

SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

PELETIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO E ADIÇÃO DE CaCO_3 NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE Zn, Cu e Ni PELO MILHO EM TRÊS LATOSSOLOS⁽¹⁾

R. S. BERTON⁽²⁾, J. M. A. S. VALADARES⁽³⁾,
O. A. DE CAMARGO^(3,4) & O. C. BATAGLIA^(2,4)

RESUMO

Em experimento de casa de vegetação, realizado em Campinas (SP), no período de janeiro a maio de 1980, estudaram-se os efeitos da peletização do lodo de esgoto, nas doses 0, 1 e 5% (v/v) do material seco, na produção de matéria seca e na absorção de Zn, Cu e Ni pela parte aérea do milho (*Zea mays* L.), em latossolo roxo (LR), latossolo vermelho-escuro (LE) e latossolo vermelho-amarelo (LV), que receberam ou não adição de CaCO_3 suficiente para elevação do pH em água para 6,0. O experimento foi realizado em vasos com dois litros de capacidade, delineados em blocos ao acaso, com três repetições, e os tratamentos arranjados num esquema fatorial. Após 200 dias de incubação dos solos com o lodo e CaCO_3 , cultivaram-se quatro plantas de milho em cada vaso. A parte aérea foi quantificada 56 dias após a germinação, sendo cortada, seca, pesada e analisada para os elementos Zn, Cu e Ni. Amostras de terra de cada tratamento foram retiradas e tiveram os metais extraídos pelo DTPA. A peletização do lodo de esgoto resultou em diminuição significativa na produção de matéria seca pela parte aérea do milho, nos três solos estudados, em comparação com o lodo não peletizado. A adição de CaCO_3 proporcionou aumento significativo na produção de matéria seca do milho apenas nos dois solos mais ácidos (LE e LV) e diminuiu o acúmulo de Zn na parte aérea desse vegetal cultivado no LE, sem distinção quanto ao tipo de lodo aplicado, não se observando diferenças significativas na absorção de Ni, em todos os solos analisados. A incorporação do lodo peletizado, que continha 19% menos Zn e Ni que o não peletizado, resultou em menor absorção de Zn, Cu e Ni nos três solos, exceto para o Ni no LR. Para todos os solos investigados, o método do DTPA mostrou-se mais adequado em prognosticar as quantidades disponíveis de Zn e de Cu para o milho, independentemente do tipo de lodo de esgoto aplicado e da elevação ou não do pH do solo pela adição de CaCO_3 .

Termos de indexação: lodo de esgoto, peletização, metais pesados, DTPA, calagem, milho.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em agosto de 1996 e aprovado em setembro de 1997.

⁽²⁾ Pesquisador Científico, Instituto Agronômico, Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP).

⁽³⁾ Pesquisador Científico, Instituto Agronômico, Seção de Pedologia, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP).

⁽⁴⁾ Bolsista do CNPq.

SUMMARY: SEWAGE SLUDGE PELLETIZATION AND CaCO_3 ADDITION ON CORN GROWTH AND Zn, Cu AND Ni ABSORPTION IN THREE HAPLUDOX FROM BRAZIL

*The effect of sewage sludge pelletization added at rates of 0, 1 and 5% (v/v) of dry material was studied on corn growth and absorption of Zn, Cu and Ni, with or without the addition of CaCO_3 to increase soil pH to 6.0. Three Hapludox soil samples from the State of São Paulo, Brazil, "latossolo roxo", "latossolo vermelho-escuro" e "latossolo vermelho-amarelo" (LR, LE and LV, respectively) were used in a greenhouse experiment conducted in Campinas, State of São Paulo, Brazil, from January to May, 1980. Treatments were placed into plastic bags and, after a 200-day incubation period, were transferred to 2 litter pots in which four corn (*Zea mays* L.) plants were cultivated in each one. Plant tops were harvested 56 days after emergence, dried, weighted and analysed for Ni, Cu and Zn. Soil samples were taken for DTPA extraction of Ni, Zn and Cu, which were correlated with tissue amounts of these elements by regression analysis. Addition of sewage sludge as pellets significantly decreased corn dry matter production in all soils. Calcium carbonate addition significantly increased dry matter production only in the LE and LV soils, and decreased plant top Zn accumulation when corn was cropped on the LE soil with any kind of sewage sludge. Calcium carbonate addition also did not affect Ni absorption in all soils under investigation. Pelletized sewage sludge addition, which contained 19% less Zn and Ni than the nonpelletized one, decreased the absorption of Zn, Cu and Ni in all soils, except for Ni in the LR. DTPA extraction was more suitable for predicting Zn and Cu availability to corn in the three soils treated or not with CaCO_3 and with any kind of sewage sludge applied.*

Index terms: sewage sludge, pelletization, heavy metals, DTPA, liming, corn.

INTRODUÇÃO

O tratamento das águas servidas em estações de tratamento gera o lodo de esgoto que, por conter matéria orgânica e nutrientes em sua composição, pode ser reciclado no solo agrícola. Entretanto, a presença de metais pesados restringe sua aplicação, à medida que o acúmulo desses elementos no solo pode causar toxicidade às plantas e sua entrada na cadeia alimentar (Keeney et al., 1975; Logan & Chaney, 1983; Bettiol et al., 1983). Entre os metais presentes no lodo de esgoto, o Cu, o Zn e o Ni, em geral, são os que estão em maiores quantidades e destacam-se por sua alta fitotoxicidade, quando absorvidos em grandes quantidades (Chaney, 1973; CAST, 1976).

A peletização do lodo de esgoto é uma alternativa para tornar mais fácil e mais uniforme sua aplicação ao solo. Com isso, espera-se que a disponibilidade dos metais pesados seja influenciada pelo menor contato do lodo com as partículas do solo e pela provável degradação, mais lenta, feita pelos microrganismos.

A elevação do pH do solo tem-se revelado prática eficaz na diminuição da disponibilidade de vários metais pesados presentes no lodo, entre eles o Zn (Terman et al., 1973; Singh & Narwal, 1984), o Ni (MacLean & Dekker, 1978; Singh & Narwal, 1984) e o Cu (Bingham et al., 1979; Camargo et al. 1982). Recentemente, Mattiazzo-Prezotto (1994) verificou que o pH (em água) deve ser, no mínimo, 5,3 para a aplicação de resíduos em solos ácidos de clima tropical.

O método da extração multielementar pelo DTPA vem sendo utilizado, com relativo sucesso, para diagnóstico de solos que receberam aplicações de lodo de esgoto, principalmente para os elementos Zn, Cu, Ni e Cd, em diversas culturas (Valadares et al., 1983;

Roca & Pomares, 1991; Mulchi et al., 1992). No Brasil, entretanto, as pesquisas que utilizam esse extrator, para prever as disponibilidades desses elementos, têm sido feitas, visando ao estudo mais profundo sobre deficiências de micronutrientes que suas toxicidades (Abreu et al., 1995).

Pretendeu-se, neste estudo, avaliar a influência de três níveis de lodo de esgoto, peletizado ou não, com e sem adição de CaCO_3 , em três solos do Estado de São Paulo, na produção de matéria seca da parte aérea da cultura do milho, na disponibilidade de Cu, Ni e Zn para a cultura e na eficiência de extração desses metais com DTPA, para prever as quantidades absorvidas pela parte aérea da planta.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolveu-se, em casa de vegetação, um experimento em vasos com capacidade para 2 L, usando amostras da camada superficial (0-20 cm) de um latossolo vermelho-escuro argiloso (LE), um latossolo roxo (LR) e um latossolo vermelho-amarelo textura média (LV), caracterizados no quadro 1, segundo Camargo et al. (1986). As amostras foram, previamente, incubadas com dois tipos de lodo de esgoto, peletizado e não peletizado, aos níveis de 0, 1 e 5% (v/v) do material seco a 70°C, considerados equivalentes a 0, 20 e 100 t ha⁻¹, com e sem adição de CaCO_3 para elevação do pH (em água) dos solos para 6,0 (5 g vaso⁻¹, para o LE; 2 g vaso⁻¹, para o LR, e 1 g vaso⁻¹, para o LV). O lodo de esgoto não peletizado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), de Vila Leopoldina em São Paulo

(SP) e continha cerca de 48% de umidade. O lodo peletizado, com diâmetro inferior a 5 mm, foi coletado na Usina-Piloto montada, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), na ETE de Vila Leopoldina e continha cerca de 10% de umidade. Os lodos foram secos a 70°C, e 1 g de resíduo foi digerido com 50 mL de HNO₃ 4 mol L⁻¹, a quente, esfriado, completado o volume a 50 mL com água desionizada e filtrado em papel Whatman 42. No filtrado, determinaram-se os elementos: K, por fotometria de chama; P, pelo método do vanadato-molibdato, e os metais Ni, Cu e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de N total nos lodos foi determinado pelo método micro-Kjeldhal, e o carbono foi feito por meio da oxidação da matéria orgânica com solução 0,17 mol L⁻¹ de dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 mol L⁻¹, usando difenilamina como indicador (Camargo et al., 1986). Os resultados das análises dos lodos encontram-se no quadro 2. Deve ser destacado que o teor de Cd em ambos é muito semelhante e baixo.

Após as adições do CaCO₃ e dos lodos aos três solos, em sacos de polietileno, os tratamentos foram umedecidos com água destilada até 70% da capacidade de retenção. Em seguida, os sacos foram fechados e deixados em incubação, por duzentos dias; durante esse período, uma vez por mês, os sacos foram abertos e tiveram seu conteúdo aerado, homogeneizado e reumidificado. Ao final da incubação, as amostras de solo foram colocadas em vasos de alumínio, semeadas com cinco sementes de milho HMD7974, por vaso, e irrigadas, superficialmente, com água destilada. Sete dias após a germinação, as plantas foram desbastadas, deixando quatro plantas por vaso. Cada tratamento recebeu dosagem de 100 mg de N e 120 mg de S na forma de sulfato de amônio e reposição de água até 70% da capacidade de retenção, mediante pesagem.

Quadro 1. Atributos químicos e teor de argila da camada superficial (0-20 cm) dos três solos estudados

Solo	Argila	C	pH	Ca	Mg	K	Al	Zn	Cu	Ni
	— g kg ⁻¹ —			— mmol _c kg ⁻¹ —			— mg kg ⁻¹ —			
LE	710	16	4,3	10	0	0,4	18	1,7	1,4	< 0,5
LR	560	22	5,5	40	22	2,5	2	3,2	7,5	< 0,5
LV	120	6	5,2	17	1	1,1	5	0,9	0,6	< 0,5

Quadro 2. Composição química das amostras de lodo de esgoto usadas no experimento

Lodo	C	N	C/N	P	Ca	K	Ni	Cu	Zn
	- g kg ⁻¹ -			- g kg ⁻¹ -		— mg kg ⁻¹ —			
Não peletizado	177	16	11	8	20	1,6	1.110	1.540	3.930
Peletizado	127	12	11	8	18	2,5	900	1.570	3.170

Oito semanas após a emergência, a parte aérea de cada tratamento foi cortada a 1 cm do material de solo, seca a 65°C em estufa de ventilação forçada, até peso constante, pesada, moída, digerida com a mistura de ácidos nítrico e perclórico (Bataglia et al., 1978) e analisada para Cu, Ni e Zn, por espectrometria de absorção atômica. Retiraram-se amostras de solo de cada tratamento para determinação do pH (Raij & Zullo, 1977) e para extração de Ni, Cu e Zn, pelo método do DTPA, segundo Lindsay & Norvell (1978).

A unidade experimental foi constituída por vasos com quatro plantas. Os tratamentos foram definidos segundo arranjo fatorial constituído de três solos, dois tipos de lodo, duas dosagens de CaCO₃ e três doses de lodo; delineados em blocos completamente casualizados, com três repetições. A quantidade de matéria seca produzida pela parte aérea do milho e as quantidades absorvidas de Zn, Cu e Ni em função das dosagens aplicadas de lodo de esgoto foram analisadas por meio de regressões lineares e polinomiais. Para cada dose, as médias de cada tratamento foram comparadas entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Realizaram-se análises de correlação linear entre as quantidades dos metais estudados, extraídas pelo DTPA, e as quantidades absorvidas pela parte aérea do milho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incorporação do lodo de esgoto, peletizado ou não, com ou sem adição de CaCO₃, proporcionou um aumento significativo na produção de matéria seca da parte aérea do milho, nos três solos estudados (Figura 1). Os resultados da análise de variância revelaram que a produção de matéria seca do milho diminuiu, significativamente, no tratamento com lodo peletizado, em todos os solos investigados. Tal diferença deve estar relacionada com a ocorrência de menor degradação da matéria orgânica do lodo peletizado, resultando em menor liberação de nutrientes, entre eles o nitrogênio, que seriam colocados à disposição das raízes do milho. Além disso, as pequenas variações observadas nos valores de pH, nos tratamentos com lodo peletizado e não peletizado (Quadro 3), também podem ter contribuído para a maior produção de matéria seca no tratamento com lodo não peletizado, principalmente na dosagem máxima aplicada, em que todos os valores de pH foram maiores para esse tratamento. Essa pequena elevação do pH pode ter favorecido mais o crescimento das raízes pela redução na atividade do Al³⁺ e pela maior quantidade de nutrientes colocados à disposição da planta (Quaggio, 1986).

A análise de variância revelou, também, que a adição de CaCO₃ resultou em aumento significativo da produção de matéria seca apenas no LE e LV. A ausência do efeito do CaCO₃, observado no LR, deveu-se, em parte, ao fato de o pH natural desse solo encontrar-se próximo a 6,0, bem como à elevação do pH que ocorre após a adição do lodo de esgoto ao solo, conforme observado por Berton et al. (1989).

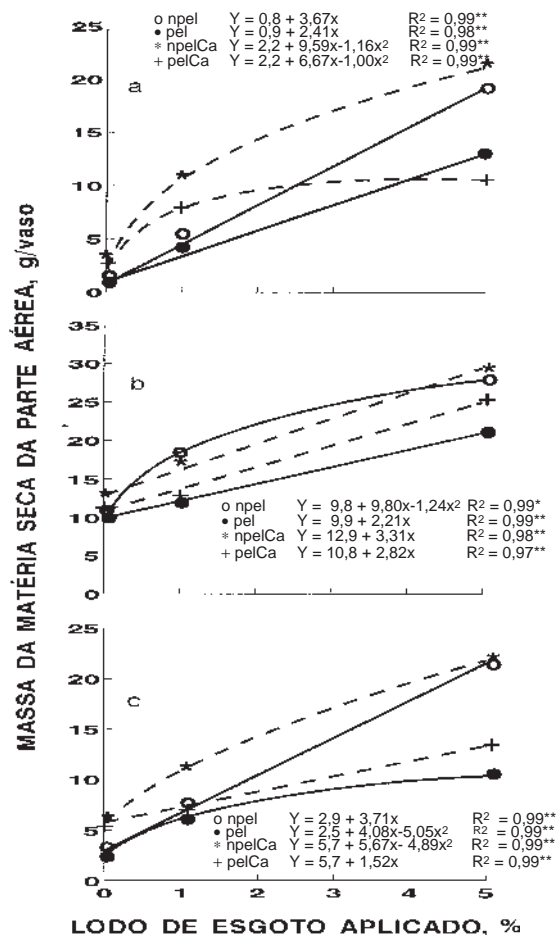


Figura 1. Produção de matéria seca pela parte aérea do milho em resposta à adição de lodo de esgoto, peletizado ou não, com ou sem CaCO₃, em três solos: a) LE, b) LR e c) LV. npel = não peletizado; pel = peletizado; npelCa = não peletizado e com CaCO₃; pelCa = peletizado e com CaCO₃.

Deve-se ressaltar, ainda, que a produção de matéria seca foi linear, para o tratamento com lodo não peletizado, no LE e LV, indicando que a quantidade de Zn aplicada na dose 5%, equivalente a 393 kg ha⁻¹ - e que resultou numa concentração desse elemento na parte aérea de 335 e 323 mg kg⁻¹, para o LE e LV, respectivamente - não foi suficiente para afetar o desenvolvimento da parte aérea da planta.

Com relação à absorção dos metais pesados pelo milho (Figuras 2, 3 e 4), a análise de variância revelou que a adição do lodo de esgoto aumentou, significativamente, os teores de Zn e Cu nos três solos estudados e os teores de Ni nos solos LE e LV. Da mesma forma, a peletização do lodo foi eficiente em diminuir o acúmulo desses elementos na parte aérea do milho, em todos os solos, exceto para o Ni, no solo LR. Na interpretação desses resultados, deve-se levar em conta, entretanto, que o lodo peletizado continha cerca de 19% menos de Zn e Ni que o lodo não peletizado, o que pode ter influenciado a absorção desses elementos.

A adição de CaCO₃ acarretou diminuição significativa das quantidades absorvidas de Zn apenas no

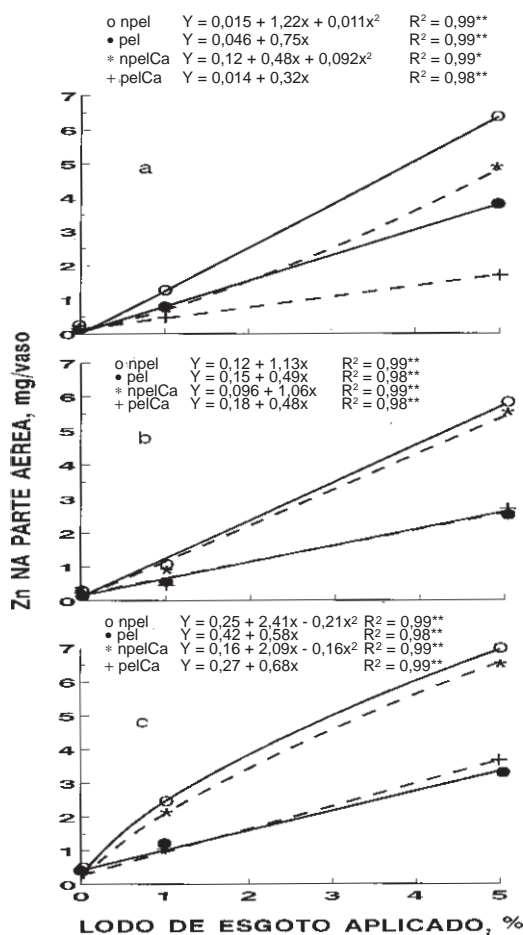


Figura 2. Quantidades absorvidas de Zn pela parte aérea do milho em função da adição de lodo de esgoto peletizado ou não, com ou sem CaCO₃, em três solos: a) LE, b) LR e c) LV. npel = não peletizado; pel = peletizado; npelCa = não peletizado e com CaCO₃; pelCa = peletizado e com CaCO₃.

Quadro 3. Valores de pH do solo após a colheita do milho nos solos incubados com lodo de esgoto e CaCO₃

Tratamentos	LE CaCO ₃		LR CaCO ₃		LV CaCO ₃	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Testemunha	3,9	5,7	5,4	5,9	4,5	5,1
1% lodo	4,5	5,6	5,3	5,6	4,6	5,3
1% lodo peletizado	4,4	5,5	5,6	5,7	4,6	5,2
5% lodo	4,9	5,7	5,5	5,8	5,6	5,8
5% lodo peletizado	4,7	5,6	5,3	5,7	5,3	5,6

LE, indistintamente para os dois tipos de lodo estudados, e do Cu no LV, apenas para o tratamento com lodo não peletizado. Não se observou efeito significativo da incorporação do CaCO₃ no acúmulo de Ni para os três solos investigados. Andersson & Nilsson (1976) também verificaram aumento na absorção de Ni pelo nabo forrageiro, quando se aumentou a dosagem de lodo de esgoto até 19 t ha⁻¹;

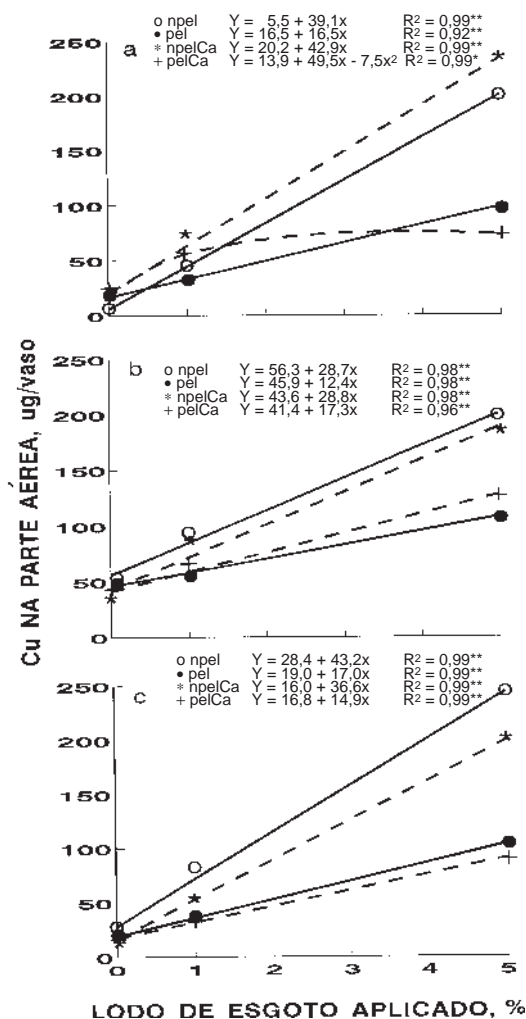


Figura 3. Quantidades absorvidas de Cu pela parte aérea do milho em função da adição de lodo de esgoto, peletizado ou não, com ou sem CaCO₃, em três solos: a) LE, b) LR e c) LV. npel = não peletizado; pel = peletizado; npelCa = não peletizado e com CaCO₃; pelCa = peletizado e com CaCO₃.

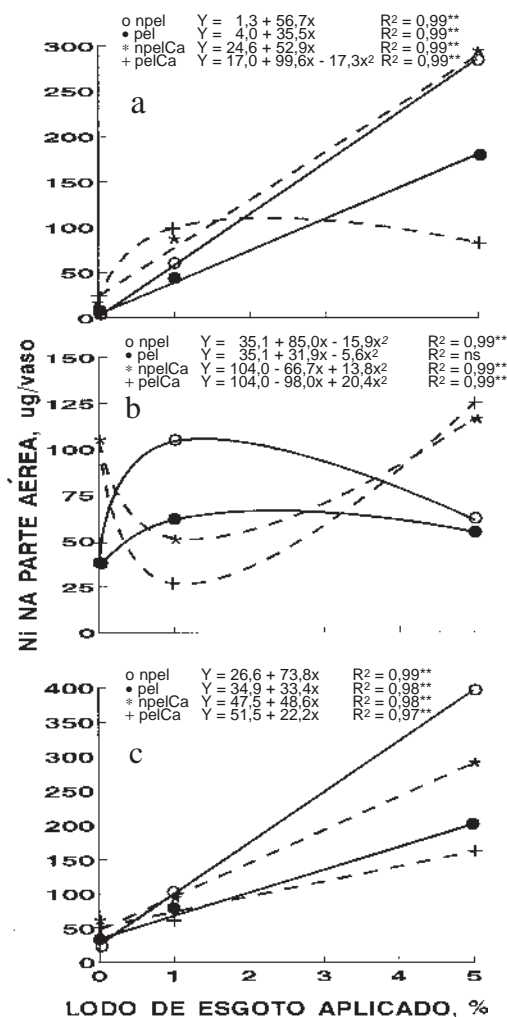


Figura 4. Quantidades absorvidas de Ni pela parte aérea do milho em função da adição de lodo de esgoto, peletizado ou não, com ou sem CaCO₃, em três solos: a) LE, b) LR e c) LV. npel = não peletizado; pel = peletizado; npelCa = não peletizado e com CaCO₃; pelCa = peletizado e com CaCO₃.

entretanto, esses autores notaram diminuição em cerca de 74% do Ni absorvido, nesta dosagem de lodo, quando se adicionou CaO para a elevação do pH do solo para 6,0. No LE, a correção do solo diminuiu em 50% as quantidades absorvidas de Zn no tratamento com lodo peletizado, enquanto, no tratamento com lodo não peletizado, essa eficiência do CaCO₃ foi de apenas 26%.

Os valores dos coeficientes de determinação (r^2) revelaram que as quantidades extraídas de Zn pelo método do DTPA correlacionaram-se melhor com as quantidades acumuladas desse nutriente na parte aérea da planta, para os três solos estudados, que os demais elementos (Quadro 4), corroborando os resultados obtidos por outros autores (Rappaport et al., 1986; Bataglia & Raji, 1994).

As correlações entre as quantidades extraídas dos três metais nos solos estudados e as quantidades

absorvidas pelas plantas foram similares para os dois tipos de lodo de esgoto, indicando que o método do DTPA pode, também, ser empregado para o lodo peletizado. Valores menores de r^2 foram observados, para todos os elementos, nos tratamentos que receberam CaCO₃, exceto, para o Zn, no tratamento com lodo não peletizado, tendo sido os maiores efeitos da adição desse corretivo detectados nas correlações para o Ni. Embora significativos, os baixos valores obtidos para os coeficientes de determinação para o Ni indicam que outro extrator deve ser pesquisado para prever as quantidades disponíveis desse elemento às plantas, principalmente quando o solo recebe adição de calcário para elevação de seu pH para cerca de 6,0. Essa sugestão é reforçada pelos resultados obtidos por Roca & Pomares (1991), que não obtiveram correlação significativa com esse extrator, para Ni e Cu, na cultura do milho em solo calcário.

Quadro 4. Coeficientes das equações de regressão linear e coeficientes de determinação (r^2) obtidos para a correlação entre as quantidades de metais extraídas pelo método do DTPA e as acumuladas na parte aérea do milho nos três solos estudados⁽¹⁾

Tratamentos	R^2	Coeficiente da equação	
		A	B
Zinco			
Lodo	0,96**	0,230	0,077
Peletizado	0,94**	0,100	0,068
Lodo + CaCO ₃	0,97**	0,088	0,079
Peletizado + CaCO ₃	0,89**	0,094	0,067
Cobre			
Lodo	0,91**	0,747	8,230
Peletizado	0,89**	10,433	4,616
Lodo + CaCO ₃	0,77**	12,409	7,479
Peletizado + CaCO ₃	0,83**	13,432	4,781
Níquel			
Lodo	0,47**	14,004	30,700
Peletizado	0,64**	13,297	23,460
Lodo + CaCO ₃	0,35**	62,892	21,468
Peletizado + CaCO ₃	0,37**	52,227	14,658

⁽¹⁾ Modelo completo, $Y = A + BX$, em que Y = teor do metal na parte aérea da planta, g vaso⁻¹; A = ponto de interceptação no eixo y; B = declividade da reta; X = quantidade do metal extraído pelo DTPA, mg dm⁻³. *,** Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. Embora com uma produção de matéria seca menor que a obtida nos tratamentos que receberam lodo não peletizado, a peletização do lodo de esgoto resultou em diminuição significativa da absorção de Zn e Cu em todos os solos estudados e de Ni no LE e LV.

2. A adição de carbonato de cálcio diminuiu o acúmulo de Zn na parte aérea do milho, cultivado no LE, e aumentou a produção da matéria seca da parte aérea desse vegetal apenas nos dois solos mais ácidos (LE e LV).

3. Para os três solos estudados, o método do DTPA mostrou-se adequado em prognosticar as quantidades disponíveis de Zn e de Cu para o milho, independentemente do tipo de lodo de esgoto aplicado e da elevação ou não do pH do solo pela adição de CaCO₃.

AGRADECIMENTOS

À SABESP Vila Leopoldina, São Paulo (SP), pela cessão dos lodos de esgotos utilizados neste experimento, e à Eliana Patrícia Gorgulho, pelo auxílio nas análises estatísticas.

LITERATURA CITADA

ABREU, C.A. de; ABREU, M.F. de; RAIJ, B. van & SANTOS, W.R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 19:463-468, 1995.

ANDERSSON, A. & NILSSON, K.O. Influence on the levels of heavy metals in soil and plant sewage sludge used as fertilizer. Swedish J. agric. Res., Estocolm, 6:151-159, 1976.

BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 18:457-461, 1994.

BATAGLIA, O.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 31p. (Circular, 87)

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13:187-192, 1989.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T. & FRANCO, B.J.D.C. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante. O Solo, Piracicaba, 75:44-54, 1983.

BINGHAM, F.T.; PAGE, A.L.; MITCHELL, G.A. & STRONG, J.E. Effects of liming on acid soil amended with sewage sludge enriched with Cd, Cu, Ni and Zn on yield and Cd content of wheat grain. J. Environ. Qual., Madison, 8:202-206, 1979.

CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106)

CAMARGO, O.A. de; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. Efeitos do pH na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6:83-88, 1982.

CAST - Council for Agricultural Science and Technology. Application of sewage sludge to cropland: appraisal of potential hazards of the heavy metals to plants and animals. Ames, IA, 1976. 77p. (Report, 64)

CHANEY, R.L. Crop and food effects of toxic elements in sludges and effluents. In: RECYCLING MUNICIPAL SLUDGES AND EFFLUENTS ON LAND. Champaign, 1973. Proceedings. Washington, National Association State University and Land-Grant College, 1973. p.129-141.

KEENEY, D.R.; LEE, K.W. & WALSH, L.M. Guidelines for the application of wastewater sludge to agricultural land in Wisconsin. Madison, Department of Natural Resources, 1975. 36p. (Tech. Bull., 88)

LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 42:421-428, 1978.

LOGAN, T.J. & CHANEY, R. Metals. In: PAGE, A.L.; GLEASON, T.L.; SMITH, J.E.; ISKANDAR, J.K. & SOMMERS, L.E., eds. Utilization of municipal wastewater and sludge on land. Riverside, University of California, 1983. p.235-326.

MACLEAN, A.J. & DEKKER, J. Availability of zinc, copper and nickel to plants grown in sewage-treated soils. Can. J. Soil Sci., Ottawa, 58:381-389, 1978.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Piracicaba, ESALQ, USP, 1994. 197p. (Tese de Livre-docência)

MULCHI, C.L., ADAMU, C.A.; BELL, P.F. & CHANEY, R. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended Coastal Plain soils - II. Predicting metal concentrations in tobacco from soil test information. Commun. Soil Sci. Plant Anal., New York, 23:1053-1069, 1992.

- QUAGGIO, J.A. Reação do solo e seu controle. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Piracicaba, Fundação Cargill, 1986. p.53-89.
- RAIJ, B. van & ZULLO, M.A.T. Métodos de análise de solo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1977. 16p. (Circular, 63)
- RAPPAPORT, E.D.; MARTNES, D.C.; SIMPSOM, T.W. & RENEAU JR., Prediction of available zinc in sewage sludge amended soils. J. Environ. Qual., Madison, 15:133-136, 1986.
- ROCA, J. & POMARES, F. Prediction of available heavy metals by six chemical extractants in a sewage-amended soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., New York, 22:2119-2136. 1991.
- SINGH, B.R. & NARWAL, R.P. Plant availability of heavy metals in a sludge-treated soil: II. Metal extractability compared with plant metal uptake. J. Environ. Qual., Madison, 13:344-349, 1984.
- TERMAN, G.L., SOILEAU, J.M. & ALLEN S.E. Municipal waste compost: Effects on crop yields and nutrient content in greenhouse pot experiments. J. Environ. Qual., Madison, 2:84-89, 1973.
- VALADARES, J.M.A.S.; GAL, M.; MINGELGRIN, V. & PAGE, A.L. Some heavy metals in soils treated with sewage sludge, their effects on yield, and their uptake by plants. J. Environ. Qual., Madison, 12:49-57, 1983.