 a	7,15 a
Teste F	8,26*	0,33 ^{NS}	0,27 ^{NS}	6,00*
Dms (Tukey 5%)	0,62	0,06	0,26	1,32
Testemunha				
	0,58	0,00	1,57	2,33
Tratamentos				
	3,28	0,34	2,28	6,39
Teste F				
(LE) X (FM)	5,89**	0,44 ^{NS}	0,32 ^{NS}	1,21 ^{NS}
Tratamentos X Testemunha	38,13*	62,79*	15,37**	18,96**
C.V. (%)	23,9	23,2	13,5	25,7

Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ^{NS} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo respectivamente.

Em relação à interação entre os tratamentos, observou-se efeito significativo apenas para o elemento Cr. Este resultado corrobora com os encontrados por Marques et al. (1999). Notou-se que o aumento das doses de lodo de esgoto promoveu um incremento na concentração de Cr no solo. Este aumento seguiu um modelo linear crescente ($P < 0,01$) para as duas doses de fertilização mineral testadas (Figura 1a).

Quanto ao valor de Ni do solo, observou-se um acréscimo linear crescente ($P < 0,01$) na concentração do elemento com o aumento das doses de lodo de esgoto (Figura 1b). Resultado semelhante foi encontrado por Martins et al. (2003) que, trabalhando com a fitodisponibilidade de Ni em Latossolo Vermelho distrófico típico cultivado com milho, verificaram aumento, nas concentrações do elemento, de forma linear com o uso de doses crescentes de lodo de esgoto. Porém, a dose máxima empregada por aqueles autores foi de 80 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

Em relação às concentrações de chumbo e zinco no solo, estas apresentaram um efeito quadrático ($P < 0,05$) quando com o aumento das doses de lodo de esgoto, sendo a dose de 40 t ha⁻¹ a que proporcionou maior concentração no solo (Tabela 2, Figura 1c, d). A concentração de Zn, que, inicialmente, era alta, conforme Raji et al. (1996), não se alterou com os tratamentos testados. Silva et al. (2001) estudando o efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar, verificou alteração na concentração de Zn no solo, de média para alta, quando houve aplicação de lodo de esgoto.

Verificou-se queda acentuada nos teores de todos os metais analisados na testemunha quando comparados as suas concentrações iniciais quantificadas na análise química do solo (Tabelas 1 e 2).

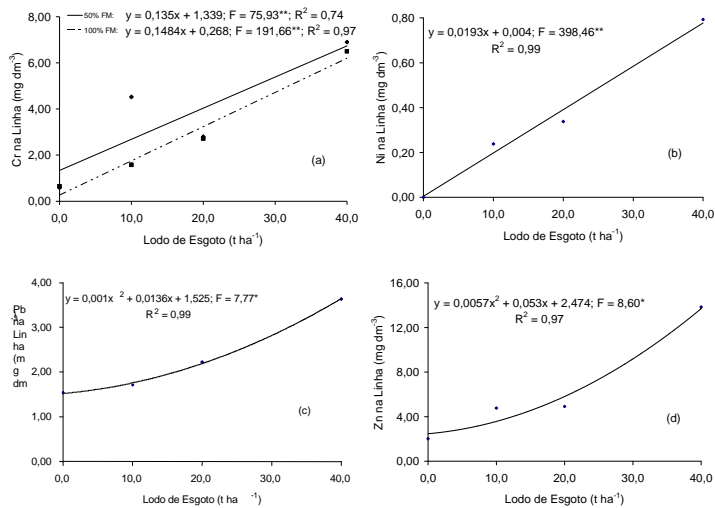


Figura 1: Concentração de cromo (a), níquel (b), chumbo (c) e zinco (d) na linha de cultivo de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e fertilização mineral.

Efeitos dos tratamentos na concentração de metais pesados na entrelinha de cultivo de cana-de-açúcar

Pelos resultados da análise de metais pesados no solo tratado com lodo de esgoto e fertilização mineral na entrelinha de cultivo de cana-de-açúcar, observou-se que todos os tratamentos envolvidos no esquema fatorial apresentaram valores diferentes dos encontrados na testemunha adicional (Tabelas 3), o que mais uma vez confirma a superioridade do lodo em acrescentar metais ao solo.

De acordo com os dados obtidos, pôde-se verificar diferenças entre as doses de lodo de esgoto para todas as variáveis estudadas. Visualiza-se na tabela 3, que os maiores valores encontrados estão relacionados com aplicação da dose máxima de lodo, ou seja, 40 t ha^{-1} , indicando que a aplicação de lodo de esgoto, aumentou as concentrações de todos os metais no solo, e que estes foram dependentes das doses crescentes de lodo, sendo este efeito semelhante ao ocasionado na linha de cultivo. Porém, as concentrações destes elementos no solo, são muito menores que as concentrações máximas aceitáveis de metais pesados nos solos acrescidos de lodo de esgoto, de acordo com a legislação da Comunidade Européia (Ferreira et al., 1999).

Para os resultados obtidos nas amostras coletadas nas entrelinhas de cultivo, observou-se

também, que o fator fertilização mineral foi significativo para todos os elementos, exceto para o Ni, identificando a dose 100% de fertilização mineral a que promoveu maior incremento nas concentrações dos metais analisados. Dalto & Marques (2002), estudando metais pesados em solo cultivado com cana-de-açúcar, acrescido de lodo de esgoto e vinhaça, detectaram que em relação às parcelas que receberam os resíduos (lodo e vinhaça) quanto às que receberam somente a fertilização mineral, houve a tendência de redução dos níveis de Ni no solo, a qual pode estar relacionada à movimentação do elemento ao longo do perfil do solo, imobilização por microrganismos ou absorção pela planta.

Tabela 3. Efeitos dos tratamentos na concentração de metais pesados na entrelinha de cultivo de cana-de-açúcar.

Lodo de Esgoto (LE)	Cr	Ni	Pb	Zn
	mg dm ⁻³			
0 (t ha ⁻¹)	0,64 d	0,15 c	4,11 c	1,90 c
10 (t ha ⁻¹)	3,54 c	0,96 b	5,49 bc	14,01 b
20 (t ha ⁻¹)	8,64 b	1,16 b	5,93 b	12,89 b
40 (t ha ⁻¹)	23,06 a	2,42 a	10,04 a	29,78 a
Teste F	196,28**	113,97**	37,43**	138,45**
Dms (Tukey 5%)	2,88	0,36	1,69	3,95
Fertilização Mineral (FM)				
50%	7,53 b	1,11 a	5,64 b	12,91 b
100%	10,40 a	1,24 a	7,14 a	16,38 a
Teste F	16,30**	2,32 ^{NS}	13,02**	12,67**
Dms (Tukey 5%)	1,51	0,19	0,88	2,07
Testemunha				
	0,60	0,10	1,58	1,93
Tratamentos				
	8,97	1,17	6,39	14,64
	Teste F			
(LE) X (FM)	8,11**	4,36*	4,02*	5,92**
Tratamentos X Testemunha	61,60**	66,01**	59,29**	75,61**
C.V. (%)	21,7	20,5	17,4	18,1

Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **, * e ^{NS} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo respectivamente.

De acordo com a figura 2 (a, b, c, d), verifica-se efeito significativo na interação dos fatores estudados para todas as variáveis.

Notou-se que o aumento das doses de lodo de esgoto promoveu um incremento na concentração de Cr e Pb no solo (Figura 2a, c). Este aumento seguiu um modelo polinomial quadrático ($P < 0,05$) para a dose 50% de fertilização mineral e um aumento linear crescente ($P < 0,01$) para a dose 100% de fertilização mineral testadas para ambos os elementos. Marques et al. (1999), estudando metais pesados em solo acrescido de lodo de esgoto e em plantas de sorgo granífero, também detectaram aumentos na concentração de Cr e Pb, porém, na dose de 20 t ha^{-1} de lodo de esgoto, onde as correlações com as doses de lodo, tiveram o melhor ajuste com o modelo linear, tanto para Cr quanto para Pb.

Quanto aos valores de Ni e Zn do solo, observou-se um acréscimo linear crescente ($P < 0,01$) na concentração dos dois elementos no solo com o aumento das doses de lodo de esgoto para as duas doses de fertilização mineral testadas (Figura 2b, d). De forma análoga ao observado na linha de cultivo, a concentração de Zn que era inicialmente alta, conforme Raij et al. (1996), não se alterou com as doses de lodo de esgoto e fertilização mineral. Nikitin (1960) e Silva et al. (1998), verificaram que o lodo de esgoto pode atuar como fonte de Zn às plantas. Foi observado por Silva et al. (2001), que a aplicação de 40 t ha^{-1} de lodo de esgoto, resultou na adição de $27,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn.

Quanto ao Ni, a concentração deste elemento, passou de $0,11 \text{ mg dm}^{-3}$ valor inicial, para $2,42 \text{ mg dm}^{-3}$ quando a dose de 40 t ha^{-1} foi empregada. Estes resultados corroboram com Silva et al. (2001). Ainda, segundo Martins (2003), a adição de lodo de esgoto elevou a concentração de Zn no solo, mas não afetou a concentração de Ni.

Conforme verificado na linha de cultivo, pôde-se também notar na entrelinha queda acentuada nos teores de todos os metais analisados na testemunha, quando comparados às concentrações iniciais

quantificadas na análise química do solo (Tabelas 1 e 3).

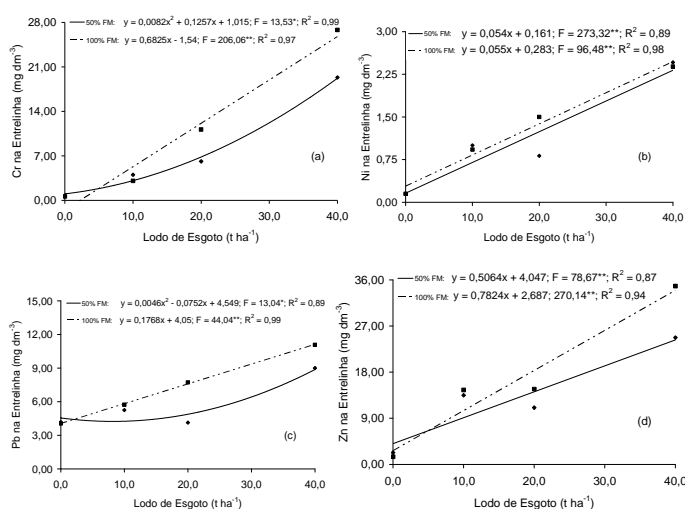


Figura 2: Concentração de cromo (a), níquel (b), chumbo (c) e zinco (d) na entrelinha de cultivo de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e fertilização mineral.

Verifica-se que, tanto na linha de cultivo quanto na entrelinha, a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto junto com a fertilização mineral, aumentou as concentrações de metais pesados no solo sob cultivo de cana-de-açúcar, porém, mesmo com a maior dose de lodo e fertilização mineral empregadas, as concentrações de metais pesados encontradas no solo, não extrapolaram os limites máximos aceitáveis de concentrações de metais pesados nos solos tratados com lodo de esgoto (Ferreira et al., 1999), estando então, aquém de proporcionar grandes preocupações quanto à contaminação do solo, e até mesmo, expressivas transferências destes para as plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Rangel et al. (2004) e Trannin et al. (2005) na cultura do milho, Marques et al. (1999) em sorgo e por Silva et al. (1998) na cultura de cana-de-açúcar.

Com exceção do cromo das amostras de terra coletadas nas linhas de cultivo, os fertilizantes químicos contribuíram para a contaminação do solo com metais pesados. Essa contribuição também foi contatada por Cravo et al. (1998), Malta (2001) e Campos et al. (2004), o que permite a inferência de ser

fundamental o cuidado com o uso sistemático desses produtos com fins agrícolas.

CONCLUSÃO

A aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto aumentou as concentrações de Cr, Ni Pb e Zn no solo (linha e entrelinha) sob cultivo de cana-de-açúcar, sendo, a dose de 40 t ha⁻¹ de lodo de esgoto a que promoveu as maiores concentrações de metais pesados no solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à SABESP – Suzano/SP, pelo fornecimento do lodo de esgoto utilizado e a COPLANA (Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba), Município de Guariba/SP, cujo local foi cedido para realização deste experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; HOPPEN, C.; TAMANINI, C. R.; NEVES, P. S. Produção, composição e constituição de lodo de estação de tratamento de água (ETA). In: ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. cap. 3, p. 29-48.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 13. ed. Washington, D.C., 1985. 1141 p.

BELL, P. F.; JAMES, B. R.; CHANEY, R. L. Heavy metal extractability in long-term sewage sludge and metal salt-amended soils. **Journal of Environmental**

Quality, Madison, v. 20, p. 481-486, 1991. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq1991.202481x>

BROWN, S.; ANGLE, J. S.; CHANET, R. L. Correction of limed biosolid induced manganese deficiency on a long term field experiment. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, p. 18-23, 1998.

CAMPOS, M. L.; SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 361-367, abr. 2005.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 32 p.

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M. F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 547-553, jul./ago. 1998.

DALTO, G.; MARQUES, M. O. Metais pesados em solo acrescido de lodo de esgoto e vinhaça, e cultivado com cana-de-açúcar. In: VI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E II ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 12., 2002. São José dos Campos. **Anais...São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba**, 2002. p. 132-136.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ESPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Cana-de-

açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. cap. 22, p. 237-239. (Boletim Técnico n. 100).

ESTAT. **Sistema de análises estatísticas**. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas, FCAV, UNESP, 1994.

FERNANDES, F.; PIERRO, A. C.; YAMAMOTO, R. Y. Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 564-574, maio 1993.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, cap. 3, p. 29-33.

KREBS, R.; GUPTA, S. K.; FURRER, G; SCHULIN, R. Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison , v. 27, p. 18-23, 1998.

<http://dx.doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700010004x>

LAGERWERFF, J. V.; BIESDORF, G. T.; MILBERG, R. P. BROWER, D. L. Effects of incubation and liming on yield and heavy metal uptake by rye from sewage-sludge soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, n. 4, p. 427-431, out./dez. 1977.

<http://dx.doi.org/10.2134/jeq1977.64427x>

LOON, J. C. V. **Selected methods of trace metal analysis**. New York. John Wiley & Sons, 1985. p. 289-291.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 143-147, jan./mar. 2005.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras**. 2001. 68 f. (Dissertação Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2001.

MARQUES, M. O. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar**. 1990. 164 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; BELLINGIERI, P. A.; OLIVEIRA, F. C.; PERECIN, D. Metais pesados em solo acrescido de lodo de esgoto e em plantas e sorgo granífero. **Científica**, Jaboticabal, v. 27, n.1-2, p. 13-29, 1999.

MARQUES, M. O.; CAMILOTTI, F.; MARQUES, T. A.; TASSO JUNIOR, L.; SILVA, A. da. Cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 1, n. 2, p. 43-49, dez. 2006.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A. de. Copper, nickel and zinc phytoavailability in an oxisol amended with sewage sludge and liming. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 747-754, oct./dec. 2003.

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**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 449-455, set./dez. 1994.

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, mar./abr. 2004.

- NIKITIN, A. A. Production and use of trace salts in fertilizers. In: SAUCHELLI, V. ed. **The chemistry and technology of fertilizers**. New York: Reinhold, 1960. p. 252-278.
- NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FERREIRA, C. S.; FONSECA, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 122-131, jan./jun. 2006.
- NRIAGU, J. O & PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, London, v. 333, p. 134-139, 1988. <http://dx.doi.org/10.1038/333134a0>
- PEDROZA, J. P.; HAANDEL, A. C. van.; BELTRÃO, N. E. de M.; DIONÍSIO, J. A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 483-488, set./dez. 2003.
- PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. cap. 1, p. 01-06.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.
- RAIJ, B. van, QUAGGIO, J. A., CANTARELA, H., FERREIRA, M. E., LOPES, A. S. BATAGLIA, O. C., 1987. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 170 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. rev.atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p. (Boletim Técnico 100)
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 15-23, jan./fev. 2004.
- ROCHA, R. E. M.; PIMENTEL M. S.; ZAGO, V. C. P.; RUMJANEK, N. G.; POLLI H. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1435-1441, dez. 2003.
- SILVA, F. C. **Uso agrônomo de lodo de esgoto: Efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar**. 1995. 170 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 1-8, jan. 1998.
- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de 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, maio 2001.
- SILVEIRA, M. L. A. **Extração seqüencial e especiação iônica de zinco, cobre e cádmio em latossolos tratados com biossólido**. 2002. 166 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas). - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial

para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 261-269, mar. 2005.

WARKENTIN, B. P. Soil science for environmental quality-how do we know what we know? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 21, p.163-166, 1992.

<http://dx.doi.org/10.2134/jeq1992.00472425002100020002x>