



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## METAIS PESADOS EM UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE LODO DE ESGOTO

Greyce Charllyne Benedet Maas<sup>1</sup>, Oscarlina Lúcia dos Santos Weber<sup>2</sup>, Walcylyene Lacerda Matos Pereira Scaramuzza<sup>3</sup>, Kelly Dayana Benedet Maas<sup>4</sup>, Francelo Mognon<sup>5</sup>

### RESUMO

Este trabalho avalia a influência do uso de doses crescentes de lodo de esgoto nos teores Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni, Cb e Cr em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico. O experimento foi realizado em casa-de-vegetação em colunas de lixiviação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram quatro doses de lodo, equivalentes a 0 (testemunha); 2,5; 5 e 7,5 t.ha<sup>-1</sup> de lodo seco. O uso de doses crescentes de lodo de esgoto aumentou os teores de manganês e cobre disponíveis no solo, mas não alterou os teores de ferro e zinco. As concentrações dos metais Cd, Ni, Pb e Cr estiveram abaixo do limite de detecção da técnica de Espectrometria de Raios X por Dispersão em Energia, portanto, não representaram risco de contaminação do solo, possivelmente pela baixa concentração no lodo utilizado.

**Palavras-chave:** contaminação; colunas; biossólido.

### HEAVY METALS IN AN OXISOL AMENDED WITH INCREASING LEVELS OF SEWAGE SLUDGE

#### ABSTRACT

This study evaluates the influence of increasing sewage sludge levels on the concentration of heavy metals in an Oxisol. The experiment was established in a greenhouse using columns of lixiviation, by means of a completely randomized experimental design with four repetitions. The treatments were four sludge dosages, as follows: 0 (control); 2.5; 5.0 and 7.5 t.ha<sup>-1</sup> (dry weight). Increased sludge level increased manganese and copper available in the soil, but no change in iron and zinc were noticed. The concentrations of metals Cd, Ni, Pb and Cr were below the detection limit of X-ray Energy-dispersive Spectrometry, therefore, heavy metals did not represent risk of soil contamination due to the low concentration of sludge used in the study.

**Keywords:** contamination; columns; biosolids.

<sup>1</sup> Tecnóloga Ambiental. Doutoranda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná – UFPR - Av. Lothário Meissner, 3400, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba/PR, greycemaas@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Engenheira agrônoma e Química. Dra. Docente do Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical (UFMT) - Av. Fernando Corrêa, s/n, CEP 79060-900, Cuiabá/MT, oscsanwb@cpd.ufmt.br.

<sup>3</sup> Engenheira agrônoma. Dra. Docente do Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical (UFMT). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Av. Fernando Corrêa, s/n, CEP 79060-900, Cuiabá/MT, walcylyene@ufmt.br.

<sup>4</sup> Tecnóloga Ambiental. Doutoranda em Agricultura Tropical (UFMT). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Av. Fernando Corrêa, s/n, CEP 79060-900, Cuiabá/MT, kelly\_bmaas@hotmail.com.

<sup>5</sup> Biólogo. Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná – UFPR - Av. Lothário Meissner, 3400, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba/PR, ocelo75@yahoo.com.br.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os resíduos originados no setor de saneamento, destaque é dado ao lodo de esgoto, que é produzido em grandes quantidades e vem sendo utilizado para recuperar solos degradados, onde disponibiliza os nutrientes necessários para o desenvolvimento de culturas agrícolas e florestais. Apesar dos benefícios do uso do lodo como fertilizante, alguns elementos presentes nesse resíduo, dentre eles os metais pesados, podem causar contaminação do solo e, conseqüentemente do lençol freático.

Até recentemente o Brasil não dispunha de uma regulamentação oficial quanto aos níveis máximos de substâncias químicas no solo, sendo necessário utilizar índices como o americano proposto pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA). Alguns autores também utilizavam como níveis para referência de comparação, os valores orientadores de metais pesados no solo da Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo – CETESB. Contudo, em dezembro de 2009 foi publicada a Resolução CONAMA nº 420 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas.

A Resolução estabelece que os Valores de Referência de Qualidade (VRQs) do solo para substâncias químicas

naturalmente presentes sejam estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, em até quatro anos após a publicação da Resolução. O VRQ como definido na própria Resolução é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos. O Estado do Mato Grosso ainda não possui os VRQs.

O Valor de Prevenção (VP) é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais; e o Valor de Investigação (VI) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Os principais riscos associados à utilização agrícola do lodo referem-se à presença de metais pesados, aspectos sanitários, micropoluentes orgânicos e nitrogênio, sendo que, tanto os metais quanto os agentes patogênicos tendem a co-precipitar com o esgoto e se concentrar no lodo (FERREIRA e ANDREOLI, 1999).

A concentração de metais pesados do lodo é um dos controles fundamentais

para seu uso seguro. Alguns são micronutrientes necessários às plantas como cobre (Cu) e zinco (Zn). Outros além de não serem necessários podem se acumular no solo em níveis tóxicos às plantas e ao homem (SANEPAR, 1997).

Os metais pesados não apenas exercem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, mas também afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, a mineralização do nitrogênio e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados (TSUTIYA, 2001).

No solo, reações de adsorção, complexação, oxidação-redução e precipitação controlam a disponibilidade e solubilidade dos metais. Desse modo, o estudo do aproveitamento agrícola de resíduos urbanos contendo metais pesados se reveste de grande importância, na medida em que se busca reduzir resíduos poluentes sem, contudo poluir o ecossistema (DIONISIO et al., 1999).

Segundo Doménech (1998) certos componentes do solo têm papel depurador, os quais retêm os contaminantes a partir de fenômenos de adsorção física ou de interação química. Nesse sentido, merece destaque a função que exercem as substâncias húmicas do solo, as quais são capazes de fixar uma variedade de

substâncias, em particular cátions polivalentes como os metais pesados. Mas o solo possui uma capacidade limitada de autodepuração.

Os micronutrientes podem reagir de diversas maneiras, variando as formas que permanecem no solo tanto das suas características químicas quanto das características do próprio solo. Assim, apresentando os tipos de reações que acompanham a aplicação de um determinado micronutriente ao solo, pode-se definir a sua mobilidade, lixiviação, efeito residual, bem como a sua disponibilidade as plantas a curto e longo prazo (MOTTA; SERRAT; REISMANN, 2007).

Pela pouca presença de trabalhos básicos realizados no Brasil referente ao uso do lodo de esgoto, há necessidade de se dar maior importância ao estudo da química dos elementos no solo. É preciso reunir informações científicas para entender melhor como esses elementos se comportam em diferentes situações (RAIJ, 2001).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do uso de doses crescentes de lodo de esgoto na concentração dos metais Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb e Cr em um LATOSSOLO VERMELHO Distróférrico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Amostragem do solo**

O solo utilizado foi classificado pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (EMBRAPA, 2009), A moderado, textura argilosa, com 45 e 47 % de argila, respectivamente, nos horizontes Ap (0 a 0,15 m) e AB (0,15 a 0,40 m). O local é pertencente ao Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), campus Cuiabá e pertence ao bioma Cerrado.

Coletaram-se amostras indeformadas de solo em colunas de lixiviação (tubos de PVC com 110 mm de diâmetro e 0,35 m de altura), utilizando-se tubos empregados para encanamento de água por serem mais resistentes, evitando a possibilidade de quebra durante a coleta. Os tubos foram ranhurados em seu interior com auxílio de lixa ferro no sentido contrario ao escoamento da água para evitar a ocorrência de caminho preferencial do lixiviado.

Primeiramente, a área escolhida para coleta foi limpa e em seguida foi aberta uma trincheira de 0,30 x 0,30 x 0,30 m. Ao lado da trincheira, os tubos foram cravados no solo até a profundidade de 0,30 m. Posteriormente, o solo em torno da coluna foi retirado para facilitar a extração da coluna de solo. As colunas foram fechadas em sua base com telas de nylon

(sombrite) presas com borracha para minimizar perdas de material da amostra.

As colunas foram então envoltas em sacos plásticos e acondicionadas na posição vertical para que durante o transporte não houvesse alterações em sua estrutura até a chegada ao local da realização do experimento.

### **Coleta e caracterização do lodo de esgoto**

O lodo foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Sanecap (Companhia de Saneamento da Capital – MT) do Núcleo Habitacional Sucuri de Cuiabá. A estação conta com sistema UASB, chamado no Brasil de DAFA (Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente) de tratamento de esgoto. Procedeu-se à coleta nos tubos de controle de nível do lodo de esgoto do sistema. A análise do lodo seguiu a metodologia descrita pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para análise de fertilizantes orgânicos (BRASIL, 2007) e os resultados estão na Tabela 1.

### **Ensaio**

Em casa-de-vegetação da Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, as colunas foram dispostas em suportes de madeira. As colunas foram identificadas, conforme a dose e repetição. Concluída a etapa de

preparação das colunas iniciou-se a aplicação das doses de lodo. O lodo líquido, previamente analisado, foi aplicado nos tubos nas quatro doses (0;

2,5; 5 e 7,5 t.ha<sup>-1</sup>), simulando a disposição do resíduo na superfície.

**Tabela 1** – Características do lodo de esgoto

Determinação	Unidade	Matéria natural	Matéria seca
pH CaCl <sub>2</sub>	-	6,8	-
Umidade (a 65° C)		97,54	-
Umidade (a 105° C)		97,66	-
Nitrogênio total		1,74	74,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	%	0,03	1,09
K <sub>2</sub> O total		0,01	0,52
Cálcio (Ca) total		0,02	0,71
Magnésio (Mg) total		0,00	0,16
Enxofre (S) total		0,01	0,60
Zinco (Zn) total		11,30	483,73
Cobre (Cu) total		2,17	92,89
Manganês (Mn) total		3,51	150,26
Boro (B) total		4,48	191,87
Ferro (Fe) total	mg.kg <sup>-1</sup>	523	22367,29
Cádmio		-	<0,0004
Níquel		-	0,9
Chumbo		-	1,0
Cromo		-	16,6
Alumínio		-	185,3
Sódio total	mg.L <sup>-1</sup>	40	-
Matéria Orgânica		11,52	-

Para o cálculo da quantidade de lodo necessária foi realizada análise da densidade, possibilitando a aplicação da quantidade equivalente a quantidade de lodo seco. As colunas ficaram em repouso durante 10 dias após a aplicação do lodo. Passado esse período, sobre cada coluna foi aplicada água destilada simulando a quantidade de chuva observada na região de Cuiabá no mês mais chuvoso do ano (210 mm de chuva em janeiro), sendo, portanto, aplicados a cada 10 dias 550 mL

de água (quatro aplicações), em cada coluna. Foram realizadas ao todo quatro aplicações de chuva simulada, sendo que o líquido percolado foi coletado em garrafas plásticas dispostas abaixo de cada coluna. Terminada a aplicação de chuva simulada o solo foi retirado das colunas de PVC para análise.

Os atributos químicos do solo foram obtidos a partir de análises de rotina feitas no Laboratório de Solos da FAMEV de acordo com a metodologia proposta

pela EMBRAPA (1997). Para a realização de análise multielementar visando a identificação e quantificação de metais pesados totais (Cd, Ni, Cr e Pb) foi utilizada a técnica de Espectrometria de Raios X por Dispersão em Energia (EDXRF). Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis foram extraídos em solução Mehlich-1 e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica.

### Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo que os tratamentos foram quatro doses de lodo de esgoto, equivalentes a 0 (Testemunha); 2,5 (Dose 1); 5 (Dose 2) e 7,5 t.ha<sup>-1</sup> (Dose 3).

As análises estatísticas foram realizadas empregando-se o software

STATISTICA 5.0, no qual foi feita a avaliação da normalidade dos resíduos utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk. Posteriormente, para a avaliação da homogeneidade das variâncias procedeu-se o Teste de Bartlett e quando necessário os dados foram transformados. Em seguida foi empregada a análise de variância (ANOVA). Os dados quantitativos foram analisados empregando-se análise de regressão.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2 e 3 abaixo apresentam respectivamente as características avaliadas no solo submetido a doses crescentes de lodo de esgoto e as equações de regressão obtidas entre as doses de lodo de esgoto aplicadas e as características avaliadas no solo.

**Tabela 2** – Características avaliadas no solo submetido a doses crescentes de lodo de esgoto.

Dose t.ha <sup>-1</sup>	pH	MO cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Mn mg.dm <sup>-3</sup>	Cu mg.dm <sup>-3</sup>
0	5,96	1,84	5,17	1,14
2,5	5,94	2,01	7,00	1,25
5	5,83	2,11	7,59	1,27
7,5	5,72	2,20	9,68	1,49

**Tabela 3** – Equações de regressão obtidas entre as doses de lodo de esgoto aplicadas e as características avaliadas no solo.

Característica	Equação	R <sup>2</sup>
pH	$\hat{Y} = -0,033x + 5,992$	0,94
MO (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	$\hat{Y} = 0,046x + 1,872$	0,97
Mn (mg.dm <sup>-3</sup> )	$\hat{Y} = 0,564x + 5,248$	0,96
Cu (mg.dm <sup>-3</sup> )	$\hat{Y} = 0,042x + 1,132$	0,89

### **Atributos químicos (pH e matéria orgânica)**

A concentração de matéria orgânica aumentou linearmente em relação às doses de lodo de esgoto, e o pH diminuiu linearmente em relação as doses aplicadas, conforme pode ser observado na Tabela 2. As equações de regressão encontram-se na Tabela 3.

### **Metais**

Não houve alteração nos teores de ferro no solo em função das aplicações de lodo de esgoto, apesar de o Fe ter sido um dos elementos mais abundantes encontrados no lodo de esgoto estudado, com aproximadamente  $22,5 \text{ g.kg}^{-1}$ .

Segundo Motta, Serrat e Reismann (2007), assim como o Mn, o Fe quando aplicado ao solo, se encontra em quantidade muito baixa em solução, sendo que isso se deve a oxidação da forma reduzida de  $\text{Fe}^{+2}$ , sendo essa, sem dúvida, a mais importante reação para o Fe, interferindo na eficiência e no efeito residual do Fe aplicado, mesmo quando aplicado em altas doses. Assim, a rápida formação de compostos de baixa solubilidade no solo através de oxidação deixa muito pouco deste elemento em solução, conseqüentemente menos sujeito a lixiviar. Além disso, a matéria orgânica contida no biossólido pode ter complexado o ferro, tornando-o indisponível, devido a

sua grande afinidade às substâncias húmicas (SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2010).

O manganês, em comparação ao ferro, não esteve em altas quantidades no lodo de esgoto estudado (Tabela 1), mas ainda assim o teor desse elemento aumentou linearmente (Tabelas 2 e 3) em relação às doses de lodo aplicadas.

Semelhantemente ao que acontece com o  $\text{Fe}^{+2}$ , o  $\text{Mn}^{+2}$  (forma reduzida) aplicado ao solo difere do  $\text{Mn}^{+4}$  (forma oxidada), mais frequentemente observado nos solos, e está sujeito à oxidação (MOTTA; SERRAT; REISMANN, 2007). Segundo o mesmo autor, o efeito residual do Mn é curto, indicando que as reações do elemento com a matéria orgânica são mais fracas ou os compostos formados tem maior solubilidade e disponibilidade que os de Fe, fato esse que pode explicar porque houve aumento na disponibilidade do Mn, mas não houve aumento significativo para o Fe.

O pH do solo é fator primário responsável pela quantidade de manganês disponível no solo (COELHO, 1973). Sendo assim, a diminuição do pH também pode ter influenciado o aumento do nível de manganês. Como exemplo disso tem-se o trabalho de Simonete e Kiehl (2002) que atribuíram o aumento da concentração de Mn a diminuição do pH e a quantidade de Mn nativo no solo.

Os teores de cobre aumentaram linearmente em relação à dose de lodo aplicada, com variação de 1,14 na Testemunha (Dose 0) a 1,49 mg dm<sup>-3</sup> na maior dose (Tabelas 2 e 3). O leve aumento na acidez do solo provocado pelo uso do lodo de esgoto pode ter influenciado nos teores disponíveis de cobre. Messias et al. (2007) observaram a mesma tendência do Cu em relação ao pH, possivelmente porque, segundo Coelho (1973) o teor de cobre é aumentado com o aumento da acidez.

Outro fator que pode ter influenciado o aumento nos teores de cobre segundo Camargo et al. (2006) é a mineralização da matéria orgânica, que pode liberar cobre para a solução. Apesar do aumento, os teores de cobre estiveram muito abaixo do valor de referência do solo (60 mg.kg<sup>-1</sup>) estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009.

Semelhante ao ferro, o zinco apesar de estar em elevada quantidade no lodo de esgoto utilizado (483 mg.kg<sup>-3</sup> em matéria seca) não teve alterações em relação à dose de lodo aplicada. Segundo Ferraz et al. (2010), o Zn possui um alto efeito residual em solos muito intemperizados, ligando-se preferencialmente a fração argila. De acordo com Silveira (2002), aliado ao seu alto poder residual, o Zn tem uma alta afinidade pela matéria orgânica.

Oliveira (1995), estudando o efeito de doses de lodo de esgoto (0, 50, 100 e 150 t ha<sup>-1</sup>) em NEOSSOLO Quartzarênico e NITOSSOLO sob dois níveis de pH, observou aumento na disponibilidade de zinco para a maior dose aplicada, sendo que a maior dose utilizada no presente experimento foi de apenas 7 t.ha<sup>-1</sup>.

Para Motta, Serrat e Reismann (2007) a predominância da adsorção específica com elevada força para o zinco dá a ele baixa mobilidade no solo, baixa recuperação por extratores químicos, baixos teores em solução, alto efeito residual e efeito acumulativo quando aplicado continuamente no solo.

Gadde e Laitinen (1974) citados por Camargo (2006), mostraram que os óxidos de ferro e manganês adsorvem uma quantidade considerável de zinco, e esta adsorção é específica. O zinco teve níveis bem abaixo dos considerados tóxicos (25 a 94 mg.kg<sup>-1</sup>) para culturas como arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo sob cerrado (FAGERIA, 2000).

As concentrações dos metais Cd, Ni, Pb e Cr estiveram abaixo do limite de detecção da Técnica de Espectrometria de Raios X por Dispersão de Energia, portanto, bem abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 que estabelece valores orientadores de qualidade do solo. Oliveira e Mattiazzo (2001), Simonete e Kiehl



(2002) e Pigozzo et al. (2004) também não observaram presença desses metais e por consequência não obtiveram resultados conclusivos sobre a retenção dos mesmos.

## CONCLUSÕES

A aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveu o aumento do teor de manganês e cobre no solo, mas não alterou a concentração de ferro e zinco. Os metais Cd, Ni, Pb e Cr não representaram risco de contaminação do solo possivelmente pela baixa concentração no lodo utilizado.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Métodos Analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. **Instrução Normativa nº 28**, de 27 de Julho de 2007.
- CAMARGO, O. A. de. Reações e interações de micronutrientes no solo. **Infobibos**, 2006. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_3/micronutrientes/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm)>. Acesso em: 10 nov. 2010.
- COELHO, F. S. **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 420/2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 25 out. 2010.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR: **Manual Técnico para utilização agrícola**

- do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba: Sanepar, 1997. 96p.
- DIONISIO, J. A. et al. Efeito do lodo de esgoto na densidade populacional de organismos do solo. In: ANDREOLLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (Org.). **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar, Finep, 1999. p.193-204.
- DOMÉNECH, X. **Química ambiental: El impacto ambiental de los residuos**. 4. ed. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Miraguano Ediciones, 1998, 254p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.
- FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.390-395, Campina Grande, 2000.
- FERRAZ, F. M.; INOCÊNCIO, M. F.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; VELOSO, M. P. Teores de zinco em solo em função da fonte e forma de aplicação na cultura da soja em Sete Lagoas, MG. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 29., 2010, Guarapari. *Anais...* Guarapari: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

- FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: LARA, A. I. et al. (Org.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: SANEPAR/PROSAB, 1999. p.21-26.
- MESSIAS, A. S.; SILVA, H. A.; LIMA, V. N.; SOUZA, J. E. G. Avaliação da mobilidade de micronutrientes em solo tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Gestão e desenvolvimento Regional**, v.3, n.3, p.193-211, 2007.
- MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M. REISMANN, C. B. (Ed.) **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: UFPR, 2007. 242p.
- OLIVEIRA, F. C. *Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto*. 1995. 91 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um LATOSSOLO AMARELO Distroférico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana de açúcar. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, 2001.
- PIGOZZO, A. T. J.; GOBBI, M. A.; SCAPIN, C. A.; LENZI, E.; JUNIOR, L. J.; BREDA, C. C. Disponibilidade de metais de transição no solo tratado com lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.4, p.443-451, 2004.
- RAIJ, B. V. Pesquisa e desenvolvimento em micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, et al (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPQ/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.1-10.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica. In: MEURER, E. J. (Ed). **Fundamentos de Química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 266p.
- SILVEIRA, M. L. A. Extração sequencial e especiação iônica de zinco cobre e cádmio em LATOSSOLOS tratados com biossólido. 2002. 166p. **Tese** (Doutorado). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- SIMONETE, M. A; KIEHL, J. de C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta a adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.3, p.555-563, 2002.
- TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. p.89-132.