

Elementos-traço no solo, na planta e no grão de plantas de milho cultivadas em latossolos tratados com lodo de esgoto por 16 anos

Trace elements in soil, plant and grain of corn plants cultivated in Latosols after sixteen years with application of sewage sludge

Marcela Midori Yada^{1*} , Wanderley José de Melo¹ , Valéria Peruca de Melo²

RESUMO

Uma das maiores preocupações quanto à aplicação de lodo de esgoto (LE) no solo se deve à contaminação por elementos-traço, dadas a persistência destes no ambiente e a sua alta toxicidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores dos elementos As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn no solo, na planta e nos grãos do milho, quando plantas foram cultivadas em dois latossolos, após 16 anos com aplicação anual de doses de LE. O experimento foi instalado em condições de campo em Jaboticabal, SP. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: T1 = O testemunha (fertilização mineral, sem aplicação de LE), T2 = 5 t ha⁻¹ LE, T3 = 10 t ha⁻¹ LE e T4 = 20 t ha⁻¹ LE (matéria seca). A aplicação de doses de LE de 10 e 20 t ha⁻¹ aumentou o teor disponível de Cu no latossolo vermelho eutroférrico (LVef) e os teores disponíveis de Cu, Ni, Pb e Zn no latossolo vermelho distrófico (LVd), porém sem ultrapassar os limites estabelecidos pela legislação brasileira (valores de prevenção). Os teores dos elementos As, Ba, Cd, Cr, Hg, Mo e Pb nos grãos de milho permaneceram abaixo dos limites estabelecidos para o consumo humano.

Palavras-chave: metais pesados; biossólido; biodisponibilidade; resíduo urbano; poluição ambiental.

ABSTRACT

One of the biggest concerns about the application of sewage sludge to the soil is due to contamination by trace elements, their persistence in the environment and high toxicity. The objective of this work was to evaluate the contents of the elements As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, and Zn in the soil, the plants, and the grains of corn, when grown in two latosols, after sixteen years with annual application of sewage sludge doses. The experiment was conducted under field conditions in Jaboticabal, SP. The experimental design was randomized blocks with 4 treatments and 5 replications. Treatments were: T1 = O control (mineral fertilization, without applying LE), T2 = 5 t ha⁻¹ LE, T3 = 10 t ha⁻¹ LE, and T4 = 20 t ha⁻¹ LE (dry basis). Applying LE doses of 10 and 20 t ha⁻¹ increased the available content of Cu in LVef soil and available levels of Cu, Ni, Pb and Zn in LVd soil, without exceeding the limits established by Brazilian legislation (prevention values). The levels of elements As, Ba, Cd, Cr, Hg, Mo, and Pb in maize grains remained below the limits established for human consumption.

Keywords: heavy metals, biosolids, bioavailability, municipal waste, environmental pollution.

INTRODUÇÃO

Esgoto é a água residuária descartada em atividades domésticas ou industriais lançada nos sistemas de captação de esgoto e direcionada às estações de tratamento de esgoto (ETEs), ou lançada diretamente nos mananciais superficiais (MELO; MARQUES; MELO, 2001). Os produtos finais do tratamento de esgoto são o lodo de esgoto (LE) e o efluente. O LE é um resíduo semissólido resultante do tratamento dos esgotos ou das águas servidas cuja composição, predominantemente

orgânica, varia em função de sua origem e do processo de tratamento empregado na ETE.

A vultuosa produção de LE, sobretudo em grandes centros urbanos, tem norteado algumas pesquisas sobre alternativas de destinação, como o uso desse resíduo na agricultura, como fertilizante. Trata-se de uma alternativa de grande viabilidade econômica, contribuindo também com o meio ambiente por meio de ciclagem de nutrientes presentes nesse produto, pois o LE possui elevado conteúdo de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas, diminuindo o uso de fertilizantes minerais.

¹Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Jaboticabal (SP), Brasil.

²Universidade Camilo Castelo Branco - Descalvado (SP), Brasil.

*Autora correspondente: marcelayada@gmail.com

Recebido: 27/05/2015 - Aceito: 19/02/2019 - Reg. ABES: 150124

Uma das maiores preocupações quanto à aplicação de LE no solo se deve à contaminação por elementos-traço, dados a persistência destes no ambiente e seu alto poder de toxicidade. Na composição do LE podem ser encontradas quantidades variáveis desses elementos, visto que sua composição difere de acordo com o local onde foi obtido. Sendo assim, sua aplicação continuada no solo precisa ser acompanhada, e uma das formas de avaliação de seus efeitos é observar a qualidade do solo (BRASIL, 2009).

O termo *elemento-traço* tem sido usado para definir metais catiônicos e aniônicos presentes em baixas concentrações (usualmente $< 0,1 \text{ dag kg}^{-1}$) em solos e plantas (PIERZYNSKI; SIMS; VANCE, 1994; SPARKS, 1995; ESSINGTON, 2004), muito embora Al, Fe e Ti, os quais ocorrem em concentrações mais elevadas na litosfera (principalmente em ecossistemas tropicais), também sejam tratados como elementos-traço por alguns autores (MCBRIDE, 1994; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Os elementos-traço em geral estão associados com toxicidade e poluição, ainda que alguns sejam essenciais, como Cu, Fe, Mn, Zn e Mo, e outros não, como Pb, Cd, Hg e As. Todos são classificados como elementos-traço e potencialmente tóxicos (OLIVEIRA, 2008).

Nos solos, a presença dos elementos-traço é normal em condições naturais, e, na maioria das vezes, eles estão presentes em concentrações ou formas que não oferecem risco ao ambiente. As atividades humanas, contudo, de alguma maneira, adicionam ao solo materiais que contêm esses elementos químicos, podendo proporcionar concentrações muito altas capazes de comprometer a qualidade do ecossistema. As principais fontes antropogênicas de metais no solo são mineração e beneficiamento de metais, queima de combustíveis fósseis, aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes, LE urbanos e/ou industriais, águas residuárias, resíduos de indústrias de beneficiamento químico, manufatura e disposição de artigos eletrônicos, de caça e pesca e de treinamento militar e de guerra (CAMARGO; ALLEONI; CASAGRANDE, 2001).

Nas plantas, o acúmulo de elementos-traço depende de uma série de fatores, como: reação do solo, natureza do metal, teor de matéria orgânica e capacidade do solo de reter cátions (MCBRIDE, 1995).

O acúmulo de elementos-traço no solo pela aplicação de LE (IPPOLITO; BARBARICK, 2006; REVOREDO; MELO, 2006; OLIVEIRA, 2008) e a possibilidade de transferência de tais elementos químicos às plantas, uma das vias para chegar à cadeia alimentar humana, são motivo de preocupação e de muitas pesquisas (ANJOS; MATTIAZZO, 2000; MELO, 2002; BORGES; COUTINHO, 2004). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de elementos-traço As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn no solo, na planta e nos grãos de milho cultivados com aplicação anual, por 16 anos ininterruptos, em dois latossolos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os tratamentos foram impostos sempre nas mesmas parcelas experimentais instaladas no ano agrícola 1997/98, em dois latossolos do município de Jaboticabal (SP), Brasil ($21^{\circ}15'22'' \text{ S}$ e $48^{\circ}15'18'' \text{ W}$, altitude de 618 m), local cujo clima é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen, ou seja, clima tropical com estação seca de inverno (VOLPE; CUNHA, 2008).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos (doses de LE) e cinco repetições, em parcelas com 60 m^2 ($6 \times 10 \text{ m}$). Os solos receptores do LE foram:

- latossolo vermelho eutroférrico (LVef): área experimental 1;
- latossolo vermelho distrófico (LVd): área experimental 2.

No primeiro ano, as doses de LE foram:

- 0: testemunha, sem aplicação de LE e sem fertilização mineral;
- $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ LE;
- $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ LE;
- $10,0 \text{ t ha}^{-1}$ LE, em relação à matéria seca.

A dose 5 t ha^{-1} de LE foi estabelecida para fornecer o N exigido pela planta de milho, admitindo-se que $1/3$ do N contido no resíduo seria disponibilizado para a cultura. Do segundo ano em diante, optou-se por adubar o tratamento testemunha de acordo com a análise do solo e as recomendações de Raij *et al.* (1997). A partir do quarto ano, as parcelas que recebiam $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ de LE passaram a receber 20 t ha^{-1} , doses que são utilizadas até o presente momento. Assim, os tratamentos do 16º ano foram:

- 0: testemunha, sem aplicação de LE e com fertilização mineral;
- 5 t ha^{-1} LE;
- $10,0 \text{ t ha}^{-1}$ LE;
- $20,0 \text{ t ha}^{-1}$ LE, em relação à matéria seca.

Nos tratamentos com LE, caso fosse necessário, foi feita aplicação complementar de fertilizantes minerais, de modo que recebessem as mesmas quantidades de N, P e K.

O milho (*Zea mays* L.) foi a cultura utilizada nos anos agrícolas 1996/97 a 2001/02. Já em 2002/03, utilizou-se o girassol (*Helianthus annuus* L.), com produtividade de $1,5$ a $2,5 \text{ t ha}^{-1}$, e em 2003/2004, a crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), com produtividade de $0,5$ a $1,0 \text{ t ha}^{-1}$, visando à rotação de cultura. De 2004/05 a 2007/08, voltou a ser cultivado o milho. No ano agrícola 2008/09, usou-se o girassol e, do ano 2009/10 até 2012/13, novamente o milho.

O LE usado no 16º ano de experimentação foi obtido na ETE da cidade de Monte Alto (SP), operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). O LE foi empregado do modo como foi recebido; retiraram-se apenas amostras para análise química. A ETE de Monte Alto é uma estação de lodo ativado projetada

na modalidade de aeração prolongada, produzindo, portanto, um lodo já estabilizado.

A caracterização química do LE usado nesse 16º ano foi realizada em uma amostra composta de seis amostras simples, coletadas em diferentes pontos da massa do resíduo (ABNT, 2004). A concentração de N foi determinada pelo método de Kjeldahl (MELO, 1974); o P, por espectrofotometria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997); o K, por fotometria de chama (SARRUGE; HAAG, 1974); o S, por turbidimetria (VITTI, 1989); e os demais elementos químicos, por espectrofotometria de absorção atômica no extrato da digestão com $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl}$, segundo método 3050B (USEPA, 1996). Os resultados foram $\text{N} = 46,9 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 20,84 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{K}_2\text{O} = 2,8 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Ca} = 20,1 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Mg} = 1,33 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Cl} = 1,14 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{S} = 2,38 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Cu} = 372,55 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Fe} = 4.100,0 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Mn} = 529,3 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Zn} = 748,30 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{B} = 51,65 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Mo} = 1,77 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Cd} = 1,27 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Cr} = 15,45 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Pb} = 57,28 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Ba} = 2,36 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Ni} = 34,53 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Co} = 15,04 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{As} = 4,5 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Hg} = 3,2 \text{ mg kg}^{-1}$; e $\text{Se} \leq 0,05$, em relação à matéria seca.

O LE foi aplicado a lanço, com a umidade com que chegou da ETE (5%), tendo sido uniformemente distribuído na área total e incorporado por meio de gradagem leve (0,10 m de profundidade). Após a aplicação do LE, as parcelas foram sulcadas em espaçamento de 0,90 m, e o fertilizante mineral (NPK) foi posto no sulco de semeadura. As doses acumuladas de LE no período de 16 anos foram: 0, 80, 160 e 232,5 t ha⁻¹.

O milho (híbrido 2B710PW DOW) foi semeado logo após a fertilização mineral, e sua semeadura foi realizada no espaçamento de entrelinhas de 0,9 m, com sete a oito sementes por metro linear.

A adubação de cobertura ocorreu aos 40 dias após a semeadura (Tabela 1). Nos 16 anos, a adubação mineral do tratamento 0 t ha⁻¹ acumulou, na semeadura, 480 kg ha⁻¹ de N, 800 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e 800 kg ha⁻¹ de K_2O , e, na adubação mineral de cobertura, o acúmulo foi de 2.240 kg ha⁻¹ de N e de 640 kg ha⁻¹ de K_2O .

Tabela 1 - Teor de N, P_2O_5 e K_2O no lodo de esgoto (LE) e na adubação mineral aplicada aos tratamentos no 16º ano de aplicação de LE.

Nutrientes	Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	20
	Semeadura (kg ha ⁻¹)			
N	30	--	--	--
P_2O_5	50	--	--	--
K_2O	50	36	22	--
	40 dias após a semeadura (kg ha ⁻¹)			
N	140	--	--	--
P_2O_5	--	--	--	--
K_2O	40	40	40	40

N: sulfato de amônio (21% N); P_2O_5 : superfosfato simples (18% P_2O_5); K: cloreto de potássio (60% K_2O).

Aos 68 dias após a emergência (DAE), amostras de solo foram coletadas na camada 0–0,2 m com o auxílio de trado tipo holandês. Em cada parcela, coletaram-se dez amostras simples, na linha e na entrelinha, que foram reunidas e misturadas para formar uma amostra composta. Para as análises químicas de elementos-traço, as amostras foram secas ao ar e à sombra e passadas em peneira com 2 mm de malha de terra fina seca ao ar (TFSA).

A amostragem de planta inteira foi realizada aos 80 DAE. Retiraram-se, em duas linhas centrais, seis plantas ao acaso por parcela, as quais foram cortadas rente ao solo, consideradas como planta inteira (exceto raiz).

As amostras foram lavadas com solução de água + detergente neutro (1 mL L⁻¹), água corrente, água destilada e água desionizada. Depois da lavagem, elas foram acondicionadas em sacos de papel perfurados e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar e mantidas a 60–70°C, até obtenção de massa constante. Depois de secas, foram pesadas, moídas em moinho tipo Willey equipado com facas de aço inoxidável e peneira de 40 mesh, também em aço inoxidável, acondicionadas em sacos de polietileno devidamente identificados e armazenadas em câmara seca até a realização das análises.

Os grãos foram amostrados aos 128 DAE, coletando-se as espigas das plantas de 3 m da linha central de cada parcela. Debulharam-se as espigas e secaram-se os grãos em estufa com circulação forçada de ar (65–70°C) até obtenção de massa constante. Os grãos foram pesados, moídos e armazenados da mesma forma que as demais partes vegetais. Antes de secar os grãos, pesou-se a umidade das amostras para o cálculo da produtividade.

Para analisar as concentrações dos elementos-traço, definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2006) — As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn —, nas amostras de solo, parte aérea e grãos, tais concentrações foram submetidas à digestão com HNO_3 , HCl e H_2O_2 concentrados e a quente segundo método 3050B (USEPA, 1996). A determinação do teor total é uma das formas de avaliação da poluição do solo por elementos-traço.

Apesar de o teor total não fornecer informações precisas sobre a disponibilidade desses elementos-traço para as plantas, pesquisas mostram que ainda não há um extrator capaz de avaliar eficientemente o teor disponível de todos os elementos-traço de interesse em solos brasileiros (ANJOS; MATTIAZZO, 2001; BORGES; COUTINHO, 2004; MANTOVANI *et al.*, 2004). Assim, torna-se necessária a determinação dos teores totais desses elementos como meio de confirmar se a eventual poluição do solo chegou a contaminar a planta.

As determinações dos elementos-traço foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica, usando o modo chama ar acetileno-óxido nitroso para Ba, Cr e Mo e chama ar acetileno para os demais elementos químicos, e definiram-se os elementos As, Se e Hg por gerador de hidretos.

Foi calculado o limite de detecção (LD), que se trata da menor concentração do elemento químico detectada no aparelho de espectrofotometria de absorção atômica, conforme método descrito em Giné-Rosias (1998).

Os resultados obtidos para os diferentes atributos avaliados foram submetidos à análise da variância pelo *software* Statistical Analysis System (SAS) (SAS INSTITUTE, 2009). Utilizou-se o teste de Duncan para comparação de médias ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados analíticos obtidos para teor total de elementos-traço (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn) nas amostras de solo foram comparados com os valores orientadores estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014) e pela Resolução CONAMA n° 420/09 (BRASIL, 2009) (Tabela 2).

O solo LVef apresentou teores de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn acima dos valores de referência de qualidade (VRQ) e nenhum dos elementos acima dos valores de prevenção (VP). O solo LVd exibiu teores de Cr

acima dos VRQ e nenhum dos elementos acima dos VP. Isso ocorreu mesmo no tratamento que não recebeu LE, o que significa que os materiais de origem desses solos já eram ricos em alguns elementos-traço ou foram contaminados pelo seu uso anterior.

Os dois solos estudados, conforme o art. 13 da Resolução n° 420 (BRASIL, 2009), que trata das classes de qualidade dos solos, são de classe 2, ou seja, são solos com concentrações de pelo menos um elemento químico maior que o VRQ e menor ou igual ao VP. Os dois latossolos apresentaram teores de elementos-traço abaixo dos valores de investigação (VI) agrícola, que são os mais restritivos.

Para todos os elementos-traço avaliados, os maiores teores totais foram encontrados no solo LVef, que é de textura argilosa, comparado com o solo LVd, que é de textura média. Essa diferença pode estar relacionada com os materiais de origem, maior teor de matéria orgânica e maior capacidade de troca de cátions (CTC). O solo LVef apresentou maior teor dos elementos-traço quando comparado ao solo LVd, embora, como já explicado, em condições de boa qualidade para uso agrícola.

Comparando-se as doses de LE aplicadas, observa-se que houve efeito do LE nas concentrações dos teores totais de Cu no solo LVef e

Tabela 2 - Teores totais de elementos-traço em latossolo vermelho eutroférico (LVef) e latossolo vermelho distrófico (LVd), na camada de 0-20 cm, em função das doses de lodo de esgoto (LE) na 16ª aplicação*.

Tratamentos	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
t ha ⁻¹ de LE	mg kg ⁻¹										
	LATOSSOLO VERMELHO eutroférico										
0	0,15 a	13,33 a	0,72 a	57,52 a	51,44 b	< 0,03	< 0,001	14,46 a	12,22 a	< 0,001	75,33 a
5	0,14 a	12,63 a	0,72 a	60,95 a	60,12 a	< 0,03	< 0,001	16,11 a	13,76 a	< 0,001	87,38 a
10	0,15 a	12,85 a	0,76 a	62,07 a	56,18 ab	< 0,03	< 0,001	16,37 a	13,40 a	< 0,001	90,48 a
20	0,14 a	13,10 a	0,77 a	63,18 a	57,24 ab	< 0,03	< 0,001	16,53 a	13,88 a	< 0,001	92,06 a
Média	0,15	12,98	0,74	60,93	56,24	-	-	15,86	13,32	-	86,32
CV%	19,5	33,4	6,7	11,9	8,5	-	-	11	8,4	-	20,6
	LATOSSOLO VERMELHO distrófico										
0	0,09 a	5,20 b	0,28 a	57,52 a	11,42 b	< 0,03	< 0,001	5,34 b	8,66 b	< 0,001	16,44 b
5	0,09 a	6,38 ab	0,32 a	57,68 a	13,98 ab	< 0,03	< 0,001	6,06 ab	9,66 ab	< 0,001	26,62 ab
10	0,11 a	9,00 a	0,34 a	62,86 a	17,94 a	< 0,03	< 0,001	7,28 a	11,36 a	< 0,001	39,56 a
20	0,09 a	9,44 a	0,31 a	60,68 a	17,98 a	< 0,03	< 0,001	7,04 ab	11,06 a	< 0,001	38,00 a
Média	0,96	7,46	0,31	59,69	15,33	-	-	6,44	10,18	-	30,15
CV%	18,4	33,1	23,4	13,9	24,1	-	-	18,9	15,9	-	33,9
Referência CETESB (2014)	3,5	7,5	< 0,5	40	35	0,05	< 4	13	17	0,25	60
Teor de Prevenção Resolução n° 420/2009 CONAMA	15	150	1,3	75	60	0,5	30	30	72	5	300
Teor de investigação agrícola / Resolução n° 420/2009 CONAMA	35	300	3	150	200	12	50	70	180	-	450

CV: coeficiente de variação; *médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan; CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente; As: arsênio; Ba: bário; Cd: cádmio; Cu: cobre; Cr: cromo; Hg: mercúrio; Mo: molibdênio; Ni: níquel; Pb: chumbo; Se: selênio; Zn: zinco.

de Ba, Cu, Ni, Pb e Zn no LVd. Esses resultados coincidem com outros trabalhos realizados nas mesmas áreas, no que se refere a elementos-traço (NOGUEIRA *et al.*, 2008; MERLINO *et al.*, 2010).

No solo LVef, o teor total de Cu variou de 51,44 a 60,12 mg kg⁻¹ em todos os tratamentos estudados, contudo o tratamento que recebeu dose de 5 t ha⁻¹ de LE apresentou maiores teores totais de Cu que a testemunha, sem incorporação de LE. Não houve diferença estatística entre os tratamentos com LE. Assim, mesmo que o LE utilizado apresente altas quantidades desse elemento, ele também pode ter sido fornecido pelo material de origem do solo, pois está presente em quantidades consideráveis em sua constituição mineralógica (FADIGAS *et al.*, 2006).

O solo LVef possui teores elevados de óxidos de Fe, que exercem papel essencial na complexação de elementos-traço em latossolos. Dessa forma, a adição de LE contribuiu para o aumento da capacidade de retenção de Cu pelo recobrimento de partículas de óxidos de Fe com matéria orgânica. Estudos realizados no 15º ano agrícola indicaram que os teores totais de Cu foram maiores nos tratamentos que receberam 10 e 20 t ha⁻¹ de LE nas profundidades 0 a 0,05 m e 0,10 a 0,20 m. No solo LVd, o teor total de Cu variou de 11,42 a 17,98 mg kg⁻¹ em todos os tratamentos estudados, entretanto foi maior nos tratamentos com doses de LE que na testemunha, somente com adubação mineral.

No solo LVd, o teor total de Ba variou de 5,2 a 9,44 mg kg⁻¹, em todos os tratamentos estudados, mas os tratamentos que receberam as doses de 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de LE apresentaram os maiores teores desse elemento no solo comparados ao tratamento testemunha. Isso possivelmente está relacionado ao tipo de solo, pela maior quantidade de argila no solo e maior adsorção dos elementos-traço. Ippolito e Barbarick (2006), ao monitorarem as concentrações pseudototais de Ba em solo que recebeu 10 aplicações bianuais de LE em doses de 0 a 26,8 t ha⁻¹ por aplicação, também observaram elevação do teor do metal no solo com o aumento das doses do resíduo. na 16ª aplicação.

A dose 10 t ha⁻¹ de LE provocou maior teor total de Ni no solo LVd e somente diferiu do tratamento testemunha. Rangel *et al.* (2004), avaliando o teor de Ni no solo após a adição de LE produzido na ETE de Barueri (SP) e de Franca (SP), constataram que os teores totais de Ni no solo nos três cultivos de milho sofreram grandes acréscimos nas parcelas adubadas com o LE de Barueri (378,7 mg kg⁻¹ LE, média das três remessas), comparados aos tratamentos com LE de Franca (75,6 mg kg⁻¹ LE, média das três remessas).

Os teores totais de Pb tiveram comportamento semelhante ao Ba e Cu no solo LVd, em que as doses de 10 e 20 t ha⁻¹ apresentaram os maiores valores, quando comparados aos da testemunha, sem incorporação de LE. Os valores variaram de 12,22 a 13,88 mg kg⁻¹ no LVef e de 8,66 a 11,36 mg kg⁻¹ no LVd. Marques *et al.* (1999), em experimento conduzido em casa de vegetação utilizando um latossolo vermelho

escuro distrófico adubado com LE e cultivado com sorgo granífero, verificaram acréscimo dos teores de Pb e Zn no solo, em razão das doses de LE empregadas.

Os teores de Zn variaram de 16,44 a 39,56 mg kg⁻¹ no solo LVd, e as doses de 10 e 20 t ha⁻¹ de LE proporcionaram os maiores valores em relação ao tratamento testemunha, o que evidencia que a adição do resíduo promoveu maior teor do elemento. Rangel *et al.* (2004), que também obtiveram aumentos nos teores totais de Zn num latossolo vermelho cultivado por três anos com milho e que recebeu aplicação de LE oriundo da ETE de Barueri, justificam esses acréscimos pelas altas concentrações desse metal no lodo.

Oliveira e Mattiazzo (2001) e Silva *et al.* (2001), ambos empregando doses de LE provenientes da ETE de Barueri na adubação da cultura de cana-de-açúcar, notaram aumentos lineares nos teores de Zn no solo. Pigozzo (2003), aplicando doses de LE da ETE da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), de Maringá (PR), em LVd por dois anos consecutivos, obteve incremento nos teores de Pb e Zn no solo e não verificou incremento nenhum nos teores de Cd.

Os teores dos elementos-traço As, Cr, Hg, Mo e Se nas amostras de plantas (colmo + folhas) de milho cultivadas nos solos tratados com LE se encontraram abaixo do limite de detecção do método analítico empregado (Tabela 3), impossibilitando apresentar os valores acumulados nas plantas de milho e indicando a baixa disponibilidade dos elementos-traço.

Para ambos os solos, LVd e LVef, as doses de LE aplicadas aumentaram as concentrações dos elementos químicos Cd, Ni, Pb e Zn nas amostras de planta (Tabela 3). Com relação aos teores de Ba e Cu, a concentração desses elementos químicos não foi alterada significativamente pelos tratamentos.

O teor de Cd nas plantas variou de 0,66 a 0,99 mg kg⁻¹ para o solo LVef e de 0,63 a 1,25 mg kg⁻¹ para o LVd e houve efeito de tratamentos. O LE aumentou os teores de Cd no que se refere à testemunha, mas não houve efeito da dose aplicada. Esses resultados estão de acordo com os observados por Reis (2014), em que os teores de Cd variaram de 0,11 a 0,13 mg kg⁻¹ em solo LVd após aplicação de LE por 15 anos consecutivos. Trannin, Siqueira e Moreira (2005) e Merlino *et al.* (2010) não notaram incrementos no teor de Cd em plantas de milho. Melo (2002), estudando os teores de Cd, Pb e Ni nessa mesma área, porém no terceiro ano de cultivo, não detectou teores de Cd e Pb nas plantas de milho.

Camilotti *et al.* (2007), ao avaliarem o comportamento de Cd, Cr e Ni no sistema solo-planta, não identificaram potencial de contaminação na cultura da cana-de-açúcar. na 16ª aplicação.

Os maiores teores de Zn na parte aérea das plantas de milho nos dois solos foram observados no tratamento com 20 t ha⁻¹ de LE, indicando a abundância na disponibilidade desse elemento químico no solo e a capacidade potencial do solo em fornecê-lo à planta. Anjos

(1999) verificou que o Zn foi, entre os elementos-traço estudados, o mais absorvido pelas plantas de milho nos tratamentos com LE. Rappaport *et al.* (1986), Defelipo *et al.* (1991) e Silva *et al.* (1998) também constataram aumento significativo dos teores de Zn, refletindo no acúmulo desse elemento nas parcelas que receberam LE. Segundo Galdos, Maria e Camargo (2004), é necessário o controle adequado dos teores de elementos-traço no solo sobre a carga onde o LE é aplicado.

Para que os elementos-traço existentes no solo sejam absorvidos e acumulados nas plantas, eles devem estar em formatos fitodisponíveis, e a fitodisponibilidade depende de constituintes orgânicos e inorgânicos, como óxidos de Fe e Al, silicatos, fosfatos e carbonatos, além de várias propriedades do solo, como pH, CTC, teor de matéria orgânica, teor de óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn, atividade biológica, entre outras.

Mesmo em solos contaminados com elementos tóxicos, a absorção e o acúmulo de elementos-traço pelas plantas são, muitas vezes, pouco afetados, dado o poder tamponante do solo, formando quelatos com vários elementos. Porém essa propriedade é variável nos inúmeros tipos de solo, sendo maior em solos mais ricos em óxi-hidróxidos de Fe e de Al e em matéria orgânica e menor em solos de textura arenosa.

O método analítico empregado para análise quantitativa dos elementos-traço em estudo permitiu quantificar apenas os teores de Cu,

Ni, Se e Zn nas amostras de grãos de milho, sendo os demais resultados mostrados pelo limite de quantificação (Tabela 4).

Em geral, os grãos de milho de plantas cultivadas em solos com incorporação de LE apresentaram teores dos elementos-traço abaixo do limite máximo de tolerância em alimentos estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1965).

Quanto ao teor de Ni nos grãos de milho cultivados no solo LVef, houve diferença entre os tratamentos. As doses de 10 e 20 t ha⁻¹ de LE foram maiores do que as do tratamento de 5 t ha⁻¹ e a do testemunha. Já no solo LVd, não se viu diferença entre os tratamentos com LE, mesmo com o cultivo após 16 anos de incorporação do LE. O teor de Ni variou de 0,88 a 1,69 mg kg⁻¹ no solo LVef e de 0,85 a 1,81 mg kg⁻¹ no solo LVd.

Para o solo LVd, o teor de Zn variou de 18,37 a 26,03 mg kg⁻¹ e houve efeito significativo das doses de LE, uma vez que a dose de 20 t ha⁻¹ apresentou maior teor nos grãos de milho. Esses valores encontram-se entre os valores preditos pela ANVISA (1965) como aceitáveis para comercialização e consumo humano (50,0 mg kg⁻¹).

Os teores de Zn nos grãos de milho para os dois solos estiveram abaixo do limite máximo permitido em grãos (matéria seca) de cereais (Zn = 50,0 mg kg⁻¹), conforme a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA, 1985), e abaixo dos níveis permitidos em produtos agrícolas (Zn = 300,0 mg kg⁻¹), de acordo com Sopper (1993).

Tabela 3 - Teores de elementos-traço em plantas de milho cultivadas em latossolo vermelho eutroférico (LVef) e latossolo vermelho distrófico (LVd), em função das doses de lodo de esgoto (LE) na 16ª aplicação*.

Tratamentos	As	Ba	Cd	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
t ha ⁻¹ de LE	mg kg ⁻¹										
	LATOSSOLO VERMELHO eutroférico										
0	< 0,001	2,27 a	0,66 b	1,46 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,11 b	0,04 c	< 0,001	10,99 c
5	< 0,001	2,30 a	0,86 ab	1,61 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,14 b	0,08 c	< 0,001	15,79 bc
10	< 0,001	2,13 a	0,71 ab	1,54 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,16 ab	0,20 b	< 0,001	20,31 b
20	< 0,001	2,93 a	0,99 a	1,84 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,24 a	0,38 a	< 0,001	31,89 a
Média	-	2,16	0,80	1,61	-	-	-	0,16	0,18	-	19,74
CV%	-	25,6	27,1	19,9	-	-	-	38,8	28,2	-	26,4
	LATOSSOLO VERMELHO distrófico										
0	< 0,001	2,44 a	0,63 b	1,69 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,24 b	0,39 b	< 0,001	12,13 b
5	< 0,001	3,01 a	1,05 a	1,75 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,29 b	0,51 a	< 0,001	12,70 b
10	< 0,001	3,42 a	1,11 a	2,00 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,30 b	0,51 a	< 0,001	15,74 b
20	< 0,001	3,75 a	1,25 a	2,08 a	< 0,04	< 0,03	< 0,001	0,70 a	0,52 a	< 0,001	20,54 a
Média	-	3,15	1,01	1,88	-	-	-	0,38	0,51	-	15,28
CV %	-	31,9	15,6	18,9	-	-	-	42,1	36,2	-	20,8

CV: coeficiente de variação; *médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan; As: arsênio; Ba: bário; Cd: cádmio; Cu: cobre; Cr: cromo; Hg: mercúrio; Mo: molibdênio; Ni: níquel; Pb: chumbo; Se: selênio; Zn: zinco.

Tabela 4 - Teores de elementos-traço em grãos de milho cultivados em latossolo vermelho eutroférico (LVef) e latossolo vermelho distrófico (LVd), em função das doses de lodo de esgoto (LE) na 16ª aplicação*.

Tratamentos	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
t ha ⁻¹ de LE	----- mg kg ⁻¹ -----										
	LATOSSOLO VERMELHO eutroférico										
0	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	2,25 a	< 0,03	< 0,001	0,88 b	< 0,12	0,62 a	30,11 a
5	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	1,84 a	< 0,03	< 0,001	0,89 b	< 0,12	0,68 a	28,83 a
10	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	2,50 a	< 0,03	< 0,001	1,40 ab	< 0,12	0,63 a	35,13 a
20	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	1,85 a	< 0,03	< 0,001	1,69 a	< 0,12	0,75 a	38,05 a
Média	-	-	-	-	2,11	-	-	1,21	-	0,67	33,03
CV%	-	-	-	-	23,5	-	-	39,7	-	21,5	23,5
	LATOSSOLO VERMELHO distrófico										
0	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	1,60 a	< 0,03	< 0,001	0,85 b	< 0,12	0,36 a	18,37 b
5	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	1,40 a	< 0,03	< 0,001	1,57 ab	< 0,12	0,59 a	18,91 b
10	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	1,30 a	< 0,03	< 0,001	1,14 ab	< 0,12	0,59 a	20,90 b
20	< 0,001	< 0,015	< 0,11	< 0,04	1,49 a	< 0,03	< 0,001	1,81 a	< 0,12	0,69 a	26,03 a
Média	-	-	-	-	1,45	-	-	1,35	-	0,56	21,05
CV%	-	-	-	-	24,3	-	-	38,6	-	41,9	16,9
LMT em alimentos - ANVISA (1965)	-	-	-	-	30	-	-	5,0	-	1,0	50,0

CV: coeficiente de variação; LMT: limite máximo de tolerância em alimentos; ANVISA: Agência de Vigilância Sanitária; *médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan; As: arsênio; Ba: bário; Cd: cádmio; Cu: cobre; Cr: cromo; Hg: mercúrio; Mo: molibdênio; Ni: níquel; Pb: chumbo; Se: selênio; Zn: zinco.

Os teores de Cu nos grãos de milho variaram de 1,84 a 2,50 mg kg⁻¹ para o solo LVef e de 1,30 a 1,60 mg kg⁻¹ para o solo LVd. Esses resultados correspondem aos obtidos em trabalho anterior desenvolvido por Reis (2014): após 15 anos de aplicação de LE em solo LVd, as concentrações de Cu em grãos de milho variaram na faixa 1,12–2,34 mg kg⁻¹, não apresentando diferença entre as médias dos tratamentos.

Gomes *et al.* (2006), avaliando a distribuição de elementos-traço em partes (colmo, folhas, pendão, palha e grãos) de plantas de milho cultivadas em argissolo tratado com LE, verificaram, com exceção do colmo, pelo tratamento 15,4 t ha⁻¹ de LE, que não foi detectada a presença de Cd. na 16ª aplicação.

De todos os elementos-traço avaliados, as concentrações de Zn nos grãos de milho foram maiores quando comparadas à dos demais elementos. Além disso, em relação ao Zn acumulado no milho, observaram-se maiores valores presentes nos grãos do que nas plantas. Nogueira *et al.* (2010) também verificaram a existência de escala decrescente na ordem de grandeza dos valores acumulados de Zn (grãos > folhas > colmo > sabugo > palha) para todos os tratamentos. Melo (2002) encontrou distribuição semelhante para Zn em plantas de milho no terceiro ano de cultivo nessa mesma área de estudo. Anjos (1999) percebeu que

as quantidades absorvidas de Zn foram maiores nos grãos, seguidos pelo colmo, tanto nos tratamentos testemunha quanto nos tratamentos que receberam LE.

Neste trabalho, objetivou-se estudar os efeitos das aplicações anuais de LE no acúmulo de elementos-traço no solo e em plantas de milho, entretanto, em avaliações de campo, é importante ressaltar que não foram apontados efeitos de fitotoxicidade nas plantas.

CONCLUSÕES

A aplicação de 10 e 20 t ha⁻¹ de LE, matéria seca, aumentou os teores totais de Cu no LVef e de Cu, Ni, Pb e Zn no solo LVd, entretanto sem ultrapassar os VP estabelecidos pela legislação brasileira, em termos de qualidade do solo agrícola.

Os teores de Cd, Ni, Pb e Zn na parte aérea de plantas de milho cultivadas em LVd e LVef aumentaram com a aplicação de LE, mas não houve diferença entre doses de 5, 10 e 20 t ha⁻¹.

À exceção do Ni, os teores de elementos-traço nos grãos de milho permaneceram abaixo dos limites estabelecidos para o consumo humano, quando cultivados nos dois solos estudados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). (1965) *Decreto nº 55.871*, de 26 de março de 1965. Brasil: ANVISA.
- ANJOS, A.R.M. (1999) *Lixiviação de espécies químicas em latossolos sucessivamente tratados com lodo de esgoto e disponibilidade de elementos-traço para plantas de milho*. 191f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. (2000) Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido. *Scientia Agricola*, v. 57, n. 4, p. 769-776. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000400027>
- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. (2001) 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000200017>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS (ABIA). (1985) *Compêndio da legislação dos alimentos*. São Paulo: ABIA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004) *ABNT NBR 10004*. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT.
- BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. (2004) Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – Disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 557-568. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300016>
- BRASIL. (2006) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375. Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. *Diário Oficial da União*, Brasília. 32 p.
- BRASIL. (2009) Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 420*. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: Conama.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. (2001) Reações dos Micronutrientes e Elementos Tóxicos no Solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; ABREU, C.A. (orgs.). *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq, FAPESP, POTAFOS. 600 p.
- CAMILOTTI, F.; MARQUES, M.O.; ANDRIOLI, I.; SILVA, A.R.; TASSO JUNIOR, L.C.; NOBILE, F.O. (2007) Acúmulo de elementos-traço em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, p. 284-293. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000100023>
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (2014) *Decisão de diretoria nº 045/2014 para valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB.
- DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A.V.; LOURES, E.G.; ALVAREZ V.H. (1991) Eficiência agrônômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, n. 3, p. 389-393.
- ESSINGTON, M.E. (2004) *Soil and water chemistry: an integrative approach*. Boca Raton: CRC Press. 534 p.
- FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, M.N.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. (2006) Proposição de valores de referência para concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 699-705. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000300024>
- GALDOS, M.V.; MARIA, I.C. de.; CAMARGO, O.A. (2004) Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 569-577. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300017>
- GINÉ-ROSIAS, M.F. (1998) *Espectrofotometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES)*. Piracicaba: CENA. 148 p. (Série Didática, v. 3.)
- GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.A. (2006) Distribuição de elementos-traço em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. *Ciência Rural*, v. 36, n. 6, p. 1689-1695. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000600004>
- IPPOLITO, J.A.; BARBARICK, K.A. (2006) Biosolids affect soil barium in a dryland wheat agroecosystem. *Journal Environmental Quality*, v. 35, n. 6, p. 2333-2341. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0076>
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. (2001) *Trace elements in soils and plants*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press. 413 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.
- MANTOVANI, J.R.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; ALVES, W.L. (2004) 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000400011>
- MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; BELLINGIERI, P.A.; OLIVEIRA, F.C.; PERECIN, D. (1999) Elementos-traço em solo acrescido de lodo de esgoto e em plantas de sorgo granífero. *Científica*, v. 27, n. 1/2, p. 13-29.
- MCBRIDE, M.B. (1994) *Environmental chemistry of soils*. Nova York: Oxford University Press. 406 p.
- MCBRIDE, M.B. (1995) Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective? *Journal of Environmental Quality*, v. 24, n. 1, p. 5-18. <http://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400010002x>

- MELO, V.P. (2002) *Propriedade química e disponibilidade de elementos-traço para a cultura do milho em dois Latossolos que receberam a adição de biossólidos*. 134f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal. 2
- MELO, W.J. (1974) *Variação do N-amoniaco e N-nítrico em um Latossolo Roxo cultivado com milho (Zea mays L.) e com labe-labe (Dolichos lab lab L.)*. 104f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. (2001) O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (orgs.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, p. 289-363.
- MERLINO, L.C.S.; MELO, W.J.; MACEDO, F.G.; GUEDES, A.C.T.P.; RIBEIRO, M.H.; MELO, V.P.; MELO, G.M.P. (2010) Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 34, n. 6, p. 2.031-2.039. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600027>
- NOGUEIRA, T.A.R.; MELO, W.J.; FONSECA, I.M.; MARQUES, M.O.; HE, Z.L. (2010) Barium uptake by maize plants as affected by sewage sludge in a long-term field study. *Journal of Hazardous Materials*, v. 181, n. 1-3, p. 1148-1157. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.138>
- NOGUEIRA, T.A.R.; OLIVEIRA, L.R.; MELO, W.J.; FONSECA, I.M.; MELO, G.M.P.; MELO, V.P.; MARQUES, M.O. (2008) Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, n. 5, p. 2.195-2.207. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500040>
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. (2001) Mobilidade de elementos-traço em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 4, p. 807-812.
- OLIVEIRA, L.R. (2008) *Elementos-traço e atividade enzimática em Latossolos tratados com lodo de esgoto e cultivados com milho*. 108f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- PIERZYNSKI, G.M.; SIMS, J.T.; VANCE, G.F. (1994) *Soils and environmental quality*. Boca Raton: Lewis. 313 p.
- PIGOZZO, A.T.J. (2003) *Disposição de lodo de esgoto: acúmulo de elementos-traço no solo e em plantas de milho (Zea mays L.)*. 200f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.
- RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (1997) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. 285 p. (Boletim Técnico, 100.)
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L.R.G.; DYNIA, J.F. (2004) 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*, v. 28, n. 1, p. 15-23. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542004000100002>
- RAPPAPORT, B.D.; MARTENS, D.C.; SIMPSON, T.W.; RENEAU JR., R.B. (1986) Prediction of available zinc in sewage sludge-amended soils. *Journal of Environmental Quality*, v. 15, n. 2, p. 133-136. <https://doi.org/10.2134/jeq1986.00472425001500020009x>
- REIS, I.M.S. (2014) *Cádmio, cobre e cromo em solo e plantas de milho após quinze anos de aplicações anuais de lodo de esgoto*. 63f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- REVOREDO, M.D.; MELO, W.J. (2006) Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. *Bragantia*, v. 65, n. 4, p. 679-685. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000400019>
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. (1974) *Análise química em plantas*. Piracicaba: ESALQ. 56 p.
- SAS INSTITUTE. (2009) *SAS/STAT: User's Guide*. Versão 9.2. Cary: SAS Institute. 7869 p.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. (2001) Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500014>
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. (1998) Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, elementos-traço e produtividade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 1, p. 1-8.
- SOPPER, W.E. (1993) *Municipal sludge use in land reclamation*. Nova York: Lewis. 163 p.
- SPARKS, D.L. (1995) *Environmental soil chemistry*. San Diego: Academic Press. 267 p.
- TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. (2005) Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 3, p. 261-269. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300010>
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). (1996) *Acid digestion of sediments, sludges and soils*. Method 3050. Washington, DC.: EPA. 12 p.
- VITTI, G.C. (1989) *Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta*. Jaboticabal: FUNEP. 37 p.
- VOLPE, C.A.; CUNHA, A.R. (2008) *Dados meteorológicos de Jaboticabal no período de 1971-2000*. Jaboticabal: Comissão de Assuntos Relevantes da Câmara Municipal de Jaboticabal. 60 p.