

- (1) Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada no Curso de Pós-Graduação na Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP.
(2) Prof. Curso de Engenharia Agrônômica, Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - CREUPI, CEP: 13990-000, Espírito Santo do Pinhal - SP. E-mail: centurion@creupi.br
(3) Pesquisador Científico, Instituto Agronômico, Centro de Solos e Recursos Agroambientais. Caixa Postal 28, CEP 13001-970. Campinas - SP. E-mail: ocamargo@iac.sp.gov.br

Aceito para publicação em: 12/12/2003.

RESUMO

Numa área experimental do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Citricultura "Sylvio Moreira" do Instituto Agronômico, localizada em Cordeirópolis, SP, num Latossolo Vermelho distrófico típico, muito argiloso, instalou-se um ensaio de adubação de milho, utilizando-se biossólido, nas doses de 0; 20; 40; 60 e 80 Mg ha⁻¹ em aplicação única e parcelada nas dosagens de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e incorporados de 0-15 cm. O experimento original consistiu de quatro cultivos sucessivos de milho durante os anos de 1983 a 1987. Após esse período a área permaneceu intacta, coberta por vegetação natural de capim braquiária (*Braquiaria decumbens* Stapf), até 1999, quando foi iniciado o presente trabalho. Assim, foram selecionadas as parcelas que receberam 0; 40 e 60 Mg ha⁻¹ de biossólido com a finalidade de avaliar a movimentação através do perfil do solo do zinco, cobre e níquel extraídos por uma solução de DTPA. As amostras para fins de análise foram coletadas a intervalos de 10 cm até 80 cm de profundidade, nos quatro lados de uma trincheira.

Os resultados indicam distribuição homogênea de zinco, cobre e níquel a 0-20 cm de profundidade, com movimentação significativa até os 30 cm. A partir desta profundidade até os 80 cm, as concentrações encontradas não indicam qualquer movimentação. Conclui-se que mesmo quinze anos após ter sido aplicado biossólido na área de experimentação os três elementos se concentraram na camada superficial de 0-30 cm

Palavras-chave: Translocação, metais pesados, biossólido.

ABSTRACT

Zn, Cu e Ni TRANSLOCATION ON LATOSSOIL WITH BIOSSOLID TO FIFTEEN YEARS AGO

In an area of the Research and Development Center in Citriculture "Sylvio Moreira", at the Instituto Agronômico, located in Cordeirópolis, SP, in a typical clayed Hapludox was carried out a field experiment on corn fertilization using biosolid in the doses of 0; 20; 40; 60 and 80 Mg ha⁻¹ applied in two ways: in a single application and split in dosages of 20 Mg ha⁻¹ year⁻¹ and incorporated to a 0-15 cm depth. The original experiment was composed by four successive plantation of maize since 1983 to 1987. After this period the area remained unfarmed and covered by natural vegetation of signal grass (*Braquiaria decumbens* Stapf), up to 1999, when the present work was carried out. The plots had been selected received 0; 40 and 60 Mg ha⁻¹ of biosolid, and the purpose of this study was to evaluate the movement of DTPA available zinc, copper and nickel through the soil profile. Soil samples was collected at intervals of 10 cm until the 80 cm depth, in

the four sides of a trench and were analysed for Zn, Cu and Ni extracted by a DTPA solution. The results indicated homogeneous zinc, copper and nickel distribution through the 20 cm depth, with significant movements until the 30 cm. From this layer up to the 80 cm, the differences of concentration practically indicates no movement, even fifteen years after the biosolid disposal in the experimental area.

Key-words: Translocation, heavy metals, biosolid.

INTRODUÇÃO

A utilização do lodo de esgoto ou biossólido para fins agrícolas vem constituindo em uma das melhores alternativas existentes para sua disposição. Deve-se, entretanto, tomar as devidas precauções quanto à possibilidade de acúmulo de metais pesados que poderão ser lixiviados colocando em risco a qualidade dos sistemas subjacentes de água subterrânea ou serem levados por erosão ou ainda serem absorvidos pelos vegetais e assim, ingressarem na cadeia alimentar. Muitos estudos têm sido conduzidos a respeito da translocação em profundidade dos metais pesados porém, a maioria provenientes de experimentos de curta duração com resultados de caráter efêmero. Ao nível nacional, há raras informações de experimentos de longa duração. Em solos tropicais os efeitos da aplicação de biossólido por vários anos seguidos, ainda não são bem conhecidos quanto às conseqüências possíveis de os metais pesados, serem translocados em profundidade, absorvidos pelos vegetais e os possíveis riscos à saúde humana.

Berti & Jacobs (1998) afirmam que muitos trabalhos de longa duração com metais pesados provenientes da aplicação de biossólido têm constatado movimentação deles em profundidade, por lixiviação ou lateralmente, por meio de práticas culturais de preparo de solo ou da erosão, permanecendo sob formas disponíveis em quantidades significativamente superiores daqueles solos que não receberam biossólido. Assim, após aplicação de biossólido durante nove anos, evidenciaram-se deslocamentos laterais de metais como resultado dos tratamentos culturais e em profundidade e não constataram deslocamentos além dos 15-30 cm.

Por sua vez, Matos *et al.* (1996) estudando a mobilidade e as principais formas de retenção do Cd, Zn, Cu e Pb em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram que a seqüência nos três horizontes foi : Zn > Cd > Pb > Cu. Mostraram que a retenção do Cu foi intensa e que o Zn e o Cd oferecem maior potencial de risco à contaminação de águas subterrâneas por estarem na maior parte fracamente retidos na fração trocável.

Mcbride *et al.* (1997) estudando o efeito residual de metais pesados do lodo após quinze anos, em uma única aplicação de 240 Mg ha⁻¹, verificaram que os teores de Zn e Cu na solução do solo foram dez a vinte vezes mais altos que os da testemunha onde não foi aplicado biossólido e que 40% do Zn e Cu foram deslocados da camada superficial. Embora a movimentação de metais pesados através do perfil não tenha sido substancial, frações de certos metais aplicados apresentaram redistribuição e deslocamento na superfície com conseqüente potencial de contaminação da água superficial e subsuperficial. Ainda Mcbride *et al.* (1999) analisando a água de percolação, da camada superficial do solo que recebeu biossólido por um período maior que quinze anos, concluíram que o aumento na translocação dos metais seja uma resposta à elevada aplicação do metal no solo e provavelmente facilitada pelo elevado conteúdo de matéria orgânica dissolvida no lixiviado. Esta translocação poderia ter sido substancialmente mais intensa pouco tempo após a aplicação, no momento de maior atividade biológica, do que muitos anos após ter sido adicionado o biossólido.

Williams *et al.* (1987) após intensa aplicação de biossólido durante oito anos consecutivos, observaram que os metais Cd, Cu, Pb, Zn, Cu e Cr contidos no lodo não foram translocados em profundidade, mesmo em quantidades acumuladas de 1440 a 1800 Mg ha⁻¹. A disponibilidade dos metais, determinada pelo DTPA e HNO₃, foi maior para o Cd, Zn, Ni, Cu, Fe e Mn respectivamente. Mesmo com o aumento da acidez, em virtude da nitrificação, não houve movimentação significativa desses metais pelo perfil, permanecendo entre a profundidade incorporada de 0-20 cm, até os 30 cm. Este fato, os autores atribuem ao pH do solo e do lodo, à adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, às reações de troca de cátions e à evolução para formas químicas mais estáveis.

Nas nossas condições experimentais conduzidos em campo e em vasos (OLIVEIRA & MATTIAZZO (2001), ANJOS & MATTIAZZO (2000) e BERTONCINI & MATTIAZZO (1999) a maioria em latossolos, a pequena translocação de Zn, Cu e Ni também foi observada e tudo indica que fatores como pH, teor de óxido de Al e Fe e matéria orgânica, tenham sido importantes na retenção destes metais.

Finalmente Camobreco *et al.* (1996) acrescentam que embora seja unânime que os metais Zn, Cu, Ni, Cd, Cr e Pb são imóveis em solos cultivados, alguns fatores que promovem a mobilidade podem resultar em aumento de absorção pela planta ou sua lixiviação. Estes fatores incluem as características de cada metal, a quantidade e tipo de pontos de adsorção do solo, pH, a concentração de ânions orgânicos e inorgânicos complexantes e competição de cátions na solução do solo.

O objetivo do presente trabalho foi verificar a translocação em profundidade de Zn, Cu e Ni em Latossolo que recebeu diferentes doses de biossólido numa área intacta há quinze anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedeu-se à avaliação das formas disponíveis e da translocação em profundidade do zinco, cobre e níquel, utilizando-se um experimento onde foram aplicados doses crescentes (0; 20; 40; 60 e 80 Mg ha⁻¹) de biossólido e de N (0;

50; 100 e 150 kg ha⁻¹) nos anos de 1984 a 1987 num Latossolo Vermelho distrófico típico do Centro de Citricultura “Sylvio Moreira”, do IAC, em Cordeirópolis-SP. A análise do biossólido usado no experimento, base seca, proveniente da ETE de Vila Leopoldina, São Paulo – SP, consta na Tabela 1.

Tabela 1 Análise do biossólido, base seca, utilizada no experimento

Características	1984	1985	1986	1987
C (g kg ⁻¹)	217	265	261	286
N (g kg ⁻¹)	14	14	16	9
Ca (g kg ⁻¹)	24	15	20	31,2
Mg (g kg ⁻¹)	8	6	6	21
K (g kg ⁻¹)	8	2	2	12
P (g kg ⁻¹)	8	2	2	2
Cu (mg kg ⁻¹)	791	975	1148	989
Zn (mg kg ⁻¹)	1888	2909	3326	4035
Ni (mg kg ⁻¹)	342	410	459	1240
Fe (mg kg ⁻¹)	38486	44363	41597	84436
Mn (mg kg ⁻¹)	315	423	479	223

Concluído o experimento em 1987, a área permaneceu intacta, coberta com vegetação natural de braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) até o ano de 1999 quando foi iniciado o presente estudo. A identificação das parcelas de 6 x 7 m do experimento foi feita graças ao mapa dos tratamentos realizados, fotografias da implantação do experimento e em dois marcos que ainda permaneciam no local. Assim, determinaram-se cuidadosamente dentro de uma área de 625 m² (25 x 25 m) divididos em uma rede de 25 parcelas de 25 m² (5 x 5 m) cada uma para proceder às amostragens superficiais (0-20 cm) e as análises. Destas 25 parcelas escolheram-se três, consideradas tratamentos, ou seja: uma primeira onde não houve adição de biossólido (testemunha), na segunda houve adição de 40 Mg ha⁻¹ e na terceira parcela, adicionaram-se de 60 Mg ha⁻¹, de uma só vez no ano de 1984.

As análises de solo para fins de fertilidade da camada de 0-20 cm de profundidade da três parcelas escolhidas, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Análise de solo para fins de fertilidade de 0 a 20cm.

Características	Testemunha	40 Mg ha ⁻¹	60 Mg ha ⁻¹
Matéria Orgânica(g dm ⁻³)	25	27	25
pH em CaCl ₂	3,9	4,0	4,2
P resina (mg dm ⁻³)	8	15	13
S (mg dm ⁻³)	8	9	10
K (mmol _c dm ⁻³)	0,2	0,6	0,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	5	5	11
Mg (mmol _c dm ⁻³)	2	3	5
Al (mmol _c dm ⁻³)	12	12	12
SB (mmol _c dm ⁻³)	7,2	8,6	16,4
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	93	80	58
CTC (mmol _c dm ⁻³)	100,2	88,6	74,4
%V	7	10	22
Cu (mg dm ⁻³)	1,5	4,5	4,3
Fe (mg dm ⁻³)	17	27	23
Mn (mg dm ⁻³)	1,7	2,0	2,3
Zn (mg dm ⁻³)	1,1	5,2	9,7
Ni (mg dm ⁻³)	0,1	0,3	1,2

Estabelecidas as três parcelas, procedeu-se à amostragem a cada 10 cm em oito profundidades e nas quatro faces de uma trincheira realizada de forma quadrangular de 60 cm de lado e 80 cm de profundidade, retirando-se as amostras nas quatro faces dela (N, S, L, O). As amostras após secas e peneiradas, foram analisadas para de zinco, cobre e níquel utilizando o extrator DTPA pH 7,3, como proposto por

Lindsay & NorWEL (1978). Na Tabela 3 são apresentados os valores de análise dos três locais escolhidos: testemunha; biossólido, 40 Mg ha⁻¹ e biossólido, 60 Mg ha⁻¹ como média dos quatro lados da trincheira (N, S, L, O) para os oito segmentos de 10 cada até 80 cm.

Tabela 3. Análise de Cu, Zn e Ni em profundidade das três parcelas: testemunha, biossólido 40 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹, média dos quatro lados da trincheira.

Prof. (cm)	Zinco (mg dm ⁻³)			Cobre (mg dm ⁻³)			Níquel (mg dm ⁻³)		
	test	40	60	test	40	60	test	40	60
0 - 10	1,5	8,8	10,8	2,4	3,9	5,5	ND	0,4	1,2
10 - 20	1,4	5,5	10,6	2,4	5,0	5,5	ND	0,6	1,2
20 - 30	1,7	5,0	4,2	2,3	2,9	1,7	ND	0,5	0,4
30 - 40	1,5	4,0	1,3	1,0	1,0	0,7	0,1	0,2	0,1
40 - 50	1,4	3,0	0,8	0,6	0,7	0,6	0,1	0,1	0,1
50 - 60	1,4	1,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,1	ND	ND
60 - 70	0,7	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,1	ND	ND
70 - 80	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,4	ND	ND	ND

ND: abaixo do nível de determinação

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indica que há diferença estatística, altamente significativa, ao nível de 1% de probabilidade, entre os parâmetros: tratamentos, e a profundidade, em relação aos valores de zinco, cobre e níquel das amostras coletadas de 10 em 10 cm.

A análise dos resultados obtidos (Figura 1) mostram que para o zinco verificou-se pelo teste de Tukey,

significância a nível de 5% de probabilidade entre os segmentos: 0-10, 0-20 e 20 a 30 em comparação com os subjacentes até os 70-80cm. Porém, a partir de 30-40cm e os demais segmentos subjacentes até os 70-80 cm, já não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, indicando que houve maior movimentação em profundidade até os 30-40 cm. A partir de 40 cm de profundidade, não houve diferenças significativas até os 80 cm amostrados.

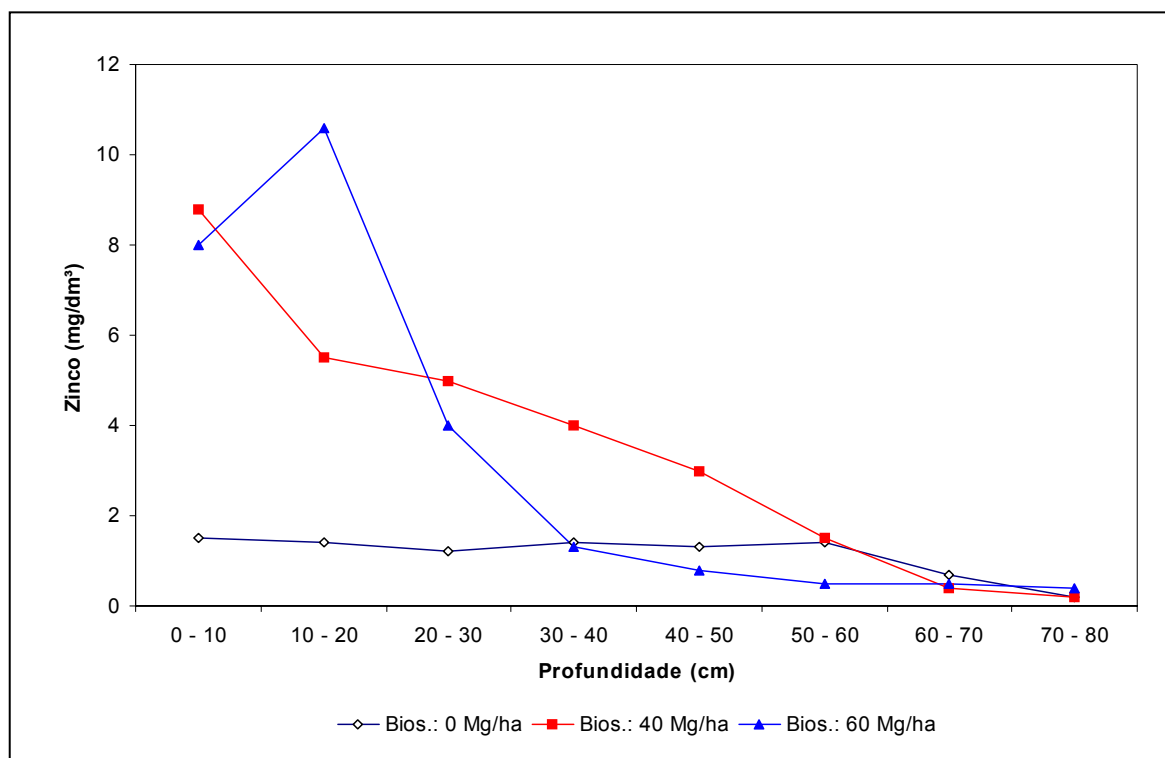


Figura 1. Translocação do zinco em profundidade

Para o cobre (Figura 2), da mesma forma que para o zinco, o teste de Tukey mostrou diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade, entre as camadas: 0-10, 10-20 e 20-30 comparadas com as outras até 70-80 cm. Também os valores de cobre encontrados entre 30-40 cm e os segmentos subjacentes até os 80cm não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5%de

probabilidade. À semelhança do zinco, a concentração do cobre mantém-se uniforme na camada superficial de 0-20 cm.

Para o níquel (Figutra 3), assim como foi constatado para o zinco e o cobre, a distribuição mostrou-se homogênea nos primeiros 20 cm. Em profundidade, também teve o mesmo comportamento até os 80 cm analisados.

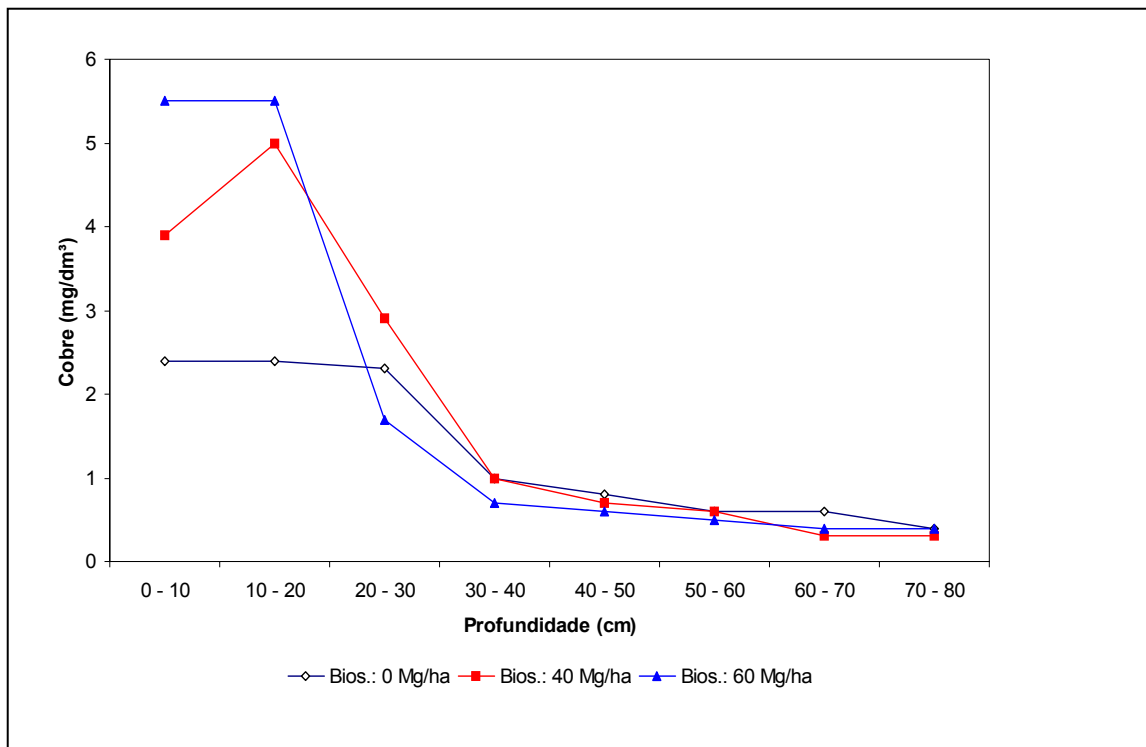


Figura 2. Translocação do cobre em profundidade

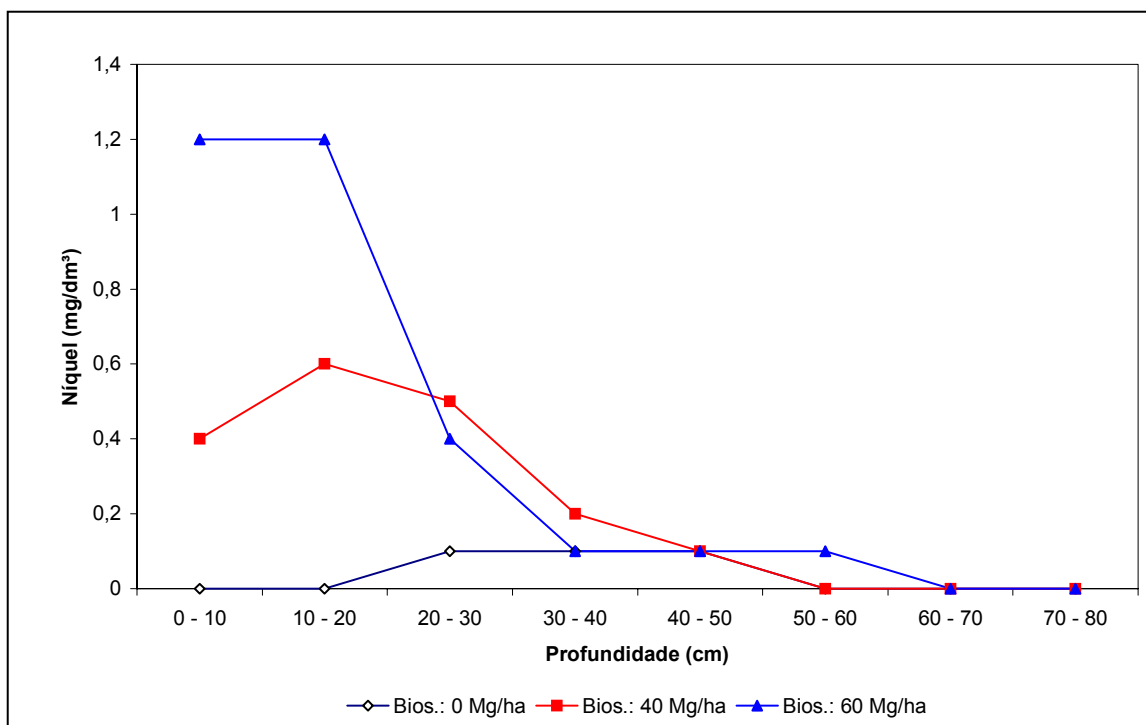


Figura 3. Translocação do níquel em profundidade

Em vista dos resultados obtidos, pode-se inferir que mesmo após quinze anos de ter sido aplicado bio-sólido no solo, o efeito residual dos metais zinco, cobre e níquel, ainda persiste em maior intensidade nos primeiros 20 cm sob forma biodisponível, tendo atingido a camadas subjacentes até 80 cm de profundidade, embora com pequena intensidade.

Estes resultados vêm ao encontro dos obtidos por outros autores (CHANG et al. (1984), Mc BRIDE et al. (1997) e OLIVEIRA & MATTIAZZO (2001) em solos onde foi adicionado bio-sólido durante vários anos, em aplicações anuais, encontraram que a maior parte dos metais pesados aplicados permaneciam nos primeiros 15 cm superficiais e que em profundidade maiores que 30 cm, não foram detectados acréscimos significativos de Zn, Cu e Ni.

Também Williams *et al.* (1980; 1987), encontraram maiores concentrações de Zn, Cu e Ni extraídos com DTPA, limitados a uma profundidade de 30 cm. Embora o bio-sólido tenha acidificado o solo, a disponibilidade e a translocação através do perfil não foram afetadas. A maior parte dos metais adicionados ainda permanecia no solo em quantidades que poderiam ser fitotóxicas se estivessem completamente solúveis.

Os resultados obtidos permitem concluir que a translocação através do perfil, de zinco, cobre e níquel restringe-se aos primeiros 30 cm e em quantidades significativamente superiores aos da testemunha.

LITERATURA CITADA

ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com bio-sólido. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p.927-938, 2000.
BERTI, W.R.; JACOBS, L.W. Distribution of trace elements in soil from repeated sewage sludge applications. **J. Environ. Qual.**, v.27, p.1280-1286, 1998.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.737-744, 1999.
CAMOBRECO, V.J.; RICHARDS, B.K.; STEENHUIS, T.S.; PEVERLY, J.H.; Mc BRIDE, M.B. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. **Soil Sci.**, v.161, p.740-750, 1996.
CHANG, A.C.; WARNEKE, J.E.; PAGE, A.L. ; LUND, L.J. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soil. **J. Environ. Qual.**, v.13, p. 87-91, 1984.
LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 42, p.421-428, 1978.
MATOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; JORDÃO, C.P.; COSTA da, L.M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.20, p. 379-386, 1996.
McBRIDE, M. B.; RICHARDS, B. K.; STEENHUIS, T.; RUSSO, J. J.; SAUVÉ, S. Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge application. **Soil Sci.**, v.162, p. 487-500, 1997.
McBRIDE, M.B.; RICHARDS, B.K.; STEENHUIS, T.; SPIERS, G. Long-term leaching of trace elements in a heavily sludge-amended silty clay loam soil. **Soil Sci.**, v.164, p. 613-623, 1999.
OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Sci. Agric.**, v.58, p.807-812, 2001b.
WILLIAMS, D.E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A.H.; COREY, J.E. Trace element accumulation movement, and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge. **Soil Sci.**, v.129, p.119-131, 1980.
WILLIAMS, D.E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A.H.; COREY, J.E. Metal movement in sludge- amended soils: a nine-year study. **Soil Sci.**, v.143, p.124-131, 1987.