

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS  
UNIFAL-MG

**RODRIGO SANTOS MOREIRA**

**APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM  
LATOSSOLO DISTRÓFICO: FERTILIDADE E  
DISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS**

Alfenas/MG  
2013

**RODRIGO SANTOS MOREIRA**

**APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM  
LATOSSOLO DISTRÓFICO: FERTILIDADE E  
DISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato

Coorientador: Prof. Dr. Breno Régis Santos

Alfenas/MG

2013

Moreira, Rodrigo Santos.

Aplicação de lodo de esgoto em Latossolo distrófico: fertilidade e disponibilidade de metais pesados / Rodrigo Santos Moreira. - 2013.  
50 f. -

Orientador: Ronaldo Luiz Mincato

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2013.

Bibliografia.

1. Lodo de esgoto. 3. Resíduos como fertilizante. 4. Nutrientes. 5. Solo - Poluição. I. Mincato, Ronaldo Luiz. II. Título.

CDD: 628.38



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG  
Programa de Pós-graduação – Ecologia e Tecnologia Ambiental

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 714. Alfenas - MG CEP 37130-000  
Fone: (35) 3299-1419 (Coordenação) / (35) 3299-1392 (Secretaria)  
www.unifal-mg.edu.br/ppgecoambiental/



**RODRIGO SANTOS MOREIRA**

**“APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM LATOSSOLO DISTRÓFICO: FERTILIDADE  
E DISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS”**

A Banca examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Pesquisa: Tecnologia Ambiental

Aprovado em: 31/07/2013

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato  
Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

Prof. Dr. Flavio Nunes Ramos  
Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

Prof. Dr. Paulo Roberto Corrêa Landgraf  
Instituição: UNIFENAS

Assinatura: 

Dedico à Deus, aos meus pais  
e aos amigos, pelo apoio.5

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

À Universidade Federal de Alfenas pela oportunidade oferecida.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato, orientador, pela dedicação, conhecimentos transmitidos e confiança depositada na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Breno Régis Santos, coorientador, pela dedicação, conhecimentos transmitidos e confiança depositada na realização deste trabalho.

Aos demais amigos do laboratório e a aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A vocês, minha eterna gratidão.

Onde as necessidades do mundo e os seus talentos se cruzam, aí está a sua vocação.

Aristóteles

## RESUMO

O lodo de esgoto é o resíduo obtido no tratamento dos esgotos. Devido aos altos teores de matéria orgânica e nutrientes, possui capacidade de melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos. Assim, pode ser utilizado de forma sustentável como fertilizante agrícola e condicionador de solos de áreas degradadas. Porém sua composição pode conter altos teores de metais pesados, que podem se acumular no solo e contaminar a cadeia trófica. Os teores máximos de metais pesados permitidos no lodo de esgoto para uso agrícola, bem como as quantidades máximas que podem ser acumulados no solo, são estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 375 e 380 de 2006. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a alternativa de disposição de lodos em solos agrícolas, com base na influência da aplicação de diferentes concentrações do lodo produzido na ETE Santana do Município de Varginha - MG nas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico, típico da região de Alfenas – MG, sem provocar contaminação ambiental por metais pesados. Para tanto, foi conduzido um experimento em vasos, com a aplicação do lodo de esgoto nas concentrações equivalentes a 0, 60, 120 e 180 t ha<sup>-1</sup>, com quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizado, utilizando a alface como planta teste. A aplicação do lodo promoveu o aumento dos teores de matéria orgânica, da capacidade de troca catiônica e de nutrientes, além de aumentar a porosidade e diminuir a densidade do solo, não contaminou o solo e as plantas com metais pesados, indicando alto potencial para recuperação de solos degradados e como condicionador e fertilizante de solos agrícolas.

Palavras-chaves: Biossólido. Gestão de resíduos. Ciclagem de nutrientes. Poluição do solo.



## ABSTRACT

Sludge sewage is the residue obtained in sewage treatment. As sludge sewage usually contains high levels of organic matter and nutrients, its application in soil improve the chemical, physical and biological soil properties. Thus, the sludge can be used sustainably as agricultural fertilizer and soil conditioner of degraded areas. However, the composition of sludge may contain high levels of heavy metals, which can accumulate in the soil and contaminate the food chain. The maximum levels of heavy metals allowed in sewage sludge for agricultural use, as well as the maximum amount that can be accumulated in the soil, are established by CONAMA Resolutions n ° 375 and 380 of 2006. Therefore, an experiment was conducted in pots, with the application of sludge produced in Varginha, South of Minas Gerais state, in dystrophic Red Latosol, dominant in Alfenas. Were applied concentrations equivalent to 0, 60, 120 and 180 t ha<sup>-1</sup> in a completely randomized design using lettuce as test plant. The sewage sludge has increased the levels of organic matter, cation exchange capacity, nutrients and the soil and plants is not contaminated with heavy metals. In addition, soil porosity was increased and its density, decreased, , indicating a high potential for recovering degraded soils, and conditioning and fertilizing agricultural ones.

Key words: Biosolids. Waste management. Nutrient cycling. Soil pollution.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>11</b>
2.1 Tratamento de esgotos.....	11
2.2. Composição química do lodo de esgoto .....	12
2.3. Efeito do lodo de esgoto nos atributos físicos e químicos do solo .....	12
2.4 Acúmulo de metais pesados em plantas e solos tratados com lodo de esgoto ...	14
2.5 Fatores que afetam a adsorção dos metais pesados no solo.....	15
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>17</b>
<b>SEGUNDA PARTE .....</b>	<b>21</b>
<b>ARTIGO I: ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE LATOSSOLO DISTRÓFICO APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO .....</b>	<b>21</b>
1. INTRODUÇÃO .....	23
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4. CONCLUSÃO.....	31
5. AGRADECIMENTOS .....	31
6. LITERATURA CITADA.....	31
<b>TERCEIRA PARTE .....</b>	<b>34</b>
<b>ARTIGO II: DISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS E FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO .....</b>	<b>34</b>
1. INTRODUÇÃO .....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4. CONCLUSÃO.....	47
5. AGRADECIMENTOS .....	48
6. REFERÊNCIAS .....	48
<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O descarte de esgotos em rios e em mananciais de água é um dos maiores problemas ambientais a serem enfrentados, uma vez que o destino inadequado do esgoto produzido nas cidades brasileiras resulta em degradação acelerada das reservas de água do país. Essa prática altera as características dos corpos d'água, aumentando a carga de matéria orgânica, fazendo com que a intensa taxa de decomposição diminua o oxigênio dissolvido provocando impactos negativos ao ambiente e a desestabilização do ecossistema aquático (BRAGA et al., 2005).

Assim, a maioria das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) faz uso de sistemas biológicos, cujos objetivos são a remoção de colóides não sedimentáveis e a degradação parcial da matéria orgânica presente no esgoto por meio de uma massa bacteriana (MALTA; ROQUE, 2001). Como resultado do tratamento dos esgotos, resulta a fase líquida, a ser lançada como efluente e, uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos que devem ser descartados periodicamente. Portanto, o lodo de esgoto ou biossólido é o resíduo que se obtém após o tratamento dos esgotos, de modo a permitir seu retorno ao ambiente sem que seja agente de poluição (SINGH; AGARWAL, 2008).

Atualmente, a maioria da população brasileira concentra-se em centros urbanos, gerando grande volume de lodo de esgoto proveniente de seus processos de tratamento, constituindo-se em sério problema para administração dos serviços públicos em relação às decisões sobre sua disposição final. Segundo Bettiol e Camargo (2000), a disposição final desse resíduo pode alcançar até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento. Entre as principais alternativas de disposição final estão os aterros sanitários, incineração, reuso industrial, aplicação em solos agrícolas ou florestais e para recuperação de áreas degradadas (TSUTIYA et al., 2002). A disposição em aterros sanitários, que é a mais utilizada, está sendo inviabilizada no Brasil a partir de 2014, quando passa a vigorar a política nacional de resíduos sólidos.

No Brasil, devido ao crescimento do número de ETE a quantidade de lodo que requer algum tipo de disposição final tem aumentado significativamente. A tendência é que o número de ETE continue a crescer até o final do século. Nesse cenário, a disposição do lodo de esgoto também tem se tornado um tema relevante para a comunidade científica, devido ao

elevado potencial de aplicação na agricultura tropical e na recuperação de solos de áreas degradadas (SUTHAR; SINGH 2008).

Os lodos de esgotos possuem um alto teor de matéria orgânica além de macro e micronutrientes essenciais às plantas, principalmente nitrogênio e fósforo, melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos (CEZAR et al., 2012). Portanto, sua utilização na agricultura e na recuperação de solos degradados é considerada uma das alternativas mais apropriadas de disposição final, devido ao baixo custo e por promover a reutilização de nutrientes e redução do uso de fertilizantes químicos.

Contudo, a composição dos lodos de esgoto é variável e característica de cada ETE, que pode incluir altos teores de metais tóxicos, patógenos e de compostos orgânicos voláteis. Dessa forma, a aplicação nos solos pode implicar em riscos de contaminação aos ecossistemas naturais e às diferentes formas de vida, inclusive ao homem (PIRES; MATTIAZZO, 2008).

Assim, o uso do lodo de esgoto na agricultura apenas é recomendável quando este possuir teores de organismos patogênicos, compostos orgânicos e metais pesados permitidos pela legislação, que impossibilitará eventuais danos à cadeia trófica envolvida. Os teores de metais pesados são mais preocupantes uma vez que os organismos patogênicos são de fácil eliminação por processos de calagem e compostagem. No Brasil, os limites de metais que o lodo pode conter para uso agrícola, bem como a quantidade de metais que pode ser acumulados no solo com a sua aplicação foram estabelecidos pelo CONAMA, nas Resoluções nº 375 e nº 380 de 2006 (CONAMA, 2006).

Devido às suas características, o lodo de esgoto, desde que atenda a legislação, pode se tornar um importante recurso a ser utilizado como fertilizante e condicionador de solos agrícolas e em áreas degradadas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fertilidade e a disponibilidade de metais pesados em um Latossolo distrófico após a aplicação de lodo de esgoto como fertilizante agrícola.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Tratamento de esgotos

A água é um recurso natural vital da Terra. Os recursos aquáticos têm se tornado cada vez mais contaminados devido a atividades antropogênicas, que resulta em crescente degradação (SINGH; AGRAWAL, 2007). Portanto, segundo Tsutiya et al. (2002), o tratamento de esgotos é fundamental para a manutenção e conservação das condições ambientais e para garantir a reutilização da água para as atividades domésticas, industriais, agropecuárias e de lazer.

O lançamento de esgotos *in natura* altera as características das águas principalmente pelo aporte de matéria orgânica que é acrescida à água, elevando a taxa de decomposição das bactérias e consecutivamente o consumo do oxigênio dissolvido. A diminuição da concentração de oxigênio degrada o ecossistema aquático e tem sido um dos principais problemas de poluição das águas (BRAGA et al., 2005). Os dejetos urbanos também possuem em sua composição substâncias inorgânicas originadas de ligações industriais clandestinas a rede coletora de esgotos e de escoamento superficial de áreas urbanas. Os metais pesados afetam de forma deletéria a cadeia alimentar, pois podem se bioacumular e biomagnificar ao longo da cadeia trófica (SICILIANO et al., 2005).

O tratamento dos esgotos está diretamente ligado à questão da saúde. Segundo a FUNASA (2006), os investimentos em saneamento refletem diretamente na redução dos gastos públicos com serviços de saúde. Para cada R\$ 1,00 (um real) investido no setor de saneamento economiza-se R\$ 4,00 (quatro reais) na área de medicina curativa.

As ETEs, em sua maioria, usam sistemas biológicos, cujos objetivos são a remoção de colóides não sedimentáveis e a degradação parcial da matéria orgânica presente no esgoto, por meio de um consórcio microbiano (MALTA; ROQUE, 2001). Esse tipo de tratamento produz como resíduo o lodo de esgoto, uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos que precisa ser adequadamente disposto (SANT'ANNA JUNIOR., 2010).

## **2.2 Composição química do lodo de esgoto**

As características dos lodos de esgotos são heterogêneas e, segundo Singh e Agrawal (2007), o conhecimento de tais características é primordial para aplicação do lodo no solo. A composição do lodo está intimamente relacionada ao nível sociocultural da população, pois, em última análise, os resíduos que dão origem aos lodos dependem dos hábitos alimentares, saneamento básico, saúde e, ainda, do estágio de desenvolvimento industrial da sociedade (CASAGRANDE; SOARES; MOUTA, 2008). Portanto, a composição química dos lodos pode variar consideravelmente de uma localidade para outra.

Os lodos apresentam alto teor de matéria orgânica e macronutrientes, principalmente N e P, apresentando um alto potencial para ser utilizado como fertilizante agrícola e na recuperação de solos degradados (SOUZA, 2009). Entretanto o lodo de esgoto pode conter altos níveis de metais tóxicos, principalmente Cu, Zn, Ni, Cr, Cd e Pb, que podem limitar sua utilização agrícola (FJALLBORG et al., 2005).

Assim, Bettioli e Camargo (2000) afirmam que a análise da composição química do lodo de esgoto fornece uma ideia do potencial da sua utilização na agricultura, seja como condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ou como substituto, pelo menos em parte, dos fertilizantes minerais atualmente utilizados. Além disso, o conhecimento das propriedades químicas do lodo é importante para o estabelecimento das doses de aplicação e para avaliar o potencial de dano ao ambiente (SIMONETE, 2001).

## **2.3 Efeito do lodo de esgoto nos atributos físicos e químicos do solo**

Nas regiões tropicais e subtropicais, onde os solos são altamente intemperizados, ácidos e os minerais secundários apresentam baixa capacidade de troca de cátions, a adição de material orgânico tem importância fundamental para a manutenção da fertilidade (FERRER et al., 2011).

Além das causas naturais, também as antropogênicas podem ser causa de baixa fertilidade dos solos (LÓPEZ-MOSQUERA; MOIRÓN; CARRAL, 2005). Uma dessas causas é a exaustão de nutrientes do solo, provocada pela sua retirada pelas culturas em taxas maiores do que as adicionadas pela adubação. Além disso, têm-se a degradação do solo pela

utilização de tecnologias inadequadas, a ausência de práticas conservacionistas e a retirada da cobertura vegetal, tendo como consequências a erosão, a lixiviação e a oxidação da matéria orgânica, contribuindo para a acidificação e a perda da fertilidade do solo (LÓPEZ-MOSQUERA; MOIRÓN; CARRAL, 2005).

O lodo de esgoto contém altos teores dos principais nutrientes para as plantas, N e P, além de grande quantidade de matéria orgânica (FERRER et al., 2011). O lodo não é uma boa fonte de potássio devido ao baixo teor encontrado, devendo-se realizar uma complementação com outra fonte do elemento para o sucesso de sua utilização na agricultura (CRIPPS; MATOCHA, 1991).

A matéria orgânica contribui para a fertilidade do solo e o desenvolvimento das plantas melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CEZAR et al., 2012). A maior parte destes benefícios pode ser atribuída às substâncias húmicas, especialmente aos ácidos húmicos que representam a fração mais abundante e quimicamente significativa da matéria orgânica do solo (SENESI, 1989).

No Brasil, embora o assunto ainda não esteja bem definido, há resultados de pesquisas demonstrando que, em geral, a aplicação de lodo de esgoto aumenta o teor de matéria orgânica e melhora o complexo sortivo em relação aos cátions  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  e, algumas vezes,  $Na^+$ , elevando a soma de bases, a V%, a capacidade de troca catiônica (CTC) e o pH do solo, especialmente quando o resíduo é tratado com calcário (FERRER et al., 2011). Por outro lado, a produção de ácidos orgânicos durante o processo de biodegradação da fração orgânica dos resíduos e a nitrificação pode contribuir para a acidificação do solo (BOEIRA; LIGO; DYNIA, 2002).

Referente aos atributos físicos, a adição de matéria orgânica via lodo pode ter efeito positivo, principalmente na estrutura do solo, por promover aumento da porosidade (ORTEGA; NOGALES; DELGADO, 1981; MATHAN, 1994), melhorar o estado de agregação das partículas, diminuir a densidade do solo, aumentar a capacidade de retenção de umidade, reduzir a erosão pelo vento e pela chuva; melhorar as condições de preparo do solo, melhorar a estrutura do solo quanto às condições de aeração pelo aumento do volume de macroporos, redução das perdas de nutrientes, maior dificuldade no escoamento superficial e condições favoráveis para a proliferação de micro e macro organismos desejáveis na agricultura, como as minhocas (COLODRO; ESPÍNDOLA, 2006; ALVES; SUZUKI; SUZUKI; 2007; De MARIA; KOCSSIS; DECHEN, 2007).

No entanto, Gonçalves e Ceretta (1999) consideram que, em condições tropicais, é difícil obter aumentos significativos nos teores de matéria orgânica, suficientes para atuar

sobre os atributos físicos do solo em curto espaço de tempo. De fato, Melo et al. (2004) observaram diminuição da densidade do solo e aumento da macroporosidade em dois Latossolos somente após 5 anos de aplicação de biossólido.

#### **2.4 Acúmulo de metais pesados em plantas e solos tratados com lodo de esgoto**

A presença de metais pesados nos solos pode ter origem natural, dependendo do material de origem e do grau de intemperização do solo, ou antropogênica, que é a principal razão do aumento na concentração de metais pesados em solos agrícolas (ABREU; ABREU; BERTON, 2002).

Segundo Baird e Cann (2011), os teores mais elevados de metais no solo têm sido observados com frequência em diversas áreas que sofreram ações antrópicas, como sucessivas adições de fertilizantes, corretivos e pesticidas, por meio de deposições atmosféricas e, principalmente, pelo uso de resíduos como escórias e lodos de esgoto. Aplicações sucessivas de lodo de esgoto podem conduzir ao acúmulo destes elementos no ambiente e a entrada na cadeia alimentar.

A utilização do biossólido em áreas agrícolas e florestais pode ser restringida pelo seu conteúdo de metais pesados solo (HERAS; MANÃS; LABRADOR, 2005; KIDD et al., 2007). Ressalta-se que a contaminação do solo por elementos tóxicos é uma forma de degradação ambiental devido, principalmente, à crescente contribuição antrópica, afetando a qualidade e a capacidade produtiva do solo (MACÊDO; MORRIL, 2008).

A utilização em longo prazo do lodo de esgoto pode provocar acúmulo de metais pesados no solo (LÓPEZ-MOSQUERA; MOIRÓN; CARRAL, 2005). Mesmo com a aplicação de lodos em curto espaço de tempo, os teores de metais pesados no solo podem aumentar consideravelmente. Em seu trabalho, Oliveira e Mattiazzo (2001) observaram aumentos nas concentrações de Cu, Cr, Ni e Zn em solos adubados por dois anos com lodo de esgoto. Metais pesados também podem contaminar organismos ao longo da cadeia alimentar e reduzir a produtividade das culturas (WANG et al., 1994).

O consumo de plantas contendo altos teores de metais pesados pode provocar um sério risco à saúde humana (BANAT; HOWARI; TO'MAH, 2007). De acordo com esses mesmos autores, dependendo das condições ambientais e das taxas que os metais pesados são



adicionados no solo, estes elementos podem ser lixiviados através do perfil do solo, e consequentemente, contaminar o lençol freático.

Portanto, o risco de contaminação do solo por metais pesados deve ser considerado quando o lodo de esgoto é aplicado, e o entendimento do movimento dos metais pesados no solo é essencial para avaliar os riscos ambientais quando estes metais são incorporados pelo agroecossistema (SILVEIRA; ALLEONI; GUIMARÃES, 2003).

## **2.5 Fatores que afetam a adsorção dos metais no solo**

Adsorção pode ser definida como acúmulo de uma substância ou material em uma interface entre a superfície sólida e a solução, diminuindo a mobilidade e controlando a biodisponibilidade e o transporte de metais em ambientes aquáticos e no solo. (MOREIRA et al.; 2008). A disponibilidade dos elementos às plantas depende da concentração na solução do solo, a qual é governada pela composição e reação do solo, pelas condições de oxirredução e pela cinética das reações, que dependem de atributos do solo e de suas tendências para formar precipitados insolúveis com outros materiais, formar complexos com a matéria orgânica, ou adsorver os minerais (ALLEONI; BORBA; CAMARGO, 2005).

Matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de Fe e Al e teor de argila são as propriedades do solo mais significativas que influenciam as reações de sorção (BOLAN; DURAISAMY, 2003). Mesmo que estes componentes não estejam presentes em altas concentrações no solo, eles podem ser dispersos na superfície de areia e minerais de argila, exercendo assim um controle considerável sobre as reações de adsorção. Metais como  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  podem ser aprisionados dentro de estruturas de óxido de ferro sob condições específicas (MARTINÉZ; McBRIDE, 1998).

Além disso, o pH do solo e a CTC também podem regular a mobilidade de metais no solo (LOMBI; GERZABEK, 1998). O pH, por exemplo, é muito importante para a maioria dos metais pesados, pois a disponibilidade de metais é relativamente baixa quando o pH do solo está em cerca de 6,5 a 7. Com exceção de Mo, Se e As, a mobilidade dos elementos traços é reduzida com o aumento do pH do solo por causa da precipitação como hidróxidos insolúveis, carbonatos e os complexos orgânicos (CASAGRANDE; SOARES; MOUTA, 2008).

A CTC está diretamente relacionada à capacidade do solo de adsorver metais pesados. Quanto maiores os valores da CTC, mais sítios de troca nos minerais do solo estarão disponíveis para a retenção de metais. Amostras superficiais e subsuperficiais do mesmo solo podem apresentar capacidades diferentes para adsorver metais pesados, uma vez que o comportamento de adsorção depende da combinação das propriedades do solo e a forma como elas afetam cada elemento de maneira específica (BARRY et al., 1995).

A matéria orgânica do solo é bastante efetiva na retenção de metais. Associações metal-orgânicas podem ocorrer tanto em solução quanto em superfícies sólidas em qualquer solo natural ou com algum material adicionado, como, por exemplo, lodos de esgotos. Húmus e outros compostos orgânicos podem formar quelatos, que são compostos organo-minerais, formando complexos estáveis. Por outro lado, o metal complexado na matéria orgânica dissolvida pode ficar mais susceptível à lixiviação (SILVEIRA; ALLEONI; GUIMARÃES, 2003).

Óxidos e hidróxidos de Fe desempenham um papel importante nas reações de adsorção, particularmente quando o equilíbrio entre a interface sólido-solução é deslocado para o sólido. Óxidos de Fe estão presentes em quase todos os solos, e até mesmo em baixas concentrações, eles influenciam a cor e a estrutura do solo, bem como a adsorção de íons, principalmente em solos tropicais altamente intemperizados (ALLEONI; BORBA; CAMARGO, 2005).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; BERTON, R. S. Análise química de solo para metais pesados. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 645-692, 2002.
- ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. R.; CAMARGO, O. A. Metais pesados: da Cosmogênese aos solos brasileiros. In: VIDAL-TORRADO, P. et al (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 1-42. 2005.
- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.; SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 31:617-625, 2007.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844p.
- BANAT, K.M., HOWARI, M., TO'MAH, M.M. Chemical fractionation and heavy metal distribution in agricultural soils, north of Jordan valley. **Soil and Sediment Contamination**, Amherst, v.16, p.89-107, 2007.
- BARRY, G.A.; CHUDEK, P.J.; BEST E.K.; MOODY, P.W. Estimating sludge application rates to land based on heavy metal and phosphorus sorption characteristics of soil. **Water Research**, Amsterdam, v.29, p.2031-2034, 1995.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, 312 p. 2000.
- BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.11, p.1639-1647, 2002.
- BOLAN, N.S.; DURAISAMY, V.P. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: a review involving specific case studies. **Australian Journal of Soil Research**, Sydney, v.41, p.533-555, 2003.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; ELIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Prentice Hall, 2.ed., 2005, 318 p.
- CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R.; MOUTA, E. R. Zinc adsorption in highly weathered soils. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.43 p.131-139. 2008.
- CEZAR, R.; SILVA, M.; COLONESE, J.; BIDONE, E.; EGLER, S.; CASTILHOS, Z.; POLIVANOV, H. Influence of the properties of tropical soils in the toxicity and

bioavailability of heavy metals in sewage sludge-amended lands. **Environmental Earth Science**, Berlin, v.66, p.2281-2292. 2012.

COLODRO, G.; ESPINDOLA, C.R. Alterações na fertilidade de um Latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v.28, p.1-15, 2006.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375 e nº 380, de 29 de agosto de 2006**. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res06/res37506.pdf>>. 01 Julho 2010.

CRIPPS, R.W.; MATOCHA, J.E. Effect of sewage sludge application to ameliorate iron field soils amended with sewage sludge: I. fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 260-264, Mar./Apr. 1982.

DE MARIA, I.C.; KOCSSIS, M.A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v.66, p.291-298, 2007.

FERRER, A.; OÑA, J. de; OSORIO, F.; MOCHÓN, I. Evolution of the Soil and Vegetation Cover on Road Embankments after the Application of Sewage Sludge. **Water Air Soil Pollution**. Berlin, v.214, p.231–240. 2011.

FJALLBORG, B.; AHLBERG, G.; NILSSON, E.; DAVE, G. Identification of metal toxicity in sewage sludge leachate. **Environment International**, Amsterdam, v.31, p.25– 31, 2005.

FUNASA, **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: 2006. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng\\_saneam.pdf](http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng_saneam.pdf)> Acesso em: 23 de agosto, 2012.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.307-313, 1999.

HERAS, J., MANÃS, P., LABRADOR, J. Effects of several applications of digested sewage sludge on soils and plants. **J. Environmental Science Health**, Amherst, v.40, p.437–451. 2005.

KIDD, P.S.; DOMÍNGUEZ M.J; RODRÍGUEZ B. J.; DÍEZ B. C.; MONTERROSO B. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. **Chemosphere**, Berlin, v.66,1458–1467, 2007.

LOMBI, E.; GERZABEK, M.H. Determination of mobile heavy metal fraction in soil: result of a plot experiment with sewage sludge. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Amherst, v.29, p.2545-2556, 1998.

LÓPEZ-MOSQUERA, M.E.; MOIRÓN, C.; CARRAL, E. Use of dairy industry sludge as fertilizer for grasslands in northwest Spain: heavy metal level in the soil and plant. **Resource, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v.30, 95-109, 2005.

MACÊDO, L.S.; MORRIL, W.B.B. Origem e comportamento dos metais fitotóxicos: Revisão de literatura. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.2., n.2, p. 29-38, junho, 2008.

MALTA, T. S.; ROQUE, O. C.C. Aplicação de Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos na agricultura: Estudo do caso do Município de Rio das Ostras –RJ. 2001. (FIOCRUZ/ENSP, M.Sc., Engenharia Sanitária e Saúde Pública, 2001). Dissertação – **Fundação Oswaldo Cruz**, Escola Nacional de Saúde Pública.

MARTINÉZ, C.E.; McBRIDE, M.B. Solubility of Cd, Cu, Pb and Zn in aged coprecipitates with amorphous iron hydroxides. **Environmental Science and Technology**, Washington, v.32, p.743-748, 1998.

MATHAN, K. K. Studies on the influence of long-term municipal sewage-effluent irrigation on soil physical properties. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.48, p.275-276, 1994.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.67-72, 2004.

MOREIRA, C. S.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BERTON, R. S. Nickel adsorption in two Oxisols and an Alfisol as affected by pH, nature of the electrolyte, and ionic strength of soil solution. **Journals Soils and Sediments**. Berlin, v.8, p.442-451, 2008.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, São Paulo, v.58, p.581-593, 2001.

ORTEGA, E.; NOGALES, R.; DELGADO, M. Modificación en la porosidade de un suelo por la adición de un compost de basura urbana. **Anales de Edafología y Agrobiología**, Madrid, v.15, p.1735-1747, 1981.

PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E. Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura. **Jaguariúna: EMBRAPA**, 2008. 9 p. (Circular Técnica, 19).

SANT'ANNA JUNIOR, G.L. **Tratamento biológico de efluentes. Fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 398p.

SENESI N. Composted materials as organic fertilizers. **Science Total Environmental**; Amsterdam, v.81, p.521-42. 1989.

SICILIANO S.; ALVES VC.; HACON S. Aves e mamíferos marinhos como sentinelas ecológicas da saúde ambiental: uma revisão do conhecimento brasileiro. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.13, p.927 – 946. 2005.

SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L.R.F.; GUIMARÃES, L.R. Biossólidos e Metais Pesados no Solo. **Scientia Agricola**, São Paulo, v.60, n.4, p.793-806, Oct./Dec. 2003.

SIMONETE, M. A. **Alterações nas propriedades químicas de um argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho**. 2001. 89 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SINGH, R. P.; AGARWAL, M. M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste Management**, Amsterdam, v.28, p.347–358. 2008.

SINGH, R.P., AGRAWAL, M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. **Chemosphere**, Amsterdam, v.67, 2229–2240. 2007.

SOUZA, R.A.S. **Metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em solos após dois anos da aplicação de composto de lixo e lodo de esgoto**. Tese de doutorado em ciência do solo. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (172 p) Junho, 2009.

SUTHAR S.; SINGH S. Bioconcentrations of metals (Fe, Cu, Zn, Pb) in earthworms (Eisenia fetida), inoculated in municipal sewage sludge: do earthworms pose a possible risk of terrestrial food chain contamination? **Ecotoxicology Environmental Safety**, Amsterdam, v.24, p.25–32. 2008.

TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo, ABES/SP, p.89-131, 2002.

WANG, Q.R.; CUI, Y.S.; LIU, X.M.; DONG, Y.T.; CHRISTIE, P. Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. Stevenson FJ. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions**, 2.ed., New York: Wiley-Interscience; 496 pp. 1994.

**SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO I: ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE LATOSSOLO DISTRÓFICO  
APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO**

**Autores:** Rodrigo Santos Moreira, Ronaldo Luiz Mincato, Breno Régis Santos, Rômulo Spuri  
Barbosa, Adauton Vilela de Rezende, Marcio Donizetti de Andrade

**Artigo redigido conforme normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e  
Ambiental**

## **Atributos físicos e químicos de latossolo distrófico após aplicação de lodo de esgoto**

**Resumo:** Os solos tropicais, em geral, apresentam baixa fertilidade natural e o manejo inadequado, frequente no Brasil, tem produzido uma grande quantidade de áreas degradadas. O lodo de esgoto, devido aos altos teores de matéria orgânica e de nutrientes, pode melhorar as propriedades dos solos. A maioria das técnicas de recuperação dos solos combina práticas mecanizadas, de rompimento das camadas compactadas, e adição de matéria orgânica. Assim, neste trabalho foi avaliada a alternativa de disposição dos lodos de esgotos e os seus efeitos nas propriedades químicas e físicas de um latossolo distrófico no sul do Estado de Minas Gerais, Brasil, visando à conservação, recuperação e aumento da fertilidade desse solo. Para tanto, foi conduzido um experimento em vasos, com a aplicação de lodos de esgotos da Estação de Tratamento de Esgotos Santana do Município de Varginha, Minas Gerais. Os tratamentos foram constituídos de concentrações equivalentes a 0, 60, 120 e 180 t ha<sup>-1</sup>. Resultados mostram que o lodo de esgoto promoveu o aumento dos teores de matéria orgânica, da capacidade de troca catiônica, da soma de bases e de nutrientes, além de aumentar a porosidade e diminuir a densidade do solo, indicando alto potencial para recuperação de solos degradados e como condicionador e fertilizante de solos agrícolas.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, solos degradados, biossólidos

## **Physical and chemical attributes of a dystrophic latosol after application of sewage sludge**

**Abstract:** In general, the tropical soils have low natural fertility. When associated to improper handling, which is common in Brazil, it results in a great amount of degraded areas. Sewage sludge, due to its high levels of organic matter and nutrients, can improve soil properties. Most of the techniques for soil recovery combine the mechanical practices of breaking-up the compressed layers, and addition of organic matter. Thus, in this paper, an alternative disposal of the sewage sludge and the effects on the physical and chemical properties of dystrophic latosol in the South of Minas Gerais State, Brazil, were evaluated aiming at the conservation, recovery and fertility improvement of these soil. To this end, an experiment was conducted in pots, with application of sewage sludge from the Santana Wastewater Treatment Plant in Varginha Municipality, Minas Gerais. Treatments composed of concentrations equivalent to 0, 60, 120 and 180 t ha<sup>-1</sup> were analyzed. Results demonstrate that sewage sludge has increased the levels of organic matter, cation-exchange capacity, sum of the bases and nutrients. In addition, soil porosity was increased while its density, decreased, indicating a high potential for recovering degraded soils, and conditioning and fertilizing agricultural ones.

**Key words:** soil fertility, degraded soils, biosolids



## 1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos é um dos maiores desafios dos municípios brasileiros para o equacionamento dos problemas relacionados à questão ambiental, que resultam, inclusive, da escassez de investimentos em políticas de planejamento urbano, de saúde pública e de saneamento ambiental (Ricci et al., 2010). O lodo de esgoto é o resíduo obtido do processo de tratamento dos esgotos e sua disposição final pode atingir até 50% do orçamento operacional do sistema de tratamento (Singh & Agarwal, 2008).

No Brasil, devido ao crescimento do número de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) a quantidade de lodo que requer algum tipo de disposição final tem aumentado significativamente. A tendência é que o número de ETE continue a crescer até o final do século. Neste cenário, a disposição dos lodos de esgotos, também referidos como biossólidos, tem se tornado um tema relevante para a comunidade científica, devido ao elevado potencial de aplicação na agricultura tropical e na recuperação de solos de áreas degradadas (Suthar & Singh, 2008).

Os solos tropicais são bastante peculiares e caracterizados por um estágio avançado de evolução, que exibem um complexo adsorvente formado por argilas de baixa atividade (caulinita e gibbsita), pobres em matéria orgânica e com baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Apresentam, portanto, baixa fertilidade natural (Melo et al., 1994). Além disso, o manejo inadequado dos solos, a adoção de métodos e técnicas agropecuárias impróprias, entre outras ações, têm resultado na redução da fertilidade, na oxidação acelerada da matéria orgânica e na diminuição da quantidade e diversidade de organismos nos solos (Leite et al., 2010).

Distintas técnicas de recuperação de solos podem ser utilizadas, sendo que a maioria combina práticas mecanizadas, que conjugam o rompimento das camadas compactadas e a adição de matéria orgânica. Em função disso, para a melhoria das propriedades dos solos, várias pesquisas foram feitas para avaliar o uso de resíduos orgânicos, como esterco bovino (Beltrão, 2009; Pimentel et al., 2009; Artur et al., 2007), cinza de madeira (Lima et al., 2009), composto de lixo urbano (Lima et al., 2011; Mantovani et al., 2005), compostos orgânicos oriundos da indústria processadora de goiabas (Corrêa et al., 2005), composto de lodo têxtil (Prado & Natale, 2005) e, de forma mais abundante, os lodos de esgotos produzidos nas ETE (Guerrine & Trigueiro, 2004).

Os lodos de esgotos possuem alto teor de matéria orgânica além de macro- e micronutrientes essenciais às plantas, principalmente N e P, melhorando as propriedades

químicas, físicas e biológicas dos solos (Cezar et al., 2012). Portanto, sua utilização na agricultura e na recuperação de solos degradados é considerada uma das alternativas mais apropriadas de disposição final, devido ao baixo custo e por promover a reutilização de nutrientes e redução dos custos com fertilizantes químicos. Todavia, a composição dos lodos de esgoto é variável e característica de cada localidade, que pode incluir metais tóxicos (Fjallborg et al., 2005), patógenos e compostos orgânicos. Dessa forma, sua aplicação nos solos pode implicar em riscos de contaminação dos ecossistemas naturais e das diferentes formas de vida, inclusive a do homem.

O próprio cultivo agrícola tem proporcionado aumento considerável no teor de metais pesados nos solos (Baird & Cann, 2011). Mesmo assim, os resultados de pesquisas realizadas nos últimos anos indicam que a aplicação dos lodos de esgotos em solos traz benefícios para a produção agrícola, com baixos riscos ambientais (Kidd et al., 2007). Independentemente das perspectivas favoráveis para utilização de lodos de esgotos em solos agrícolas, é fundamental a observância da legislação específica vigente. Neste caso, os limites máximos de concentração de metais pesados são estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 375 e n° 380 de 2006 (CONAMA, 2006).

Assim, o objetivo foi avaliar as implicações da aplicação de diferentes concentrações de lodo produzido na ETE Santana, do Município de Varginha – MG, nas características físicas e químicas de um latossolo distrófico, visando sua recuperação, conservação e aumento da fertilidade.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na cidade de Alfenas – MG, em uma área localizada a 21° 25' de latitude sul e 45° 57' de longitude a oeste de Greenwich e altitude de 880 m. O clima da região, segundo Köppen, é o tropical mesotérmico ou tropical de altitude, com médias anuais variáveis de 21 a 23° C e pluviosidade de 1.500 mm anuais.

O experimento foi conduzido em vasos de polietileno de 6 dm<sup>3</sup>, em uma casa de vegetação. Para tanto, foi coletada uma amostra de latossolo distrófico de textura argilosa, que não recebe adubação há pelo menos 5 anos. Após a coleta, o solo foi colocado para secar ao ar e à sombra em lona plástica e, em seguida, foi destorroado, passado em peneira com 4 mm de malha, homogeneizado e, finalmente, separada uma alíquota para caracterização química de rotina, conforme Raij et al. (2001). Os resultados obtidos nas análises são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo utilizado no experimento

pH	P	K	P-rem	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
H <sub>2</sub> O	— mg dm <sup>-3</sup> —			— cmol dm <sup>-3</sup> —						— % —	— g dm <sup>-3</sup> —		
5,6	0,5	41	7	0,6	0,4	0,0	2,1	1,1	1,1	3,2	35	0	8,1

P-rem: fósforo remanescente; SB: soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC potencial; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; MO: matéria orgânica

O lodo utilizado no experimento foi produzido na ETE Santana, em Varginha – MG, pertencente à Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Varginha está situada no Sul de Minas Gerais e é a terceira cidade mais populosa da região, que, para tratar os esgotos gerados, conta com duas estações de tratamento. A ETE Santana realiza o tratamento biológico anaeróbico distribuindo o esgoto em 4 reatores UASB, de onde o lodo é retirado periodicamente, através de válvulas de controle, e disposto em leitos de secagem para a diminuição da umidade.

A amostragem do lodo ocorreu no dia 02 de fevereiro de 2012 e foram coletadas alternadamente 6 amostras dentre os 10 tanques de secagem dos lodos da ETE. As amostras foram preparadas para os ensaios físicos e químicos subsequentes no Laboratório de Geociências da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), onde foram secas em estufa a 65 °C, durante 3 dias.

Em seguida, as amostras foram moídas, quarteadas e armazenados em recipientes plásticos e encaminhadas para o Laboratório de Análises Químicas “João Carlos Pedreira de Freitas”, da Cooperativa Regional de Cafeicultores (COOXUPÉ), em Guaxupé - MG, para realização dos ensaios físicos e químicos. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Para avaliar se o lodo utilizado atendia à legislação brasileira foram analisados os metais pesados Cd, Pb, Ni, Cr, Cu e Zn, devido ao potencial tóxico desses elementos. A solubilização das amostras foi feita pela digestão com água-régia (Melo & Silva, 2008) e os metais quantificados por Espectroscopia de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Os teores obtidos foram comparados com os limites legais estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 375 e n° 380 (CONAMA, 2006).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 4 tratamentos e 4 repetições, utilizando como unidade experimental um vaso de 6 dm<sup>3</sup>. Foram adotados tratamentos de concentrações equivalentes a 0; 60; 120 e 180 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto. Com base no índice de saturação por bases (V%) inicial do solo, foi calculada a quantidade de calcário necessária para elevar o V% a 70%. Foi realizada a mistura a seco das porções de solo, calcário e lodo de acordo com os tratamentos e a mistura foi homogeneizada

e transferida para os vasos. Em seguida, o solo tratado com os insumos foi submetido à incubação por 30 dias, sendo mantida a umidade próxima à capacidade de campo.

Tabela 2. Características físicas e químicas do lodo de esgoto utilizado neste estudo

Componente	Concentração*
Sólidos totais (%)	32,37
Sólidos solúveis (%)	22,90
Sólidos inorgânicos (%)	9,46
Umidade (%)	67,63
pH	6,45
Carbono total (g dm <sup>-3</sup> )	152,67
Nitrogênio (%)	3,4
Relação C: N	9,1
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	262,33
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	347,5
Potássio (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	19,48
Cálcio (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	216,5
Magnésio (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	45
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> )	372,33
Enxofre (mg dm <sup>-3</sup> )	713
Boro (mg dm <sup>-3</sup> )	164
Cádmio (mg dm <sup>-3</sup> )	0,16
Chumbo (mg dm <sup>-3</sup> )	0,32
Níquel (mg dm <sup>-3</sup> )	118
Cromo (mg dm <sup>-3</sup> )	0,32
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> )	8,33
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> )	11,25
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> )	184,97

\*Médias das 6 amostras retiradas dos leitos de secagem

Após 30 dias de incubação, foi coletada, de cada vaso, uma amostra de aproximadamente 0,5 dm<sup>3</sup> de solo e uma amostra indeformada com o auxílio de anéis volumétricos de 50 cm<sup>3</sup>. Os atributos químicos analisados foram o teor de matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), teores trocáveis de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, soma de bases (SB), P e S, de acordo com Camargo et al. (2009). Os atributos físicos analisados foram densidade aparente (Ds), pelo método do anel volumétrico, densidade de partículas (Dp) e porosidade total, segundo

metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial de primeiro e de segundo grau, adotando-se o melhor modelo ajustado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os teores dos metais pesados obtidos nos lodos com os limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 375 e n° 380 são apresentados na Tabela 3. Todos os metais apresentaram concentrações abaixo do limite máximo definido pela legislação brasileira, demonstrando que os lodos têm propriedades que permitem sua aplicação em solos agrícolas. Alguns metais são micronutrientes essenciais às plantas como o Cu, Zn e Ni. Outros ainda não apresentam função benéfica conhecida, como o Cd, Pb e Cr, independentemente da especiação química (Baird & Cann, 2011). Mas, mesmo os micronutrientes, quando em concentrações elevadas nos solos, podem apresentar efeito tóxico às plantas.

Tabela 3. Comparação entre os teores de metais pesados do lodo da ETE Santana do Município de Varginha, MG com os limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 375 e n° 380 de 2006

Elemento	Lodo*	mg dm <sup>-3</sup>	CONAMA
Cádmio	0,16		39
Chumbo	0,32		300
Níquel	118		420
Cromo	0,32		1000
Cobre	8,33		1500
Zinco	184,97		2800

\*Médias das 6 amostras retiradas dos leitos de secagem

Após o período de incubação nos vasos, o lodo de esgoto propiciou aumento no teor de matéria orgânica e na CTC do solo, que variaram, respectivamente, de 13,98 a 50,35 g dm<sup>-3</sup> e 283,50 a 503,56 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Isto, quando comparado o tratamento sem lodo com o que recebeu a maior concentração (Figura 1A e 1B). No Brasil, há diversos resultados de pesquisas que indicam que, em geral, a aplicação de lodo de esgoto aumenta o teor de MO e eleva a CTC do solo (Ferrer et al., 2011).

A elevação do teor de MO constitui-se no principal benefício do uso agrícola de resíduos orgânicos, devido à contribuição para a melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Berton & Valadares, 1991). A superfície das partículas de MO contém cargas negativas capazes de reter cátions, como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>, contribuindo para a elevação da CTC total do solo. O maior incremento na CTC foi obtido com a maior concentração de

lodo aplicada, mostrando que nos solos tropicais e subtropicais, a CTC da MO pode representar um grande percentual da CTC total.

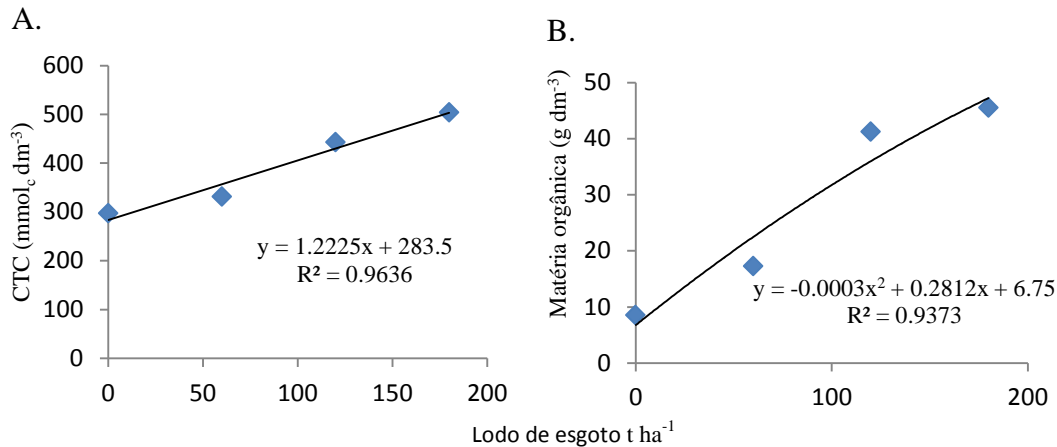


Figura 1. Efeito da aplicação de diferentes concentrações de lodo de esgoto na CTC (A) e matéria orgânica (B) do solo

Segundo Ferrer et al. (2011), a aplicação do lodo melhora também o complexo sortivo em relação aos cátions  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  e, algumas vezes  $Na^+$ , elevando a soma de bases do solo, principalmente quando o resíduo é tratado com calcário. Do tratamento sem aplicação de lodo para aquele com maior concentração, o Ca aumentou de forma linear de 260,70 a 484,03  $mmol_c dm^{-3}$  (Figura 2A) e o K cresceu de 1,41a 4,42  $mmol_c dm^{-3}$  (Figura 2B). Da mesma forma, o Mg aumentou de 10,75 a 17,5  $mmol_c dm^{-3}$  (Figura 2C) e a soma de bases de 275,83 a 499,48  $mmol_c dm^{-3}$  (Figura 2D). Estes resultados estão de acordo com os obtidos Ricci et al. (2010), que constatarem um aumento significativo nos teores de K, Ca e Mg com aplicação de até 80  $t ha^{-1}$  de composto de lodo de esgoto. Houve, portanto, um aumento significativo nos teores desses nutrientes no solo à medida que se elevou a proporção de lodo aplicado e que produziu um expressivo aumento na soma de bases.

A composição do lodo apresentou uma elevada quantidade de P (347,5  $mg dm^{-3}$ ). Dos macronutrientes exigidos em maior quantidade (N, P, K), o P é requerido em menor quantidade pelas plantas, porém trata-se do nutriente mais utilizado na adubação no Brasil (Raij, 1991). Isto ocorre devido ao fato das plantas normalmente não aproveitarem mais que 10% do P aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em Fe e Al, este elemento fica fortemente retido ao solo (Malavolta, 1989).

A variação nos teores de P em resposta à aplicação do lodo foi de 9,58 a 77,68  $mg dm^{-3}$ , mostrando comportamento quadrático (Figura 2E), que demonstra o elevado potencial do material orgânico em fornecer este nutriente às plantas.

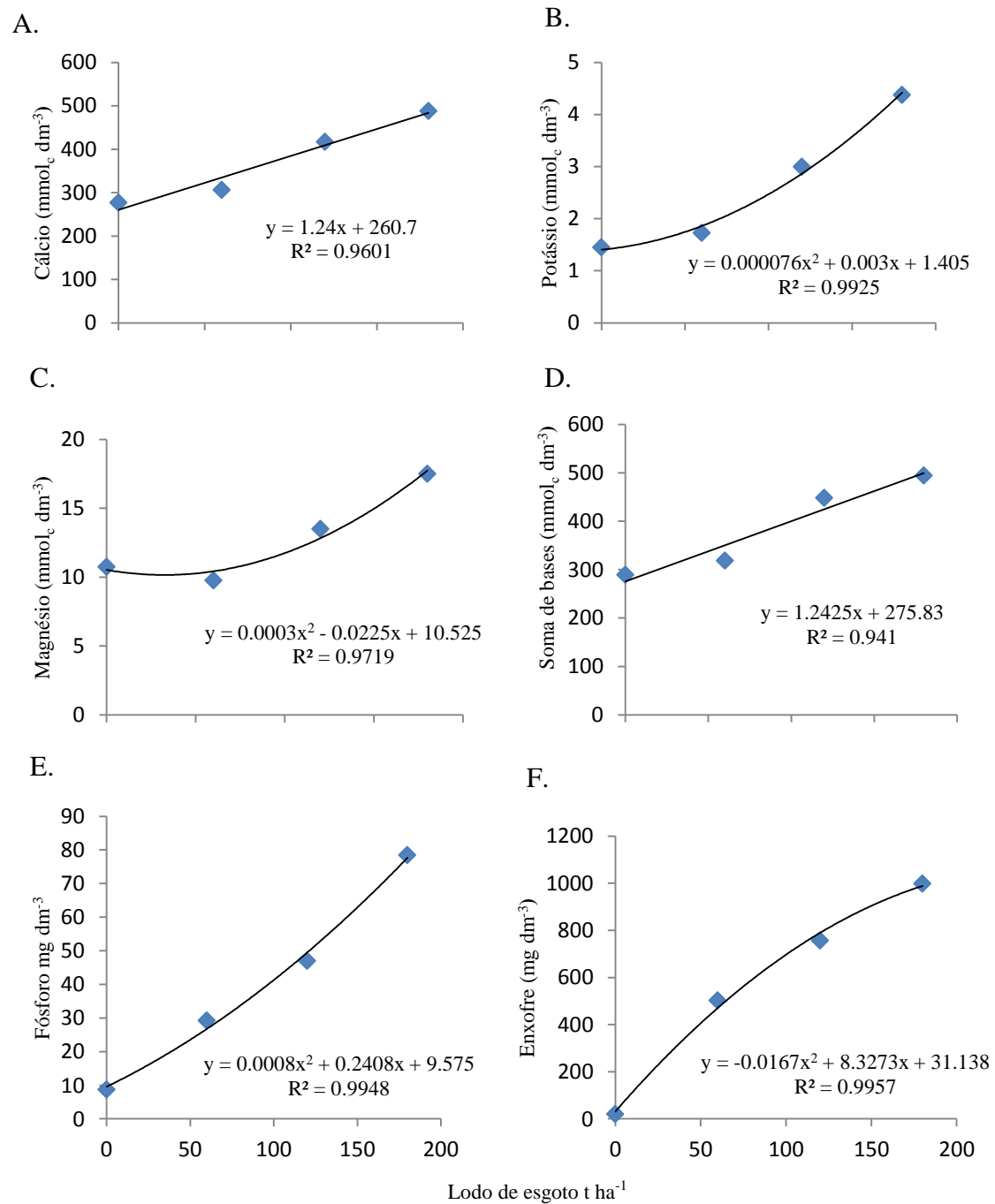


Figura 2. Efeito da aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto nos teores de Ca, K, Mg e na soma de bases do solo

Com relação ao S, houve um aumento expressivo no solo com o aumento da concentração de lodo aplicada, que variou de 20,5 a 999  $mg\ dm^{-3}$  (Figura 2F). Essa diferença se deve ao alto teor (713  $mg\ dm^{-3}$ ) do nutriente no resíduo e baixa concentração inicial no solo. De acordo com Rheinheimer et al. (2005), solos com baixos teores de MO podem apresentar baixa disponibilidade de S, limitando o desenvolvimento vegetal. Como os solos brasileiros, de maneira geral, possuem baixos teores de MO, a adição de resíduos com alto teor orgânico, como o lodo de esgoto, pode ser importante para o fornecimento de S. A origem do S nos

lodos de esgotos é atribuída à decomposição de proteínas das fezes humanas, à presença de surfactantes e ao S resultante da queima de combustíveis fósseis (Sígolo & Pinheiro, 2010).

O N é o principal nutriente vegetal dos fertilizantes orgânicos e, em geral, é o elemento que as plantas necessitam em maior quantidade. Embora não tenha sido quantificado no solo, o teor deste elemento no lodo é elevado (3,4%), que confere significativo potencial para fornecimento desse elemento para o desenvolvimento vegetal.

Com relação às características físicas estudadas, houve diferenças apreciáveis entre os tratamentos para a densidade aparente e porosidade, porém não houve diferença para a densidade de partículas. Tais resultados concordam com Aggelides & Londra (2000), que afirmam que a aplicação de lodo de esgoto fornece MO melhorando o estado de agregação das partículas, que diminui a densidade e aumenta a porosidade do solo.

De acordo com as equações de regressão, a redução na densidade e aumento na porosidade ocorreu de forma linear, com o aumento na concentração de lodo aplicado, que variou de 1,38 a 1,06 g cm<sup>-3</sup> e 42,38 a 63,73%, respectivamente (Figuras 3A e 3B).

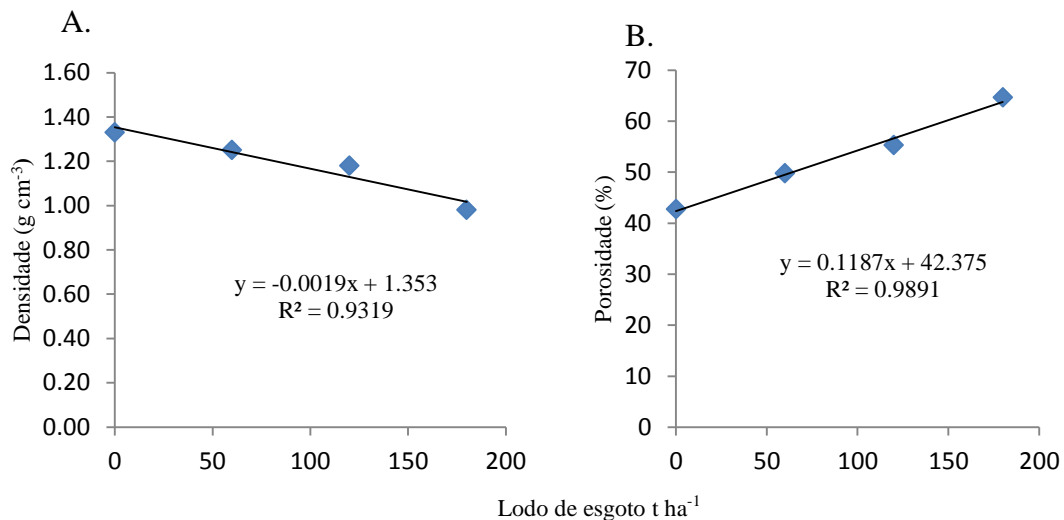


Figura 3. Efeito da aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto na densidade aparente (A) e porosidade (B) do solo

De acordo com as figuras 3A e 3B, com valores de densidade menores e de maior porosidade, aumenta a infiltração de água no solo e diminui o escoamento superficial, que reduz a erosão, além de proporcionar melhores condições para o desenvolvimento vegetal.



#### 4. CONCLUSÃO

1. O lodo de esgoto coletado na Estação de Tratamento de Esgotos Santana do Município de Varginha – MG atendeu à legislação brasileira com relação ao conteúdo dos metais pesados quantificados, o que permite sua aplicação em solos agrícolas.
2. A aplicação do lodo aumenta os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, soma de bases, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica, melhorando de forma significativa a fertilidade do solo estudado.
3. O lodo de esgoto melhora a estrutura do solo, diminuindo a densidade e aumentando a porosidade total.
4. Os resultados demonstram que o lodo tem alto potencial para utilização na agricultura, na recuperação e na conservação de solos degradados, apresentando os melhores resultados na concentração de 180 t ha<sup>-1</sup>.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À COPASA pelo fornecimento do lodo de esgoto e à COOXUPÉ pela realização das análises químicas.

#### 6. LITERATURA CITADA

- Aggelides, S. M.; Londra, P. A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology*, v.71, p.253-259, 2000.
- Artur, A. G.; Cruz, M. C. P.; Ferreira, M. E.; Barreto, V. C. M.; Yagi, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de Guanandi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.843-850, 2007.
- Baird, C.; Cann, M. *Química ambiental*. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844p.
- Beltrão, N. E. M. Capacidade da cinza de madeira e do esterco bovino para neutralizar o alumínio trocável e promover o crescimento da mamoneira. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, v.13, p.9-17, 2009.
- Berton, R. S.; Valadares, J. M. A. S. Potencial agrícola de composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. *O agrônomo*, v.43, p.87-93, 1991.
- Camargo, O.; A. Moniz, A. C.; Jorge, J. A.; Valadares, J. M. A. S. Métodos de análises química, mineralógica e física dos solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, SP, 2009. Boletim Técnico 106.
- Cezar, R.; Silva, M.; Colonese, J.; Bidone, E.; Egler, S.; Castilhos, Z.; Polivanov, H. Influence of the properties of tropical soils in the toxicity and bioavailability of heavy

- metals in sewage sludge-amended lands. *Environmental Earth Science*, v.66, p.2281-2292, 2012.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375 e nº 380, de 29 de agosto de 2006. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res06/res37506.pdf>. 01 Julho 2010.
- Corrêa, M. C. de M.; Fernandes, G. C.; Prado, R. M.; Natale, W. Propriedades químicas do solo tratado com resíduos orgânicos da indústria processadora de goiabas. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.11, p.241-243, 2005.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas do Solo. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- Ferrer, A.; Oña, J. de; Osorio, F.; Mochón, I. Evolution of the soil and vegetation cover on road embankments after the application of sewage sludge. *Water Air Soil Pollution*, v.214, p.231–240, 2011.
- Fjallborg, B.; Ahlberg, G.; Nilsson, E.; Dave, G. Identification of metal toxicity in sewage sludge leachate. *Environment International*, v.31, p.25-31, 2005.
- Guerrini, I. A.; Trigueiro, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1069-1076, 2004.
- Kidd, P. S.; Domínguez-Rodríguez, M. J.; Díez, J.; Monterroso, C. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*, v.66, p.1458–1467, 2007.
- Leite, L. F. C.; Oliveira, F. C.; Araujo, A. S. F.; Galvão, S. R. S.; Lemos, J. O.; Silva, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, v.48, p.258-265, 2010.
- Lima, R. L. S. S.; Severino, L. S.; Albuquerque, R. C.; Ferreira, G. B.; Sampaio, L. R.; Beltrão, N. E. M. Capacidade da cinza de madeira e do esterco bovino para neutralizar o alumínio trocável e promover o crescimento da mamoneira. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.13, p.9-17, 2009.
- Lima, R. L. S.; Severino, L. S.; Sofiatti, V.; Gheyi, H. R.; Arriel, N. H. C. Atributos químicos de substrato de composto de lixo orgânico. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.185-192, 2011.
- Malavolta, E. ABC da adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p.
- Mantovani, J. R.; Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P.; Barbosa, J. C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.817-824, 2005.

- Melo, L. C. A.; Silva, C. A. Influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. *Química Nova*, v.31, p.556-561, 2008.
- Melo, W. J.; Marques, M. O.; Santiago, G.; Chelli, R. A.; Leite, S. A. S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre as frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.449-455, 1994.
- Pimentel, M. S.; De-Polli, H.; Lana, A. M. Q. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.39, p.225-232, 2009.
- Prado, R. M.; Natale, W. Desenvolvimento inicial e estado nutricional do maracujazeiro em resposta à aplicação de lodo têxtil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.621-626, 2005.
- Raij, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. (ed.). *Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- Raij, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Agronômica Ceres: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.
- Rheinheimer, D. S; Alvarez, J. W. R; Filho, B.D.S.; Silva, L.S.; Bortoluzzi, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.35, p.562-569, 2005.
- Ricci, A. B.; Padovani, V. C. R.; de Paula, D. R. J. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. II – Atributos químicos e revegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.543-551, 2010.
- Sígolo, J. B.; Pinheiro, C. H. R. Lodo de esgoto da ETE Barueri – SP: Proveniência do enxofre elementar e correlações com metais pesados associados. *Geologia USP. Série Científica*, v.10, p.39-51. 2010.
- Singh, R. P.; Agarwal, M. M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, v.28, p.347–358. 2008.
- Suthar S.; Singh S. Bioconcentrations of metals (Fe, Cu, Zn, Pb) in earthworms (*Eiseniafetida*), inoculated in municipal sewage sludge: do earthworms pose a possible risk of terrestrial food chain contamination? *Ecotoxicology Environmental Safety*, v.24, p.25–32. 2008.

**TERCEIRA PARTE**

**ARTIGO II: HEAVY METALS AVAILABILITY AND SOIL FERTILITY AFTER  
LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE ON DYSTROFERRIC RED  
LATOSOL**

**Autores:** Rodrigo Santos Moreira, Ronaldo Luiz Mincato, Breno Régis Santos

**Artigo redigido conforme normas da revista Ciência e Agrotecnologia**

**HEAVY METALS AVAILABILITY AND SOIL FERTILITY AFTER LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE ON DYSTROFERRIC RED LATOSOL**

**Disponibilidade de metais pesados e fertilidade de um Latossolo Vermelho distrófico após aplicação de lodo de esgoto**

**Rodrigo Santos Moreira<sup>1</sup>**  
**Ronaldo Luiz Mincato<sup>2</sup>**  
**Breno Régis Santos<sup>2</sup>**

**ABSTRACT**

Sewage sludge is the solid residue obtained from urban sewage treatment plants. It is possible to use the sludge in a sustainable way as fertilizer and as soil conditioner due to its high levels of organic matter and nutrients. Besides pathogens and volatile organic compounds, the residue may also contain heavy metals which may accumulate and contaminate crops and the food chain. The aim of this study was evaluate the changes in the fertility of dystrophic Red Latosol and in the availability of heavy metals following application of sewage sludge. It was assessed whether organic matter supplied to the soil as large amounts of sewage sludge would decrease availability of heavy metals in the soil due to insoluble compounds formation. From this, an experiment was carried out in polyethylene pots using lettuce plant for test. Sewage sludge were applied to the soil in concentrations equivalent to 60, 120 and 180 t ha<sup>-1</sup>, and a control without sludge, in four replicates, in a completely randomized design. The results show that sewage sludge led to an increase of organic matter contents, of the cation exchange capacity (CEC) and of nutrients found in the soil. It also improved plant growth up to a concentration of 120 t ha<sup>-1</sup>. Availability of heavy metals, however, was reduced in sludge concentrations starting with 120 t ha<sup>-1</sup>.

**Index terms:** Biosolids, soil pollution, nutrients, *Lactuca sativa*.

**RESUMO**

Lodo de esgoto é o resíduo obtido após o tratamento dos esgotos municipais. Devido aos elevados teores de matéria orgânica e de nutrientes, é possível utilizar o lodo, de forma sustentável, como fertilizante agrícola e condicionador de solos. Todavia, além de patógenos e de compostos orgânicos voláteis, esse resíduo pode conter ainda metais pesados que podem ser acumulados e contaminar as culturas agrícolas e a cadeia trófica. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações na fertilidade de um Latossolo Vermelho distrófico e na disponibilidade de metais pesados decorrentes da aplicação de lodo de esgoto. Foi avaliado se a matéria orgânica fornecida ao solo com aplicações elevadas de lodo deverá, devido à formação de compostos insolúveis, diminuir a disponibilidade dos metais pesados do solo. Para tanto, foi conduzido experimento em vasos de polietileno, com a aplicação do lodo no solo nas concentrações equivalentes a 60, 120 e 180 t ha<sup>-1</sup>, e um tratamento controle sem lodo, com quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizado, utilizando alface como

<sup>1</sup> Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Tecnologia Ambiental/UNIFAL-MG – Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro - 37130-000 - Alfenas - MG – Brasil – rodrigomagro@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG - Instituto de Ciências da Natureza/ICN – Alfenas – MG – Brasil

planta teste. Os resultados indicam que o lodo de esgoto promoveu o aumento dos teores de matéria orgânica, da capacidade de troca catiônica (CTC) e de nutrientes no solo e ainda melhorou o desenvolvimento das plantas até a concentração de 120 t ha<sup>-1</sup>. A disponibilidade dos metais pesados, no entanto, foi reduzida nos tratamentos a partir de 120 t ha<sup>-1</sup> de lodo.

Palavras-chave: Biossólido, poluição do solo, nutrientes, *Lactuca sativa*.

## INTRODUCTION

Currently, the diversity of human activities and demographic growth contribute to increase residue production. Improper disposal of those residues results in environmental degradation of landfills (Korf et al., 2008).

Sewage sludge or biosolids is the residue obtained from domestic wastewater treatments, in a way that allows treated effluents to return to environment, causing no pollution (Singh & Agrawal, 2008). If final disposal of those biosolids is not appropriate, it can become a new environmental problem.

Sewage sludge contains high levels of organic matter in addition to macro and micronutrients which are essential to plants, mainly N and P, improving chemical, physical and biological properties of soils (Cézar et al., 2012). Therefore, its application as fertilizer and as soil conditioner is the best disposal alternative due to its low cost, reduction in use of chemical fertilizers, and avoidance of specific landfills for sewage sludge. However, sludge may have high levels of heavy metals which might accumulate in the soil and be absorbed by crops and, consequently, influence production negatively due to toxic effects. Heavy metals do not degrade by biochemical processes due to resistance to microbial degradation and may be bioaccumulated and biomagnified along the food chain (Liao et al., 2006).

Addition of organic matters to soil may reduce potential risk of heavy metals in the environment, by reducing its mobility and availability. This reduction may be influenced by several factors, among them: nature itself and degradability of organic matter, salts contents, effect of soil pH, by the redox potential and by the type of soil (Shuman, 1999). Therefore, at

the same time sewage sludge supplies metal to the soil, organic matter may act as an immobilizer of those metals, reducing their availability.

Thus, the aim of this study was evaluates the changes in the fertility of dystrophic Red Latosol and in the availability of heavy metals following application of sewage sludge. It was assessed whether organic matter supplied to the soil as large amounts of sewage sludge would decrease availability of heavy metals in the soil duo to of insoluble compounds formation.

### MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in Alfenas, Southern of Minas Gerais state, Brazil. The area is found at 21° 25' West of Greenwich, average altitude at 880 m. According to Köppen, climate in the region is the tropical mesothermic or tropical of altitude type, annual average temperature at 21° to 23°C, and 1,500 mm of rainfall. Clayey dystrophic Red Latosol, dominant in Alfenas, was used. Previous to the experiment, the soil was characterized and chemical characteristics are listed in Table 1.

Table 1. Chemical characterization of soil used in the experiment.

pH	P	K	P-rem	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	OM
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol dm <sup>-3</sup>						%		g dm <sup>-3</sup>	
5.6	0.5	41	7	0.6	0.4	0.0	2.1	1.1	1.1	3.2	35	0	8.1

P-rem=remaining P; SB= Sum of bases; t=Effective CEC; T=Potential CEC; V=Bases saturation; m=Aluminum saturation; OM= Organic Matter

Sewage sludge used was produced at the Santana Sewage Treatment Plant in Varginha, also located in the Southern of Minas Gerais State. Six samples representing dehydration tanks were collected for physic and chemical analyses.

The samples were dried in oven at 65°C for three days. Next they were ground, quartered and stored in plastic recipients. Samples were, then, solubilized in aqua regia (HNO<sub>3</sub> and HCl at the rate 1:3) to have heavy metals analyzed, and Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Zn, Ni and Fe were quantified by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) (Model Optima 7300 DV, Perkin Elmer).

Total solids and inorganic solids were determined by mass loss at 105°C and 500°C, respectively, and humidity and volatile solids were obtained by subtraction. Determination of pH was by pHmeter (Model EA 940, Orion, USA) in suspension of soil and CaCl<sub>2</sub> at a rate of 1:5. Determination of total N was by the Kjeldahl method. Total carbon and organic matter were obtained by the Walkley and Black method (Allison, 1973) and the P, K, Ca, Mg and S nutrients, according to Raij et al. (2001).

The experiment was carried out in a greenhouse, using 6 dm<sup>3</sup> polyethylene pots. A control treatment (without sludge), and treatments with concentrations of sewage sludge at 60, 120 and 180 t ha<sup>-1</sup> were studied. Each treatment was repeated four times, at completely randomized design. Limestone was applied to all treatments at a concentration equivalent to a 1.2 t ha<sup>-1</sup>, calculated to increase the saturation of soil bases to 70%. The different treatments underwent a 30 day incubation period. Finally, 0.5 dm<sup>3</sup> samples of soil were collected from each pot.

For the analyses, all soil samples from treatments were air dried, powdered and sieved with a 4 mm mesh sieve, homogenized and finally an aliquot was separated for chemical analyses. Determination of soil pH, total carbon, organic matter and P, K, Ca, Mg, S, sum of bases and cation exchange capacity (CEC) was according to Raij et al. (2001).

Extraction of Zn, Ni, Cu, Cd, Cr, Pb, Mn and Fe was carried out using a 0.05 M solution of diethylenetriaminepentacetic acid (DTPA) and determination by ICP-OES (Model Optima 7300 DV, Perkin Elmer).

After incubation, a lettuce (*Lactuca sativa*) seedling was transferred to each pots and allowed to grow for 45 days. After that period, plants were cut even with the substrate surface for physic and chemical analyses.



The number of leaves per plant (NLP), diameter (D), weight (W) and dry matter (DM) were analyzed in order to assess plant growth. DM was obtained by forced air drying method in an oven at a temperature of 60°C.

After weighing, 1g samples of leaves were digested in a mixture containing HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HClO<sub>4</sub> (5:1:1) at 80°C. Next, they were filtered and distilled in water. Concentration of weighed metals was determined by ICP-OES (Model Optima 7300 DV, Perkin Elmer).

Data obtained underwent variance analyses (ANOVA) and means were tested by Skott Knott test at 5% significance, utilizing the statistical program Sisvar (Ferreira, 2011).

Heavy metals analyses precision and accuracy were validated by simultaneous analyses of certified samples from Institute for Reference Materials and Measurements from European Commission. Certified sewage sludge samples BCR-144R and BCR-145R, and from soil treated with sewage sludge CRM-143R were analyzed under the same methodological procedures described. The results obtained validated the analyses (Table 2).

Table 2. Comparison of results of metal concentration on certified materials.

Metals (mg dm <sup>-3</sup> )	BCR 144-R		BCR 145-R		CRM 143-R	
	Certified	Found	Certified	Found	Certified	Found
Cd	1.84 ± 0.07	1.8	3.50 ± 0.15	3.5	72 ± 1.8	70.1
Cr	90 ± 6	94	307 ± 13	294	426 ± 12	418
Pb	96 ± 1.6	98	282 ± 9	285	174 ± 5	180
Mn	189 ± 6	193	156 ± 4	153	858 ± 11	859
Ni	44.9 ± 1.5	43	251 ± 6	255	1063 ± 16	1051

## RESULTS AND DISCUSSION

Sewage sludge presented high quantities of nutrients, organic matters and almost neutral pH, appropriate to be used in agriculture. Besides, contents of heavy metals were below maximum limits allowed by the Brazilian Law (CONAMA, 2006), revealing its potential to be applied to soil (Table 3).

The effect of sewage sludge application on soil chemical characteristics is presented in Table 4. Organic matter increased significantly with larger doses of applied sludge. In the 180 t ha<sup>-1</sup> treatment, increase was of 435% when compared to control.

Table 3. Physical and chemical attributes of sewage sludge.

Parameters	Concentration
Total Solids (%)	32.4 ± 0.2
Soluble Solids (%)	22.9 ± 0.6
Inorganic Solids (%)	9.5 ± 0.5
Humidity (%)	67.6 ± 0.9
pH	6.4 ± 0.1
Total C (g dm <sup>-3</sup> )	152.7 ± 17.4
N (%)	3.4 ± 0.06
Organic Matter (g dm <sup>-3</sup> )	262.3 ± 29.7
P (mg dm <sup>-3</sup> )	347.5 ± 18.8
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	19.5 ± 4.1
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	216.5 ± 30.4
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	45 ± 6
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	372.3 ± 33.4
S (mg dm <sup>-3</sup> )	713 ± 24.1
Cd (mg dm <sup>-3</sup> )	0.2 ± 0.06
Pb (mg dm <sup>-3</sup> )	0.3 ± 0.06
Ni (mg dm <sup>-3</sup> )	118 ± 5.5
Cr (mg dm <sup>-3</sup> )	0.3 ± 0.07
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	8.3 ± 2.7
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	11.2 ± 3.3
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	184.9 ± 46.6

Sewage sludge influenced soil CEC at the two larger concentrations, which were statistically identical and presented an increase of 49% and 69%. Total carbon contents also increased at the 120 and 180 t ha<sup>-1</sup> concentrations, with increases of 337 and 463%, respectively.

Soil pH was not influenced by treatments and values were around 6.5. According to Nielson et al. (1998), sludge application increases soil pH due to of the calcium carbonate in

the residue. On the other hand, production of organic acids during the process of biodegradation of the organic fraction of the residue and nitrification may contribute to the acidification of the soil (Sommers, 1977). In this study, the application of sludge did not influence soil pH, which on the other hand, was affected by application of lime to all treatments.

Table 4. Soil chemical properties after application of different concentrations of sewage sludge.

Parameters	0 t ha <sup>-1</sup>	60 t ha <sup>-1</sup>	120 t ha <sup>-1</sup>	180 t ha <sup>-1</sup>	Test F	CV%
OM (g dm <sup>-3</sup> )	8.5 a	17.2 b	41.2 c	45.5 d	<0.0001	7.51
CEC (mg dm <sup>-3</sup> )	296.7 a	330.7 a	442.9b	503.8 b	0.0032	17.22
Total Carbon	4.75 a	10 a	20.8 b	26.8 c	<0.0001	18.59
pH	6.5 a	6.6 a	6.5 a	6.4 a	0.1308	1.48
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	289.2 a	318.7 a	448.1 b	494.4 b	0.0013	16.05
P (mg dm <sup>-3</sup> )	8.75 a	29.7 b	47 c	78.5 d	<0.0001	9.59
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1.45 a	1.72 a	3 b	4.4 b	<0.0001	13.76
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	277 a	306.8 a	417.5 b	488.2 b	0.0058	19.99
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10.8 a	9.8 a	13.5 a	17.5 b	0.0076	21.21
S (mg dm <sup>-3</sup> )	20.5 a	502.5 b	757.8 c	999 d	<0.0001	14.66

\*Means followed by the same letter in the lines do not differ according to Skott Knott test at p<0.05. CV% = Coefficient of Variation. OM = Organic matter. SB = sum of bases.

The sum of bases was affected by the application of sludge in the 120 and 180 t ha<sup>-1</sup> concentrations, increasing, respectively, 55 and 71%, which do not differ statistically. Sludge significantly increased P, K, Ca, Mg and S contents, which, in the treatment with application of 180 t ha<sup>-1</sup>, had gains of 797, 202, 63 and 4,773%, respectively, when compared to control.

The increase of sludge concentration improved soil fertility in a relevant way, by increasing contents of organic matter, total carbon, CEC and nutrients. This improvement occurred due to high levels of nutrients and organic matter of the residue. Several authors also obtained relevant improvements in the nutritional status of soil with the application of sewage sludge (Singh & Agrawal, 2010; Angin et al., 2012).

Soil contents of metals in each treatment and the maximum limits established by the Brazilian Law (CONAMA, 2006) are presented in Table 5. Metal contents were lower than

those allowed by legislation, even in the treatment with a higher concentration of applied sludge.

Table 5. Soil heavy metal contents ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) with application of various concentrations of sewage sludge.

Treatments $\text{t ha}^{-1}$	Cd	Pb	Ni	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn
0	< dl	0.5 c	0.3 c	0.3	0.2 d	2.2 d	1.2 d	0.40 d
60	0.01 a	0.7 c	1.1 c	< dl	2.2 c	15.0 c	2.5 c	17.0 c
120	0.02 a	0.8 b	6.2 b	< dl	5.6 b	47.2 b	3.7 b	43.0 b
180	0.02 a	1.1a	9.4 a	< dl	8.6 a	82.5 a	5.6 a	69.7 a
CONAMA	2	20.5	37	77	158.5	---	---	222.5
Test F	0.0010	0.0008	<0.0001	---	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CV%	18.20	19.51	15.84	---	18.98	20.8	21.50	17.30

Means followed by the same letter in the columns do not differ according to Skott Knott test at  $p < 0.05$ . dl: detection level. CV% = Coefficient of Variation

The metals Zn and Ni presented the highest contents, which vary, respectively, from 0.4 to 69.7 and from 0.3 to 9.3  $\text{mg dm}^{-3}$ . Such results confirm expectations, since they were the metals with the highest concentration in the sludge (Table 3). In the control treatment, Cd was below the detection level of the analytical technique. In the other treatments, there was no significant variation. In relation to Pb, Cu, Fe and Mn, the largest levels were obtained with the application of 180  $\text{t ha}^{-1}$ .

Correspondence between sewage sludge doses and heavy metals contents on leaves are present in Figure 1. Zn increased from 55.6 to 218.4  $\text{mg dm}^{-3}$  comparing control to 60  $\text{t ha}^{-1}$  treatment. Already, 120 and 180  $\text{t ha}^{-1}$  treatments presented relevant reduction to 96.3 and 89.4  $\text{mg dm}^{-3}$ , respectively. Cu contents presented the same behavior, with increases of 4.54 to 117.2  $\text{mg dm}^{-3}$  from control to 60  $\text{t ha}^{-1}$  and reduction of 8.1 and 7.7  $\text{mg dm}^{-3}$  in 120 and 180  $\text{t ha}^{-1}$  treatments. As for Mn, the 120  $\text{t ha}^{-1}$  treatment was the only one that differed statistically from the others, with a content of 90.5  $\text{mg dm}^{-3}$ , which was the lowest mean. The highest Cd and Cr values were obtained with 60  $\text{t ha}^{-1}$ . The other results did not differ from the statistical stand point.

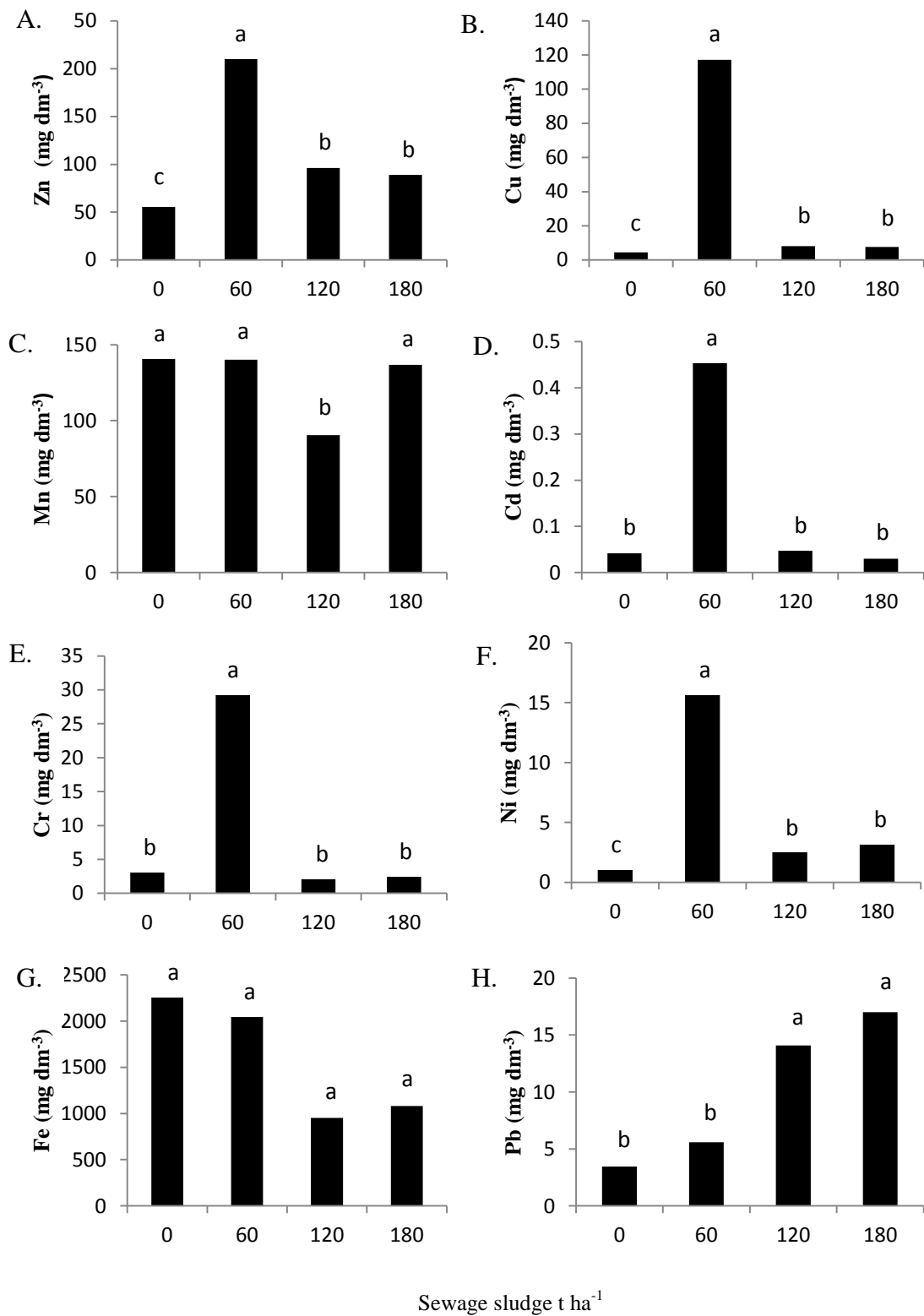


Figure 1: Zn (A), Cu (B), Mn (C), Cd (D), Cr (E), Ni (F), Fe (G) and Pb (H) accumulation on leaves. Bars followed by the same letters do not differ statistically according to Skott Knott test at  $p < 0.05$ .

As far as Ni is concerned, there was a significant increase from 1.4 to 16.5 mg dm<sup>-3</sup> comparing control to 60 t ha<sup>-1</sup> concentration. Treatments with 120 and 180 t ha<sup>-1</sup>

concentrations presented reduction to 3.4 and 4.2 mg dm<sup>-3</sup>, respectively. There was no difference from the statistical stand point among treatments concerning Fe contents on lettuce leaves. In this case, values varied from 951 to 2,360 mg dm<sup>-3</sup>. For Pb the highest means were observed in treatments with 120 t ha<sup>-1</sup> (14.1 mg dm<sup>-3</sup>) and 180 t ha<sup>-1</sup> (17 mg dm<sup>-3</sup>), statistically identical.

Metals must be bioavailable to be absorbed. Metal bioavailability is influenced by soil properties, i.e., pH, organic matter, iron oxides, as well as sludge application rate (Hue & Ranjith, 1994). Though metal contents in the soil have increased after application of sewage sludge, Cd, Cr, Zn, Ni and Cu were less absorbed by plants in 120 t ha<sup>-1</sup> and 180 t ha<sup>-1</sup> treatments. These results were different from those obtained by Singh & Agrawal (2010), who identified an increase in metal contents in bean plants by increasing sewage sludge doses. However, distinctly, those authors used much lower doses, the maximum being 12 t ha<sup>-1</sup>.

According to Tsutiya (2002), a reduction of metal contents in the plant, despite the increase of organic compound doses, maybe related to increment of soil organic matter, which acts as immobilizator and regulator of heavy metals availability to plants. Therefore, the application of sewage sludge at 120 t ha<sup>-1</sup> and 180 t ha<sup>-1</sup> supplied large quantities of organic matter to soil diminishing availability and reducing absorption of those metals. In the 60 t ha<sup>-1</sup> treatment, organic matter added to the soil was not enough to reduce metals availability.

Sludge application did not influence Fe contents in plant leaf tissue and affected Mn absorption only in the 120 t ha<sup>-1</sup> treatment. This probably occurred due to previous soil high levels of those metals. Those elements are essential nutrients to plants and other organisms and, according to Marques et al. (2002), present low risk, their disposal in larger quantities in agriculture soils being accepted. This practice is in accordance with law, which does not established maximum limits for those metals in sewage sludge for use in agriculture.

Pb absorption increased by increasing applied doses, its availability suffering no reduction due to increase of organic matter in the soil. According to Baird & Cann (2011), lettuce absorbs large quantities of that metal, accumulating the element on the leaf tissue. In relation to plants growth, sludge application significantly affected plants W, DM, NLP and D (Table 6).

The lowest plant weight mean was in the control treatment, followed by treatment with 60 t ha<sup>-1</sup>, while 120 t ha<sup>-1</sup> and 180 t ha<sup>-1</sup> treatments were statistically equal, presenting the highest values. In relation to the other variables, NLP, DM and D, gradual increase was observed up to the 120 t ha<sup>-1</sup> concentration and reduction at the 180 t ha<sup>-1</sup> concentration.

Table 6. Comparison of means obtained for weight, dry biomass, number of leaves per plant and plant diameter found at different treatment.

Treatments (t ha <sup>-1</sup> )	W (g)	DM (g)	NLP	D (cm)
0	9.95 c	0.58 d	8.00 c	8.98 d
60	27.17 b	2.12 c	17.75 b	18.32 c
120	80.15 a	7.58 a	27.50 a	31.40 a
180	73.87 a	4.77 b	19.25 b	28.12 b
Test F	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CV %	9.51	15.50	18.16	8.70

\*Means followed by the same letter do not differ according to Scott-Knott test at p<0.05. CV% = Coefficient of Variation. W = weight. DM = dry mater. NLP = number of leaves per plant. D = diameter.

Lavado (2006) reported that improvement in soil properties due to sewage sludge application increases plant productivity. In every variable considered to evaluate plants growth, control treatment presented the lowest means. These low values may be explained by the low nutrients concentration in the soil, negatively influencing plant growth and may result in slight reduction to total loss of the vegetal production (Silva et al., 2011).

Sludge application led to an increase in plant production, due to a larger concentration of nutrients supplied to the soil, specially N and P. According to Cecato et al. (2000), P acts on respiration and energy production, intensifying cell division and root system development. On the other hand, N is the main protein constituent which actively takes part in the synthesis

of organic compounds of the vegetal structure and, therefore, is responsible for the characteristics linked to plants growth.

Another factor that may have favored the enhancement in plant production was the improvement of soil physical conditions. Application of sludge may lead to a soil density reduction and an increase of porosity, improving retention and infiltration of water and favoring roots growth, contributing to a better plant development (Aggelides & Londra, 2000).

In the 180 t ha<sup>-1</sup> treatment there was reduction in the number of leaves per plant, in dry matter and in plant diameter. The reduction was not related to toxicity caused by heavy metals, since metal absorption by the plants was reduced in this treatment.

In accordance with Domene et al. (2008), residues toxicity may not be related to the polluting charge, at least in short term, but mainly by harmful compounds, such as ammonium, that is released during residue decomposition in the soil. Therefore, it is possible that the reduction in plant production in the 180 t ha<sup>-1</sup> treatment is due to excess ammonium released in the soil in consequence of the high concentration of applied sludge.

Other authors also observed reduction in plant production after application of high doses of sewage sludge and increased production with intermediate doses (Singh & Sinha, 2004; Singh & Agrawal, 2010).

## CONCLUSION

Application of sewage sludge increased carbon, organic matter, CEC and nutrients contents, increasing soil fertility. Heavy metals contents also increased, though at levels lower than limits established by the Brazilian Law. Plants presented positive growth due to larger availability of nutrients up to the treatment of 120 t ha<sup>-1</sup>. However, with the 180 t ha<sup>-1</sup> treatment there was reduction of dry matter, number of leaves per plant and plant diameter, therefore, negatively influencing plant growth.



A reduction in the absorption of Cd, Cr, Zn, Ni and Cu was observed with treatments with the highest concentrations of applied sewage sludge, which confirmed the hypothesis that the organic matter supplied to the soil by sewage sludge decreases the availability of heavy metals. Results show that the sewage sludge used presents high potential to be applied as fertilizer in agriculture and as soil conditioner, provided it is not applied in concentrations higher than 120 t ha<sup>-1</sup>.

### ACKNOWLEDEMENTS

The authors thank the UNIFENAS for allowing the use of the greenhouse where the experiment was carried out, the COPASA for the sewage sludge samples and the COOXUPÉ for carrying out the chemical analyses.

### REFERENCES

- AGGELIDES, S.M.; LONDRA, P.A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.71, n.3, p.253-259, 2000.
- ALLISON, F.A. **Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 631p.
- ANGIN, I., ASLANTAS, R., KOSE, M., KARACURTE, H., OZKAN, G. Changes in chemical properties of soil and sour cherry as a result of sewage sludge application. **Horticultural Science**, Prague, v.39, n.2: 61–66, 2012.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 4.ed., 2011. 844p.
- CECATO, U.; YANAKA, F.Y.; TOSCANO, M.R.B.F. et al. Influência da adubação nitrogenada e fosfatada na produção, na rebrota e no perfilhamento do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* Hochst. Stapf. cv. Marandu). **Acta Scientiarum**, Maringa, v.22, n.3, p.817-822, 2000.
- CÉZAR, R.; SILVA, M.; COLONESE, J.; BIDONE, E.; EGLER, S.; CASTILHOS, Z.; POLIVANOV, H. Influence of the properties of tropical soils in the toxicity and bioavailability of heavy metals in sewage sludge-amended lands. **Environmental Earth Science**, Berlin, v.66, p.2281-2292, 2012.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções nº 375 e nº 380, de 29 de agosto de 2006**. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 01 de Julho de 2010.

DOMENE, X., RAMÍREZ, W., MATTANA, S., ALCÁÑIZ, J.P., ANDRÉS, P. Ecological risk assessment of organic waste amendments using the species sensitivity distribution from a soil organisms test battery. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v.155, p.227-236, 2008.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p. 1039-1042, nov./dec. 2011.

HUE, N.V., RANJITH, S.A. Sewage sludges in Hawaii: chemical composition and reactions with soils and plants. **Water Air Soil Pollution**, Berlin, v.72, p.265–283, 1994.

KORF, P.E.; MELO, E.F.R.Q.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P.A.V. Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo – RS. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.2, n.2, p.43 - 60, 2008.

LAVADO, R.S. Effects of sewage sludge application on soils and sunflower yield: quality and toxic element accumulation. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.29, p.975–984. 2006.

LIAO, Y.C.; CHIEN, S.W.C.; WANG, M.C.; SHEN, Y.; HUNG, P.L.; DAS, B. Effect of transpiration on Pb uptake by lettuce and on water soluble low molecular weight organic acids in rhizosphere. **Chemosphere**, Amsterdam, v.65, p.343–351, 2006.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J. de; MARQUES, T.A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na Agricultura**. 2.ed., São Paulo: ABES/SP, p.365-403. 2002.

NIELSON, G.H., HOGUE, E.J., NIELSON, D., ZEBARTH, B.J. Evaluation of organic wastes as soil amendments for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.78, p.217–225, 1998.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. 285p.

SHUMAN, L.M. Organic waste amendments effect on zinc fractions of two soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1442-1447, 1999.

SILVA, A.A.; COSTA, A.M.; LANA, R.M. Q. Absorção de micronutrientes em pastagem de brachiaria decumbens, após aplicação de cama de peru e fontes minerais na fertilização. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.41-48, 2011.

SINGH, R.P., AGRAWAL, M.M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste Management**, Amsterdam, v.28, p.347–358, 2008.

SINGH, R.P., AGRAWAL, M.M. Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: Metal uptake by plant. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.36, p.969–972, 2010.

SINGH, S., SINHA, S., Scanning electron microscopic studies and growth response of the plant of *Helianthus annuus* L. grown on tannery sludge amended soil. **Environmental International**, Amsterdam, v.30, p.389–395, 2004.

SOMMERS, L.E., Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.6, p.225–232, 1977.

TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na Agricultura**. 2.ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. p.89-131.

## CONCLUSÃO GERAL

Os resultados indicam que o lodo de esgoto pode se tornar um importante recurso para a agricultura devido às melhorias provocadas no solo. Porém, é importante que a utilização desse resíduo como insumo agrícola seja feita de forma controlada, com o monitoramento das concentrações de metais pesados no solo ao longo do tempo, para que haja o bom aproveitamento do potencial agronômico do lodo sem risco de poluição ambiental e contaminação da cadeia trófica. Além disso, o planejamento para uso agrícola do lodo de esgoto deve levar em conta não apenas os teores de metais pesados do resíduo, como é definido pela legislação, mas também a interação dos metais com as propriedades químicas do solo, como a matéria orgânica, que influenciam diretamente a disponibilidade dos metais.

Os resultados também apontam para a possibilidade de utilização da alface como planta fitorremediadora em solos contaminados com metais pesados, principalmente chumbo.