

**GERALDO RIBEIRO ZUBA JUNIO**

**PRODUTIVIDADE, NUTRIÇÃO MINERAL E TEORES DE METAIS  
PESADOS EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COM  
COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Reginaldo Arruda Sampaio

Montes Claros

2011

Z93p  
2011

**Zuba Junio, Geraldo Ribeiro.**

**Produtividade, nutrição mineral e teores de metais pesados em milho adubado com fosfato natural e com composto de lodo de esgoto / Geraldo Ribeiro Zuba Junio. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2011.**

92f: il.

**Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.**

**Orientador: Prof. Regynaldo Arruda Sampaio.**

**Banca examinadora: Antônio Carlos de Souza Abboud, Leonardo David Tuffi Santos, Luiz Arnaldo Fernandes, Regynaldo Arruda Sampaio.**

**Inclui bibliografia: f. 83-92.**

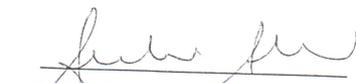
**1. Lodo de esgoto. 2. Adubação – Milho. 3. Agroecologia. I. Sampaio, Regynaldo Arruda. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.**

**CDU: 628.3**

**Elaborada pela BIBLIOTECA COMUNITÁRIA DO ICA/UFMG**

GERALDO RIBEIRO ZUBA JUNIO

PRODUTIVIDADE, NUTRIÇÃO MINERAL E TEORES DE METAIS  
PESADOS EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COM  
COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO

  
Dr. Antônio Carlos de Souza Abboud

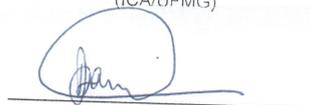
(UFRRJ)

  
Prof. Leonardo David Tuffi Santos

(ICA/UFMG)

  
Prof. Luiz Arnaldo Fernandes

(ICA/UFMG)

  
Prof. Regynaldo Arruda Sampaio

Orientador (ICA/UFMG)

Aprovada em 25 de fevereiro de 2011.

Montes Claros  
2011

*Dedico  
à minha mãe,  
aos meus irmãos e  
ao meu querido pai,  
exemplo de dignidade.  
Saudades eternas!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por iluminar a minha vida, em mais esta conquista, permitindo a realização desta pesquisa;

Aos professores e aos funcionários do ICA / UFMG, em especial, ao meu orientador, Prof. Reginaldo Arruda Sampaio, que, com suas orientações, tornou possível a realização desta pesquisa, demonstrando-me sempre muita dedicação, compreensão e amizade.

Ao Fabiano Barbosa de Souza Prates, à Altina Lacerda Nascimento, grandes amigos que sempre me ajudaram nos momentos de que precisei.

Aos meus colegas e amigos, em especial a Edmilson Bicalho Júnior, Leonardo Campos Vieira, Guilherme Brandão Santos e demais membros do NEAAR.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, que, por meio do apoio financeiro, tornou possível a condução desta pesquisa.

A todos aqueles que de, alguma forma, contribuíram para que esta pesquisa fosse concluída, muito obrigado!

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE, NUTRIÇÃO MINERAL E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS**

1 -	Quantidades de nutrientes aplicadas por tratamento com composto lodo de esgoto.....	27
2 -	Teores de matéria orgânica e pH do solo adubado com fosfato natural e composto de lodo.....	30
3 -	Teores de macronutrientes primários no solo, em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto.....	32
4 -	Teores de macronutrientes secundários no solo, em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto.....	33
5 -	Teores de macronutrientes em folha de milho, em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto.....	34
6 -	Equações de regressão relacionando a produtividade, os teores de matéria orgânica e pH do solo e a adubação com composto de lodo de esgoto.....	36
7 -	Equações de regressão relacionando os macronutrientes no solo e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	38
8 -	Equações de regressão relacionando os teores de nutrientes na folha de milho e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	40
9 -	Produtividade, teores de matéria orgânica e pH do solo adubado residualmente com fosfato natural e composto de lodo de esgoto.....	42
10 -	Teores de macronutrientes primários no solo, em função da adubação residual com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto.....	43
11 -	Teores de macronutrientes secundários no solo, em função da adubação residual com fosfato de Gafsa e composto lodo de esgoto em milho.....	45

12 -	Teores de nutrientes na folha de milho, em função da adubação residual com fosfato de Gafsa e composto lodo de esgoto em milho.....	46
13 -	Equações de regressão relacionando a produtividade, os teores de matéria orgânica, pH do solo e as doses residuais de composto de lodo de esgoto.....	48
14 -	Equações de regressão relacionando os teores de macronutrientes no solo e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	50
15 -	Equações de regressão relacionando os teores de nutrientes na folha de milho e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	54
16 -	Intervalos de confiança das médias de produtividade, de teores de matéria (MO) orgânica, de pH e de teores de macronutrientes no solo e na folha de milho, nos dois cultivos sucessivos.....	56

### **CAPÍTULO 3 - TEORES DE METAIS PESADOS EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS.....**

1 -	Quantidades de metais pesados aplicadas por tratamento com composto lodo de esgoto.....	63
2 -	Teores de metais pesados no solo, após o primeiro cultivo, em resposta à adubação com fosfato natural e composto de lodo de esgoto.....	66
3 -	Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados no solo, após o primeiro cultivo e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	68
4 -	Teores de metais pesados na folha de milho do primeiro cultivo, adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural.....	70
5 -	Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados na folha de milho do primeiro cultivo e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	71
6 -	Teores de metais pesados no solo em resposta à adubação residual com fosfato natural e composto de lodo de esgoto....	73
7 -	Teores de metais pesados na folha de milho, em resposta à adubação residual com composto de lodo de esgoto e fosfato natural.....	74

<b>8 -</b>	Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados no solo e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	<b>76</b>
<b>9 -</b>	Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados na folha de milho e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas.....	<b>79</b>
<b>10 -</b>	Intervalos de confiança das médias dos teores de metais pesados no solo (mg dm <sup>-3</sup> ) e na folha (mg kg <sup>-1</sup> ) de milho nos dois cultivos sucessivos.....	<b>81</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>COPASA/MG</b>	Companhia de Saneamento de Minas Gerais de Minas Gerais
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
2.1	Lodo de Esgoto.....	13
2.2	Reciclagem Agrícola do Lodo.....	15
2.3	Fosfato Natural.....	17
2.4	Milho.....	18
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
3.1	Objetivo Geral.....	21
3.2	Objetivos Específicos.....	21
	<b>CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE, NUTRIÇÃO MINERAL E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS.....</b>	<b>22</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>22</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>23</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
	<b>CAPÍTULO 3 - TEORES DE METAIS PESADOS EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS.....</b>	<b>58</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>58</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>59</b>

1	INTRODUÇÃO.....	60
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	62
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4	CONCLUSÃO.....	82
	REFERÊNCIAS.....	83

## CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

### 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de esgotamento sanitário são importantes para a garantia de saúde dos cidadãos, porém, no Brasil, grande parte da população ainda não é atendida pelos serviços de saneamento, o que contribui para a contaminação dos corpos d'água e a elevação do número de internações hospitalares, ocasionadas por doenças de veiculação e origem hídrica. Pressionados por esses fatos, os governos têm direcionado recursos para investimentos em saneamento, sendo que várias estações de tratamento de esgotos (ETEs) já foram ou estão sendo implantadas no país. Na região do norte de Minas Gerais várias ETEs já foram ou estão sendo implantadas pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais de Minas Gerais – COPASA/MG, podendo-se citar, dentre elas, as de Juramento, Glaucilândia, Capitão Enéas e Montes Claros. A construção das estações de tratamento traz consigo o aumento do volume de lodo gerado, causando uma grande preocupação em relação à sua disposição final. Dentro desse contexto, torna-se imperiosa a busca de soluções para o destino adequado desse resíduo, sendo a sua reciclagem agrícola a alternativa mais promissora do ponto de vista econômico e ambiental.

A utilização do lodo de esgoto na agricultura apresenta-se como tendência mundial e consiste na incorporação do lodo ao solo, de modo a promover a melhoria das condições químicas e físicas e de desenvolvimento das plantas, podendo ser utilizado na agricultura, na silvicultura, na floricultura, no paisagismo ou na recuperação de áreas degradadas. É uma importante fonte de matéria orgânica ao solo e de elementos essenciais às plantas, podendo complementar os fertilizantes minerais e reduzir os custos de produção. Apresenta, porém, riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com patógenos, parasitas e metais pesados.

A presente pesquisa teve o intuito de determinar a dose adequada de composto de lodo de esgoto na presença e na ausência de fosfato natural, para melhor produtividade de milho, além da avaliação do risco de contaminação do solo com metais pesados. Além disso, a pesquisa visou a

contribuir com informações para a consolidação da tecnologia da reciclagem agrícola do lodo e produzir dados científicos, que auxiliarão no esclarecimento das entidades envolvidas e na sensibilização dos produtores rurais para a possibilidade da utilização do lodo, sem ônus para a saúde humana e ambiental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto é um resíduo das estações de tratamento de águas residuárias (ETEs), seja ele domiciliar, industrial ou agroindustrial. Por muito tempo, os projetos de tratamento de esgotos foram elaborados e executados, sem que houvesse uma destinação precisa para o lodo excedente gerado nas unidades componentes de uma estação de tratamento. A crescente implantação de estações de tratamento de esgotos nos municípios brasileiros tem ampliado enormemente o volume de lodo gerado, causando grande preocupação com relação à sua disposição final (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI; SILVA, 2006a). Recentemente, os órgãos ambientais passaram a exigir projetos que contemplem também o gerenciamento do lodo, como forma de resguardar a saúde das pessoas e proteger o meio ambiente contra impactos advindos da aplicação indevida desse resíduo.

Dentre as formas de transformação ou destinação do lodo, destacam-se o aterramento, a incineração e a aplicação no solo. O aterro é um método que utiliza princípios de engenharia para o confinamento dos resíduos à menor área possível e a sua redução ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra sempre que necessário (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1985). A incineração é um método de tratamento que se utiliza da decomposição térmica via oxidação, com o objetivo de tornar o resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico ou ainda eliminá-lo, em alguns casos (ROCCA, 1993). Conforme Fernandes *et al.* (2001), do ponto de vista sustentável, a eliminação do lodo, por meio de incineração ou pela disposição em aterros sanitários somente é empregada, quando a sua valorização é impossível, devido à presença de contaminantes no lodo ou à ausência de solos adequados nas proximidades da estação de tratamento.

Apesar das várias alternativas existentes para o descarte final do lodo de esgoto, a sua utilização na agricultura apresenta-se como a alternativa mais promissora, do ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que promove a reciclagem de nutrientes e a melhoria física e química no solo,

além de ser uma solução de longo alcance para destinação final desse resíduo (GOMES *et al.*, 2006; MARQUES *et al.*, 2007; MARTINS *et al.*, 2003; OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001; SILVA *et al.*, 2005), podendo ser utilizado em grandes culturas, na silvicultura, na floricultura, nos projetos de paisagismo ou na recuperação de áreas degradadas.

Apresenta, porém, riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com patógenos e metais pesados, podendo assim limitar a sua utilização como fertilizante (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; GOMES *et al.*, 2006; NOGUEIRA *et al.*, 2007, OLIVEIRA *et al.*, 2009). Os patógenos passíveis de ser encontrados no lodo são ovos de helmintos, cistos de protozoários, bactérias e vírus entéricos. Dentre os helmintos, *Taenia solium* merece destaque por causar uma zoonose de alta incidência na América latina. Conforme Silva *et al.* (2001a), a frequência de enfermidades enterobacterianas transmitidas por lodo de esgoto é baixa, porém o aumento da aplicação no solo pode potencializar o risco.

Os metais pesados estão presentes no lodo de esgoto, porém não há resultados conclusivos sobre a efetiva contaminação do solo decorrente do uso agrícola desse resíduo. Entretanto, a longo prazo, o aumento da concentração de metais no solo, resultante da aplicação do lodo, torna-se uma preocupação justificada, pois se não for adequadamente controlada, pode afetar o meio ambiente (GOMES *et al.*, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2004). Isso ocorre em razão das concentrações de metais no lodo serem mais elevadas do que as naturalmente encontradas em solos (SILVA *et al.*, 2006).

No Brasil, o lodo de esgoto tem proporcionado aumento de produtividade em experimentos com cana-de-açúcar (CHIBA *et al.*, 2008a,b; MARQUES *et al.*, 2007), eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000), feijão (NASCIMENTO *et al.*, 2004; NOGUEIRA *et al.*, 2006), milho (LEMANSKI; SILVA 2006a; NASCIMENTO *et al.*, 2004; NOGUEIRA *et al.*, 2006; SIMONETE *et al.*, 2003; TRANNIN *et al.*, 2005;) e Soja (LEMANSKI; SILVA, 2006b; VIEIRA *et al.*, 2005;). Há também, experiências, como a de Curitiba, onde foi implantado, em 2000, o programa para a reciclagem agrícola do lodo em todo o estado (FERNANDES *et al.*, 2003). David e Tsutiya (2001) também

admitem que a utilização do lodo na agricultura, além de ser a alternativa mais equilibrada, do ponto de vista ecológico, e considerada a solução mais econômica para a região metropolitana de São Paulo.

## 2.2 Reciclagem Agrícola do Lodo

A fertilização de solos com lodo de esgoto aumenta a reciclagem de nutrientes e promove melhorias físicas no solo, em virtude de ser uma importante fonte de matéria orgânica e, por conter elementos essenciais às plantas, podem complementar os fertilizantes minerais, reduzindo os custos de produção (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI; SILVA, 2006a; SILVA *et al.*, 2002a).

No Brasil, foram definidos critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, por meio da Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006)<sup>1</sup>. Os estados do Paraná e São Paulo possuem regulamentação específica para a aplicação do lodo ao solo.

Culturas que recebem o lodo de esgoto têm respondido de forma satisfatória à adubação. Chiba (2005) destaca que o lodo de esgoto constitui-se numa fonte eficiente de nitrogênio para soqueiras de cana-de-açúcar, não sendo necessária complementação com fertilizantes nitrogenados para a obtenção da mesma produção de colmos e de açúcar obtida com a adubação mineral convencional. Simonete *et al.* (2003) e Nascimento *et al.* (2004) também observaram aumento do teor de nitrogênio no solo e da produção de milho e de feijão, com o incremento das doses de lodo de esgoto. Fernandes *et al.* (2003) relatam um aumento de 43% da produção de feijão e 48% da produção de milho, quando o lodo caleado foi utilizado no condicionamento dos solos. Por outro lado, Nogueira *et al.* (2006) observaram que as produções de milho e de feijão consorciados não diferiram, quando a adubação foi realizada com lodo de esgoto ou com fertilizante mineral. Alcântara *et al.* (2003) compararam experimentos em que foram aplicados lodo caleado e lodo seco ao ar, na cultura do algodoeiro herbáceo e

---

<sup>1</sup> [www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res\\_conama37506](http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506)

obtiveram melhores resultados com esse último. O máximo rendimento foi de 46,64 g/planta para a dose de 300,4 kg/ha de N. Segundo os autores, a secagem do lodo ao ar preserva a matéria orgânica e os nutrientes, ao passo que a caleação favorece a perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Também pode ter ocorrido um aumento excessivo de pH do solo, como lodo caleado, o que teria provocado o desequilíbrio dos nutrientes, tornando-os indisponíveis as plantas. Em Linhares-ES, o lodo foi utilizado com sucesso nas culturas de mamão, banana e café, conforme Wanke *et al.* (2003). Os autores ressaltam a necessidade de realização de um trabalho de sensibilização dos produtores rurais, com o intuito de demonstrar a viabilidade da utilização do lodo na agricultura. De acordo com Andreoli *et al.* (1999), foram encontrados aumentos de produtividade significativos com o uso de lodo de esgoto no sistema de cultivo de bracinga consorciado com o milho e feijão no Paraná, sendo o retorno financeiro investido em adubo, quatro vezes maior com o uso do lodo de esgoto, quando comparado à adubação mineral.

Uma possibilidade para a utilização do lodo pode ser a sua compostagem, juntamente com outro material rico em carbono, uma vez que há grande presença de nutrientes no lodo, de forma a manter a relação carbono/nitrogênio (C/N) próxima a 30. A compostagem se constitui na transformação dos resíduos orgânicos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras, conforme Lima (1995). Os parâmetros envolvidos no processo são aeração, temperatura, umidade, relação C/N e tamanho das partículas (PEREIRA NETO, 1996).

Costa *et al.* (2000) relatam que a compostagem de lodo primário e resíduos de capim meloso, capim napier verde, capim napier seco, palha de café e esterco de galinha, na proporção de 50 kg de lodo para cada m<sup>3</sup> da mistura de resíduos vegetais, produziu um excelente adubo orgânico. Nogueira *et al.* (2006), estudando a aplicação de composto produzido com a mistura de lodo de esgoto e de biomassa de *Ipomoea carnea* spp., constataram não haver diferença de produção de milho e feijão consorciados, quando comparado à adubação mineral.

### 2.3 Fosfato Natural

O uso de fosfato natural na agricultura é um dos assuntos mais estudados no Brasil, nos últimos 30 anos e que mesmo assim, ainda há muitas dúvidas sobre a utilização dessas fontes de fósforo, com o intuito de alcançar a produtividade máxima econômica de varias culturas em relação aos tradicionais fosfatos acidulados (superfosfatos simples e triplo), que são utilizados como padrões de referência em relação a fertilizantes fosfatados (LOPES, 1999).

De acordo com Novais, (1999), o fosfato natural é um produto não renovável, que tem grande influência na produtividade agrícola. O fósforo é reconhecidamente um dos elementos mais importantes para o metabolismo vegetal, embora seja exigido em quantidades inferiores ao N e ao K. Segundo Kiehl (2002), por meio da adubação, são aplicadas quatro vezes mais fósforo no solo do que a capacidade da planta absorver, pelo fato de ocorrer a fixação na maioria dos solos.

Resultados obtidos por pesquisas têm demonstrado que as condições favoráveis à solubilização de fosfatos não refletem, de modo geral, a maior eficiência como fonte desse nutriente para as plantas (NOVAIS, 1999).

O teor de argila de um solo influencia a disponibilidade de fósforo para as plantas por meio do processo de adsorção promovido pelas partículas do solo, necessitando, assim, de doses maiores para suprir uma necessidade bem menor de fósforo pela planta. Embora essa retenção seja um fenômeno favorável à utilização de P pelas plantas, o “envelhecimento” dessa retenção, com formação de P não lábil, torna-se um fator restritivo à absorção desse elemento. A retenção do P adicionado ao solo, em formas lábeis ou não, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como, de forma mais significativa, pela sua adsorção pelos oxidróxidos de Fe e de Al, presentes em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados, de modo particular nos mais argilosos (NOVAIS, 1999). No solo, o fósforo pode ser dividido em quatro categorias: fósforo na forma iônica e em compostos na solução do solo; fósforo adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de fósforo e

componentes da matéria orgânica. São, assim, consideradas três frações no solo, ou seja, fósforo em solução, P-lábil e o P-não lábil (ANDRADE, 2001).

A utilização da fosfatagem corretiva, com fosfatos de baixa reatividade, não deve ser recomendada para a cultura do milho, quando se deseja alcançar produtividades elevadas, devido à grande dependência da planta por desse elemento, o que resulta em um volume muito grande desse produto, tornando, assim, inviável economicamente a adubação de um solo de cerrado recém-aberto (NOVAIS, 1999).

Os fosfatos naturais de baixa reatividade e os reativos têm a sua eficiência aumentada com o passar dos anos, quando o solo é submetido às operações de aração e gradagem, que levam a uma mistura do mesmo na camada arável, podendo até superar os fosfatos acidulados, em sistemas de cultivo convencional (LOPES, 1999).

## 2.4 Milho

No Brasil, o milho é cultivado em praticamente todas as regiões do país, ocupando uma das maiores áreas destinadas à produção de grãos (14 milhões de hectares). É uma das culturas mais importantes para a agricultura familiar brasileira, tanto para a subsistência quanto para a comercialização e também pela demanda de mão de obra, proporcionando grande geração de emprego no campo. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho. Os grãos são utilizados na alimentação humana, na fabricação de ração animal, principalmente de aves e suínos ou mesmo sendo fornecidos na forma *in natura* aos animais. Atualmente, 60 a 80% do milho produzido são utilizados para a produção de ração para alimentação animal e, devido à falta de informação sobre as suas qualidades nutricionais, somente cerca de 15% da produção brasileira se destinam ao consumo humano (SILVA *et al.*, 2008; SOUZA; BRAGA, 2008). Nos Estados Unidos e no Canadá, a maior parte do milho também é utilizado na alimentação dos animais. Mas recentemente Europa e EUA têm incentivado o seu uso para produção de etanol (biocombustível), o que acaba contribuindo para o aumento do preço do produto (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2000). Segundo dados divulgados pelo Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento - MAPA (2007), estima-se que a demanda no consumo de milho no Brasil irá aumentar no período compreendido entre 2005 e 2015; esses aumentos serão da ordem de 36,9%, no segmento animal e 1,3% ao ano, no setor industrial e o volume de grãos destinados à alimentação humana, nas regiões norte e nordeste, deverá acompanhar o ritmo de crescimento populacional, chegando a 1,96 milhões de toneladas em 2015.

Na região sudeste do Brasil, a época de plantio mais indicada é de setembro a novembro. O ciclo da cultura pode variar entre 115 e 135 dias, dependendo da cultivar utilizada. A produção de grãos aumenta a cada ano, com a introdução de novas variedades e novas tecnologias, mas a área plantada não é suficiente para atender às demandas do mercado interno, gerando problemas de abastecimento para a indústria nacional (SILVA *et al.*, 2008). A solução para esse problema passa pela expansão da área plantada e pelo aumento da produtividade das áreas atualmente cultivadas, que podem ser conseguidos com a aplicação de fontes de matéria orgânica, as quais possibilitam melhoria das condições físicas e químicas do solo, favorecendo, assim, o desenvolvimento da cultura.

A cultura do milho promove uma remoção de grandes quantidades de N do solo, na forma de amônio e nitrato, que são as formas absorvidas pelas plantas, sendo então uma cultura que necessita de N e que tem boa resposta à adubação nitrogenada (CANTARELLA; DUARTE, 2008; COELHO *et al.*, 2002). Nos países do Terceiro Mundo, o uso de adubação nitrogenada é mais restrita aos grandes produtores, devido ao custo para a compra e a aplicação desse adubos, o que, muitas vezes, acaba limitando os pequenos produtores, que só utilizam esse insumo agrícola, quando o preço do produto está elevado (RIBASKI *et al.*, 2001).

A adubação orgânica pode aumentar a porcentagem de proteína nos grãos de milho, mas somente após dois plantios sucessivos e mostra-se como uma alternativa para a obtenção de um produto com maior qualidade nutricional e com menores custos (MATTEUCCI *et al.*, 1995).

A variedade de milho BR 106 foi lançada, em 1985. É uma variedade rústica, que apresenta boa estabilidade de produção e adaptabilidade a todas

as regiões brasileiras. É resistente ao acamamento e ao ataque das principais pragas da cultura. Possui porte em torno de 2.40 m e ciclo intermediário de 130 dias. Para essa variedade, recomenda-se um estande de 40 a 50 mil plantas por hectare, utilizando espaçamento entre linhas de 80 cm a 1 m e expectativa de produtividade média de 5.500 kg/ha (NOCE, 2004). A produção do milho está ligada ao aspecto social, pois engloba um grande número de pequenos produtores que dependem dessa produção para viver. A cultura só perde em demanda por mão de obra para a pecuária bovina, tornando-se assim, um dos mais importantes produtos do setor agrícola no Brasil (EMBRAPA, 2000).

Diante do exposto, dada a importância econômica e social do milho para a alimentação humana e animal no norte de Minas Gerais, acredita-se que a produção do conhecimento e a geração de tecnologia local para o seu cultivo, usando lodo de esgoto, possam contribuir para a redução dos custos da cultura e, mais do que isso, apontar para um destino ambientalmente adequado para esse resíduo.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa foi estabelecer e divulgar técnicas alternativas de adubação do milho (*Zea mays*) no norte de Minas Gerais.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a produtividade do milho adubado com composto de lodo de esgoto e com fosfato natural.
- Determinar a dose adequada de composto de lodo de esgoto para o cultivo de milho.
- Avaliar a interação do composto de lodo de esgoto com a adubação fosfatada sobre a produtividade e a nutrição do milho.
- Avaliar a magnitude dos teores de nitrogênio, de fósforo e de potássio no solo e no tecido foliar de milho.
- Avaliar o risco de perda de nitrogênio por lixiviação.
- Avaliar o potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas e como condicionador do solo.
- Avaliar os teores de metais pesados no solo sob diferentes profundidades.
- Avaliar o efeito residual do lodo de esgoto sobre a produtividade, os atributos químicos do solo e os teores de nutrientes em milho cultivado em segundo cultivo sucessivo.

## **CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE, NUTRIÇÃO MINERAL E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS**

### **RESUMO**

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da adubação com 4 doses de composto de lodo de esgoto e 2 de fosfato natural sobre os atributos químicos do solo, os teores de nutrientes na planta e a produtividade de milho em dois cultivos sucessivos. A pesquisa foi realizada em Cambissolo Háplico no delineamento em blocos casualizados, com os tratamentos em esquema fatorial 2 x 4, correspondente a 2 doses de fosfato de gafsa (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 4 doses de composto de lodo de esgoto (0; 25; 50 e 75 Mg ha<sup>-1</sup>, em base seca), com 3 repetições. A produtividade e os teores de macronutrientes no solo e na planta, no primeiro e no segundo cultivo sucessivo de milho, não são, em geral, influenciados pela adubação com fosfato natural reativo, em solo contendo teor inicial médio de cálcio e irrigado com água de origem calcária, porém aumentam, com a adição de composto de lodo de esgoto ao solo, sendo a dose ótima recomendada de 75 Mg ha<sup>-1</sup>, devendo ser realizada nova adubação a cada plantio realizado.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Biossólido. Fosfato de Gafsa.

**CHAPTER 2 - PRODUCTIVITY, MINERAL NUTRITION AND MACRONUTRIENTS CONTENTS IN MAIZE FERTILIZED WITH PHOSPHATE ROCK AND SEWAGE SLUDGE COMPOST IN TWO CONSECUTIVE CROPPINGS**

**ABSTRACT**

This work aimed to evaluate the effect of the fertilization with 4 doses of sewage sludge compost and 2 of phosphate rock ones on the chemical soil attributes, contents of nutrients in the plant, and maize productivity in two successive croppings. The research was carried on Haplic Cambisol, in a design in randomized blocks with the treatments in a factorial scheme 2 x 4 correspondent to 2 doses of gafsa phosphate (0 and 90 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and 4 doses of sewage sludge compost (0; 25; 50 and 75 Mg ha<sup>-1</sup>, in dry base), with 3 replications. The productivity and macronutrients contents in the soil and in the plant, in the first and in the second successive maize cropping are not, in general, influenced by the fertilization with reactive phosphate rock, in soil contend average initial content of calcium and supplied with water from limy origin. However, they increase with the addition of sewage sludge compost to soil, being the optimum recommended dose of 75 Mg ha<sup>-1</sup>, having to be carried through new fertilization every plantation.

**Keywords:** *Zea mays*. biosolid. Gafsa phosphate.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção de estações de tratamento de esgotos nos municípios brasileiros tem ampliado, enormemente, o volume de lodo gerado, causando grande preocupação com relação à sua disposição final e tornando imperiosa a busca de soluções para o seu destino adequado (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI; SILVA, 2006a).

Apesar das várias alternativas existentes para o descarte final do lodo de esgoto, a sua utilização na agricultura é a alternativa mais promissora, do ponto de vista econômico, apresentando-se como a mais ecologicamente correta, uma vez que promove a reciclagem de nutrientes e a melhoria física e química no solo, além de ser uma solução de longo alcance para a destinação final desse resíduo (BARBOSA *et al.*, 2007; MARQUES *et al.*, 2007; MARTINS *et al.*, 2003; OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001; SILVA *et al.*, 2005). É uma importante fonte de matéria orgânica e de elementos essenciais às plantas, podendo complementar os fertilizantes minerais e reduzir os custos de produção (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI; SILVA, 2006a; SILVA *et al.*, 2002a). Apresenta, porém, riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com patógenos e metais pesados (BIONDI; NASCIMENTO, 2005).

Na região sudeste do Brasil, a área plantada de milho não é suficiente para atender às demandas do mercado interno, gerando problemas de abastecimento para a indústria nacional. A solução para esse problema passa pela expansão da área plantada e pelo aumento da produtividade das áreas atualmente cultivadas, sendo o lodo de esgoto um importante insumo para melhorar as condições físicas e químicas do solo, favorecer o desenvolvimento da cultura e reduzir os custos de produção (SILVA *et al.*, 2005).

Neste aspecto, Simonete *et al.* (2003) e Nascimento *et al.* (2004) observaram aumento significativo na produtividade de milho e de feijão, com o incremento das doses de lodo de esgoto, possivelmente associado à melhoria das características químicas do solo. Também, Nogueira *et al.* (2006) constataram que as produções de milho e de feijão consorciados não

diferiram, quando a adubação foi realizada com lodo de esgoto ou com fertilizante mineral.

O efeito residual da aplicação de lodo de esgoto no solo também tem influenciado, positivamente, a produtividade de milho (BARBOSA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2002b). Lemainski e Silva (2006a) constataram que o efeito residual da aplicação de biossólido em cultivo de milho foi mais significativo na dose de 30 Mg ha<sup>-1</sup>, não diferindo da dose de 45 Mg ha<sup>-1</sup>, o que proporcionou uma produtividade de 77 e 80% das obtidas respectivamente no primeiro cultivo. Também as doses de biossólido foram 22 e 19% mais eficientes que o fertilizante mineral, ressaltando, assim, a viabilidade da utilização do biossólido como fonte fornecedora de nutrientes às plantas e corroboraram os resultados obtidos por Lemainski e Silva (2006b), que também admitiram a viabilidade da aplicação de doses superiores a 30 Mg ha<sup>-1</sup> de biossólido em soja, as quais foram em média 18% mais eficientes do que o fertilizante mineral.

Vieira *et al.* (2005) observaram que a aplicação de lodo de esgoto no solo supriu a demanda de fósforo da cultura da soja, enquanto Galdos *et al.* (2004) constataram aumentos nos teores foliares de fósforo na cultura de milho. Também Simonete *et al.* (2003) verificaram que o milho não respondeu à adubação, com superfosfato simples quando o solo foi adubado com lodo de esgoto. Entretanto, Melo *et al.* (1997) questionam o potencial do lodo em aumentar a disponibilidade de fósforo no solo, sendo que Tedesco *et al.* (1999) afirmam que o teor de fósforo no lodo normalmente é elevado, porém, por se encontrar na forma orgânica, depende da atuação da microbiota para a sua rápida disponibilização às plantas.

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar os atributos químicos do solo, os teores de nutrientes na planta e a produtividade de milho em resposta à adubação com doses de composto de lodo de esgoto e com fosfato natural de Gafsa, em dois cultivos sucessivos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Campus da UFMG em Montes Claros - MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em área de Cambissolo Háplico, com as seguintes características químicas e físicas da camada de 0-20 cm, conforme metodologias preconizadas pela Embrapa (1997): matéria orgânica = 10,9 g kg<sup>-1</sup>; pH em água = 5,5; P-Mehlich 1 = 3,2 mg dm<sup>-3</sup>; P-remanescente = 37,5 mg L<sup>-1</sup>; K = 67 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 3,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 1,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 0,50 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al = 4,94 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 4,37 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC efetiva = 4,87 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; m = 10%; CTC total = 9,31 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 47%; areia grossa = 133,0 g kg<sup>-1</sup>; areia fina = 247,0 g kg<sup>-1</sup>; silte = 300 g kg<sup>-1</sup> e argila = 320 g kg<sup>-1</sup>. Foi utilizado como planta indicadora, nos dois cultivos, o milho (*Zea mays*), variedade BR 106, largamente cultivado pelos agricultores da região.

Os tratamentos, em esquema fatorial 2 x 4, corresponderam a 2 doses de fosfato natural reativo (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), combinadas com 4 doses de composto de lodo de esgoto (0; 25; 50 e 75 Mg ha<sup>-1</sup>, em base seca), com três repetições, no delineamento em blocos casualizados.

O fosfato natural reativo utilizado foi o fosfato de Gafsa, com as seguintes características químicas, conforme metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total = 29,00%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 2% relação 1:100 = 10,00%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido fórmico a 2% relação 1:100 = 21,00%; SO<sub>3</sub> = 3,20%; SiO<sub>2</sub> = 3,6%; Ca = 32,00%; MgO = 0,80%; K<sub>2</sub>O = 0,11%. A dose aplicada foi calculada com base no teor disponível de fósforo no solo e na recomendação feita por Noce (2004), para a variedade de milho BR 106.

As doses de composto de lodo de esgoto foram baseadas na concentração de nitrogênio nesse adubo e na recomendação da adubação também feita por Noce (2004), para a variedade de milho BR 106 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N).

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), no município de Juramento – MG. A ETE é operada pela COPASA-MG e possui capacidade para tratar 217 m<sup>3</sup> por dia de esgoto. A

linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB, interligado em série a uma lagoa de pós-tratamento do tipo facultativa. O lodo gerado no reator UASB é desidratado em um leito de secagem e, posteriormente, disposto em um aterro controlado, implantado na área da estação.

O lodo utilizado, contendo: N= 17,7 kg<sup>-1</sup>; P = 4,1 g kg<sup>-1</sup>; K = 6,6 g kg<sup>-1</sup>; Ca = 0,5 g kg<sup>-1</sup>; Mg = 2,2 g kg<sup>-1</sup> e S = 12,4 g kg<sup>-1</sup>, foi misturado à palha de feijão, contendo: N= 9,1 g kg<sup>-1</sup>; P = 1,2 g kg<sup>-1</sup>; K = 20,0 g kg<sup>-1</sup>; Ca = 12,0 dag kg<sup>-1</sup>; Mg = 4,0 g kg<sup>-1</sup> e S = 0,4 g kg<sup>-1</sup>, para a formação da compostagem. As análises químicas seguiram as metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995).

A mistura dos resíduos foi feita de forma a se obter uma relação C/N de 30/1. A compostagem foi desenvolvida por meio de pilhas com altura de aproximadamente 1,5 m. Diariamente, foram monitoradas a temperatura e a umidade. Para o controle dos fatores intervenientes no processo, foi efetuado o revolvimento manual sistemático das pilhas, utilizando-se pás e enxadas.

Ao final da compostagem, o composto de lodo de esgoto apresentou as seguintes características químicas, conforme metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995): N= 16,3 g kg<sup>-1</sup>; P = 4,2 g kg<sup>-1</sup>; K= 6,8 g kg<sup>-1</sup>; Ca = 4,0 g kg<sup>-1</sup>; Mg = 2,2 g kg<sup>-1</sup> e S = 12,6 g kg<sup>-1</sup>, sendo as quantidades aplicadas em cada tratamento apresentadas na TAB. 1.

**TABELA 1**

Quantidades de nutrientes aplicadas por tratamento com composto lodo de esgoto

Nutriente (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	25	50	75
<b>N</b>	407,50	815,00	1.222,50
<b>P</b>	105,00	210,00	315,00
<b>K</b>	170,00	340,00	510,00
<b>Ca</b>	100,00	200,00	300,00
<b>Mg</b>	55,00	110,00	165,00
<b>S</b>	315,00	630,00	945,00

A adubação foi realizada de uma única vez em sulcos de plantio, utilizando-se somente o fosfato de Gafsa e o composto de lodo de esgoto, conforme os tratamentos. O espaçamento entre fileiras para a cultura de

milho foi de 80 cm e semeio de 5 sementes por metro linear, stand esperado de 50 mil plantas por hectare. O tamanho da parcela foi de 6,0 x 4,8 m. Foram colhidas as duas fileiras centrais de 4 m comprimento, tendo sido eliminadas as duas fileiras periféricas de cada lado e 1 m de final da fileira como bordadura. O método de irrigação utilizado foi de aspersão e o controle das plantas daninhas foi feito por meio de capinas manuais, quando necessário e os restos foram deixados sobre as respectivas parcelas.

No início do florescimento da cultura no primeiro e no segundo cultivo, foram coletadas amostras de folhas em 20 plantas de cada unidade experimental, retirando-se a folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, para análise química dos teores de N, de P, de K, de Ca, de Mg e de S (MALAVOLTA *et al.*, 1997; TEDESCO *et al.*, 1995).

Após a colheita do primeiro e do segundo, cultivo avaliou-se a produtividade de grãos e foram coletadas, na linha de plantio, entre plantas, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm de profundidade, 30 subamostras por parcela, para formarem uma amostra composta para análises de pH, de P, de K, de Ca, de Mg e de S (EMBRAPA, 1997), matéria orgânica e N mineral total (TEDESCO *et al.*, 1995).

O segundo plantio foi realizado 30 dias depois da colheita do primeiro, após uma capina manual e deposição do restolho sobre a parcela respectiva e sulcamento da área com enxadas. Os sulcos foram feitos sobre o local das linhas de plantio do primeiro cultivo, para a distribuição das sementes. Ao longo do ciclo, a cultura sempre foi mantida no limpo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância; as médias referentes às doses de fosfato, comparadas pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade; as relativas às doses de composto de lodo de esgoto, ajustadas a modelos de regressão, testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste t. Para a comparação das variáveis do primeiro e do segundo cultivos, foram calculados intervalos de confiança das médias, considerando-se o nível de probabilidade de 5% pelo teste t.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou que não houve interação entre as doses de fosfato e de composto de lodo de esgoto em relação às variáveis estudadas ( $P > 0,05$ ).

A produtividade do milho não foi influenciada pela adubação fosfatada (TAB. 2), embora o teor inicial de fósforo no solo fosse baixo, da ordem de  $3,2 \text{ mg dm}^{-3}$ . Pode-se atribuir tal fato à baixa taxa de solubilização do fosfato natural, em razão do teor inicial de cálcio no solo ser elevado, da ordem de  $3,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , diminuindo, assim, o efeito dreno-cálcio do solo (NOVAIS; SMITH, 1999). Resultado semelhante foi observado por Corrêa *et al.* (2005), em que o teor de cálcio mais elevado no solo afetou a solubilização do fosfato de Gafsa em cultivo de milho. Novais e Smith (1999) também destacam que o teor baixo de cálcio no solo é fator preponderante para maior solubilização de fosfatos naturais, uma vez que a baixa atividade de cálcio na solução do solo induz a uma maior taxa de liberação desse nutriente do adubo.

TABELA 2

Teores de matéria orgânica e pH do solo adubado com fosfato natural e composto de lodo

Variável	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	0	3,10	4,51	4,28	3,83	3,93A
	90	3,31	4,34	3,87	5,54	4,27A
	Média	3,21	4,43	4,08	4,69	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (0-10 cm)	0	1,97	3,13	3,80	4,10	3,25A
	90	1,97	3,33	4,23	5,07	3,65B
	Média	1,97	3,23	4,02	4,59	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (10-20 cm)	0	1,40	1,80	1,80	2,20	1,80A
	90	1,70	1,80	2,10	2,80	2,10A
	Média	1,55	1,8	1,95	2,5	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (20-30 cm)	0	0,96	1,30	1,23	1,23	1,18A
	90	1,17	0,93	1,17	1,3	1,14A
	Média	1,07	1,12	1,2	1,27	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (30-40 cm)	0	0,73	0,90	0,83	0,97	0,86A
	90	0,93	0,56	1,03	1,00	0,88A
	Média	0,83	0,73	0,93	0,99	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (40-50 cm)	0	0,53	0,80	0,60	0,60	0,63A
	90	0,73	0,53	0,73	0,77	0,69A
	Média	0,63	0,67	0,67	0,69	-
pH (0-10 cm)	0	6,87	6,73	6,17	5,77	6,39A
	90	6,77	6,43	6,26	6,00	6,37A
	Média	6,82	6,58	6,22	5,88	-
pH (10-20 cm)	0	5,87	5,90	5,87	5,27	5,73A
	90	6,03	5,70	5,80	5,90	5,86A
	Média	5,95	5,08	5,83	5,58	-
pH (20-30 cm)	0	5,33	5,30	5,30	5,13	5,26A
	90	5,37	5,23	5,13	5,13	5,21A
	Média	5,35	5,27	5,22	5,13	-
pH (30-40 cm)	0	5,00	5,10	5,30	5,10	5,13A
	90	5,20	5,20	5,20	5,10	5,18A
	Média	5,10	5,17	5,22	5,08	-
pH (40-50 cm)	0	5,00	5,00	5,40	5,10	5,13A
	90	5,20	5,20	5,20	5,10	5,18A
	Média	5,10	5,10	5,30	5,10	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se, na TAB. 2, que houve um moderado aumento do teor de matéria orgânica do solo com a adição de fosfato natural, na profundidade de 0-10 cm, possivelmente associado ao aumento da atividade biológica do solo, em razão de alguma liberação de fósforo do fertilizante (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Para o pH, não foi constatado efeito da adubação fosfatada em nenhuma profundidade. Embora a solubilização de fosfato natural eleve o pH do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999; SARMENTO *et al.*, 2002), conclui-se que a moderada reação ocorrida nesta pesquisa tenha sido insuficiente para promover qualquer modificação no pH do solo, que,

inicialmente, era de 5,5. Pode-se atribuir o aumento de pH observado na camada de 0 a 20 cm, mesmo no tratamento sem aplicação de fosfato natural e composto de lodo de esgoto, à água de irrigação, que, por influência de rochas calcárias existentes, possui pH em torno de 7,6.

Os teores de macronutrientes no solo não foram influenciados pela aplicação de fosfato natural (TAB. 3 e 4), exceto os teores de fósforo disponível, que aumentaram na camada de 0 a 20 e de 30 a 40 cm de profundidade, sob efeito desse fertilizante. Esses teores podem estar superestimados, em razão da determinação do fósforo ser realizada com o extrator Melich 1, com características ácidas, uma vez que o aumento observado não refletiu os teores absorvidos pela planta (TAB. 5) e nem a sua produtividade. Corrêa *et al.* (2008) avaliaram a disponibilidade de fósforo para plantas de milho com diferentes extratores químicos e constataram que, para fosfato natural de Gafsa, o extrator Melich 1 superestima os teores de fósforo disponíveis, já que, em condições de baixo pH, há uma rápida solubilização do fósforo da rocha, aumentando a sua disponibilidade.

TABELA 3

Teores de macronutrientes primários no solo, em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto

Variável	Dose de $P_2O_5$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
N (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	104,66	131,41	119,54	133,91	122,38A
	90	133,28	139,27	168,25	120,48	140,32A
	Média	118,97	135,34	143,90	127,20	-
N (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	141,94	145,28	142,97	102,16	133,09A
	90	157,78	128,73	100,07	108,99	123,89A
	Média	149,86	137,01	121,52	105,58	-
N (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	124,33	133,07	105,17	108,37	117,74A
	90	98,85	119,16	136,39	102,16	114,14A
	Média	111,59	126,12	120,78	105,27	-
N (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	75,47	112,85	99,75	76,80	91,22A
	90	128,13	156,93	88,38	105,34	119,70A
	Média	101,80	134,89	94,07	91,07	-
N (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	102,61	115,17	79,28	89,57	96,66A
	90	121,53	94,95	106,01	108,73	107,81A
	Média	112,07	105,06	92,65	99,15	-
P (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	4,13	14,03	28,70	29,17	19,01B
	90	18,23	53,03	58,50	68,17	49,48A
	Média	11,18	33,53	43,60	48,67	-
P (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	1,30	3,70	6,40	12,80	6,05B
	90	4,50	16,80	11,90	18,90	13,03A
	Média	2,90	10,25	9,15	15,85	-
P (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,50	1,50	1,90	3,20	1,78A
	90	3,70	2,20	4,00	4,10	3,50A
	Média	2,10	1,85	2,95	3,65	-
P (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,27	0,50	0,93	1,20	0,73B
	90	2,20	0,83	2,70	2,97	2,18A
	Média	1,23	0,67	1,82	2,08	-
P (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,27	0,93	0,73	1,10	0,76A
	90	0,57	0,93	2,57	1,23	1,33A
	Média	0,42	0,93	1,65	1,17	-
K (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	148,33	190,67	149,00	126,33	153,58A
	90	143,00	134,33	140,33	157,33	143,75A
	Média	145,67	162,50	144,67	141,83	-
K (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	75,33	77,00	62,00	71,67	71,50A
	90	68,33	73,67	105,00	99,67	86,67A
	Média	71,83	75,34	83,5	85,67	-
K (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	38,33	38,33	35,33	35,67	36,92A
	90	36,00	34,67	51,33	45,67	41,92A
	Média	37,17	36,5	43,33	40,67	-
K (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	24,33	23,67	23,00	25,00	24,00B
	90	29,00	25,33	48,67	29,33	33,09A
	Média	26,67	24,50	35,84	27,17	-
K (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	22,33	23,33	17,67	18,00	20,33B
	90	24,33	26,67	40,33	22,67	28,50A
	Média	23,33	25,00	29,00	20,34	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 4

Teores de macronutrientes secundários no solo, em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto

Macronutrientes	Dose de $P_2O_5$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Ca (0-10 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	4,57	5,33	5,87	4,47	5,06A
	90	4,37	5,80	5,83	5,63	5,41A
	Média	4,47	5,57	5,85	5,05	-
Ca (10-20 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	2,50	3,03	3,33	2,73	2,90A
	90	2,97	2,90	3,57	3,90	3,34A
	Média	2,74	2,97	3,45	3,32	-
Ca (20-30 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	1,13	1,43	1,53	1,40	1,37A
	90	1,53	1,30	1,23	1,87	1,48A
	Média	1,33	1,37	1,38	1,64	-
Ca (30-40 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0,63	0,80	0,87	0,90	0,80A
	90	0,97	0,80	1,10	0,93	0,95A
	Média	0,80	0,80	0,98	0,92	-
Ca (40-50 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0,50	0,67	0,57	0,47	0,55A
	90	0,67	0,70	0,83	0,57	0,69A
	Média	0,59	0,69	0,70	0,52	-
Mg (0-10 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	1,23	1,20	0,80	0,60	0,96A
	90	1,13	0,83	0,77	1,43	1,04A
	Média	1,18	1,02	0,79	1,02	-
Mg (10-20 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0,80	0,90	0,60	0,60	0,73A
	90	1,00	0,60	0,70	1,30	0,90A
	Média	0,90	0,75	0,65	0,95	-
S (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	36,70	47,23	71,77	86,87	60,64A
	90	29,40	59,80	73,60	99,17	65,49A
	Média	33,05	53,52	72,69	93,02	-
S (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	27,83	45,87	51,77	68,07	48,39A
	90	27,33	60,00	65,30	55,33	51,99A
	Média	27,58	52,94	58,54	61,70	-
S (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	32,27	28,33	47,67	56,47	41,19A
	90	22,00	32,30	48,23	44,77	36,83A
	Média	27,14	30,32	47,95	50,62	-
S (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	14,70	15,67	27,23	34,77	23,09A
	90	16,53	26,87	26,87	30,47	25,19A
	Média	15,62	21,27	27,05	32,62	-
S (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	21,77	24,13	17,43	15,87	19,80A
	90	28,30	23,87	22,83	25,23	25,06A
	Média	25,04	24,00	20,13	20,55	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 5

Teores de macronutrientes em folha de milho, em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto

Variável	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
N (mg dm <sup>-3</sup> )	0	1,25	1,32	1,23	1,31	1,28A
	90	1,36	1,33	1,36	1,48	1,38A
	Média	1,31	1,32	1,30	1,40	-
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,13	0,16	0,15	0,15	0,15A
	90	0,14	0,15	0,16	0,15	0,15A
	Média	0,14	0,16	0,15	0,15	-
K (mg dm <sup>-3</sup> )	0	1,37	1,60	1,28	1,39	1,13A
	90	1,47	1,55	1,68	1,32	1,20A
	Média	1,42	1,58	1,48	1,36	-
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0,71	0,73	0,67	0,71	0,70A
	90	0,70	0,70	0,68	1,00	0,77A
	Média	0,71	0,71	0,68	0,85	-
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	0,12	0,14	0,11	0,12	0,12A
	90	0,13	0,11	0,12	0,15	0,13A
	Média	0,13	0,13	0,12	0,14	-
S (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,10	0,12	0,09	0,11	0,11A
	90	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14B
	Média	0,12	0,13	0,12	0,13	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Embora a necessidade da aplicação de fósforo para complementar a adubação de milho, quando fertilizado com biossólido de estação de tratamento de esgoto, tenha sido observada por autores, como Anjos e Mattiazzo (2000), a falta de resposta da produtividade ao fósforo sugere também que o lodo de esgoto conseguiu suprir a planta com esse elemento. Resultados similares foram verificados por Simonete *et al.* (2003), os quais constataram que o fósforo adicionado via lodo de esgoto foi suficiente para atender à exigência da cultura do milho, não sendo necessário fazer complementação com fertilizante mineral. Corroborando esses autores, Vieira *et al.* (2005) destacaram que a aplicação de 3 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto foi suficiente para suprir a exigência da cultura da soja em fósforo, quando comparada à adubação química.

Observa-se, na TAB. 3, que não foi constatado nenhum efeito da adubação fosfatada em relação aos teores de nitrogênio mineral total do solo. Ficou evidente, também, que o teor de nitrogênio mineral total do solo foi mais elevado na camada de 0 a 20 cm, onde houve a incorporação de lodo de esgoto, sendo os teores em profundidade próximos daqueles da superfície. Behling *et al.* (2009) observaram que a aplicação de biossólido no

solo aumentou as concentrações de nitrogênio em profundidade, entretanto afirma que não houve risco de contaminação do lençol freático com esse elemento.

Para o potássio, o cálcio, o magnésio e o enxofre (TAB. 3 e 4), de modo geral, não houve efeito da adubação fosfatada, embora o fosfato de Gafsa possua, em sua composição, 32% de Cálcio e muito baixas concentrações de magnésio, de potássio e de enxofre. Verificou-se, entretanto, maior acúmulo desses elementos nas camadas superficiais do solo, havendo pouco movimento em profundidade.

Na TAB. 5, observa-se que, de modo geral, não houve influência da adubação fosfatada em relação aos teores de macronutrientes nos tecidos foliares. Apesar do fosfato natural ter concentrações elevadas de fósforo e médias de cálcio, o teor inicial médio de cálcio no solo pode ter retardado a solubilização do adubo, conforme já comentado, não refletindo nos teores desses elementos na planta e nem interferindo nos demais, exceto para o enxofre. Embora tenham sido estatisticamente diferentes, os teores foliares de enxofre estão abaixo do valor de referência, sendo considerados agronomicamente semelhantes.

Na TAB. 6, observa-se que o aumento das doses de composto de lodo de esgoto promoveu incremento na produtividade da cultura do milho, atingindo valor máximo de 4,63 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, com a aplicação de 75 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lodo de esgoto. O efeito positivo da adubação com lodo de esgoto sobre milho tem sido destacado na literatura por autores, como Martins *et al.* (2003), Simonete *et al.* (2003), Nascimento *et al.* (2004) e Nogueira *et al.* (2006), os quais admitem que a aplicação de doses de lodo de esgoto proporcionou aumento na concentração e no fornecimento de nutrientes disponíveis às plantas e incrementos na produção de matéria seca da parte aérea. Também Lemainski e Silva (2006a) constataram, em experimento com milho, que a adubação com biossólido é, em média, 21% mais eficiente do que com o fertilizante mineral. No presente estudo, ocorreu um aumento de 40% na produtividade do milho em relação à dose zero.

**TABELA 6**

Equações de regressão relacionando a produtividade, os teores de matéria orgânica e pH do solo e a adubação com composto de lodo de esgoto

VARIÁVEL	UNIDADE	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	DC (Mg ha <sup>-1</sup> )	TNS	TMP	CL <sup>1</sup>
Produtividade	Mg ha <sup>-1</sup>	$Y = 3,30 + 0,153048^{**}X^{0,5}$	0,8050	75,00	4,63	-	-
MO (0-10 cm)		$Y = 2,16 + 0,0346^{**}X$	0,9684	75,00	4,75	4,75	B
MO (10-20 cm)		$Y = 1,50 + 0,012^{***}X$	0,9278	75,00	2,40	2,40	M
MO (20-30 cm)	dag kg <sup>-1</sup>	$Y = 1,06 + 0,00272^{*}X$	0,9923	75,00	1,28	1,28	Bx
MO (30-40 cm)		$Y = 0,79 + 0,00003853^{*}X^2$	0,7249	75,00	0,79	0,79	Bx
MO (40-50 cm)		$Y = Ym = 0,67$	-	-	0,67	0,67	MBx
pH (0-10 cm)		$Y = 6,96 - 0,01544^{***}X$	0,9567	0,00	6,69	5,80	A
pH (10-20 cm)		$Y = (34,95 - 0,0006454^{***}X^2)^{0,5}$	0,9894	0,00	5,60	5,60	B
pH (20-30 cm)	-	$Y = 5,34 - 0,00284^{†}X$	0,9894	0,00	5,13	5,13	Bx
pH (30-40 cm)		$Y = Ym = 5,16$	-	-	5,16	5,16	Bx
pH (40-50 cm)		$Y = Ym = 5,16$	-	-	5,16	5,16	Bx

Notas: DC = dose de composto de lodo de esgoto para atingir maior produtividade ou teor máximo de MO ou pH dentro do intervalo experimental.

TNS = produtividade máxima ou teor máximo de MO ou pH no solo dentro do intervalo experimental.

TMP = teor de matéria orgânica e pH do solo, com a aplicação da dose de composto que gerou máxima produtividade de milho.

<sup>1</sup>Classes de fertilidade segundo Alvarez V. *et al.* (1999): A – alto, MB – muito bom, B – bom, M – médio, B – baixo, MBx – muito baixo.

°, \*, \*\*, \*\*\* = Significativos a 10; 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O teor de matéria orgânica do solo aumentou com o incremento das doses de composto de lodo de esgoto (TAB. 6), atingindo o valor máximo com a dose de  $75 \text{ t ha}^{-1}$  desse resíduo. Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento *et al.* (2004) e Antolin *et al.* (2005), os quais verificaram aumento nos teores de matéria orgânica do solo com a adição de lodo de esgoto.

Em relação ao pH do solo (TAB. 6), houve diminuição dos seus valores com a adição de composto de lodo de esgoto, atingindo valores mínimos, com a aplicação da dose citada. A maior acidez do solo provocada pelo lodo pode estar associada às reações de nitrificação do N-amoniaco, à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo pelos microrganismos (CALDEIRA JUNIOR *et al.*, 2009; SIMONETE *et al.*, 2003).

Conforme dados da TAB. 7, o aumento nas doses de composto de lodo de esgoto resultou em incrementos nos teores de nitrogênio, de fósforo, de potássio, de cálcio e de enxofre no solo. Tal fato reflete os teores existentes no composto de lodo utilizado, que são da ordem de:  $16,3 \text{ g kg}^{-1}$  de N;  $4,2 \text{ g kg}^{-1}$  de P;  $6,8 \text{ g kg}^{-1}$  de K;  $4,0 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca;  $2,2 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg e  $12,6 \text{ g kg}^{-1}$  de S. Os teores de magnésio, no solo no entanto, em razão de sua menor concentração no composto de lodo, não foram influenciados pela aplicação desse resíduo. A melhoria da qualidade química do solo, em razão da aplicação de lodo de esgoto, foi também confirmada por Nascimento *et al.* (2004), Antolin *et al.* (2005) e Chueiri *et al.* (2007). Com relação ao fósforo, a dose de composto de lodo de esgoto que promoveu maior produtividade de grãos de milho ( $75 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi também responsável pelo maior teor desse elemento em todas as profundidades avaliadas do solo, o que mostra que o fósforo foi determinante na produtividade do milho.

**TABELA 7**

Equações de regressão relacionando os macronutrientes no solo e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas

VARIÁVEL	UNIDADE	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	DC (Mg ha <sup>-1</sup> )	TNS	TMP	CL <sup>1</sup>
N (0-10 cm)	mg dm <sup>-1</sup>	$Y = (13896,6157 + 294,5857^{***}X - 3,4762^{***}X^2)^{0,5}$	0,9492	42,37	141,70	128,20	-
N (10-20 cm)		$Y = 150,7420 - 0,5933^{**}X$	0,9976	0	150,74	106,24	-
N (20-30 cm)		$Y = (12581,5672 + 187,0784^{***}X - 2,7840^{***}X^2)^{0,5}$	0,9783	33,60	125,40	104,65	-
N (30-40 cm)		$Y = Ym = 105,46$	-	-	105,46	105,46	-
N (40-50 cm)		$Y = Ym = 102,24$	-	-	102,24	102,24	-
P (0-10 cm)	mg dm <sup>-3</sup>	$Y = 15,85 + 0,49016^{***}X$	0,9066	75,00	52,61	52,61	MB
P (10-20 cm)		$Y = 3,88 + 0,151^{**}X$	0,8426	75,00	15,20	15,20	Bx
P (20-30 cm)		$Y = (3,63 + 0,0017513^{***}X^2)^{0,5}$	0,9225	75,00	3,67	3,67	MBx
P (30-40 cm)		$Y = (1,04 + 0,043538^{***}X)^{0,5}$	0,9535	75,00	2,08	2,08	MBx
P (40-50 cm)		$Y = 0,45 + 0,113678^{**}X^{0,5}$	0,7000	75,00	1,44	1,44	MBx
K (0-10 cm)	mg dm <sup>-3</sup>	$Y = (21986,08 + 144,8494^{***}X - 2,400064^{***}X^2)^{0,5}$	0,5192	30,18	155,47	139,10	MB
K (10-20 cm)		$Y = (5074,1187 + 35,8261716^{***}X - 0,05979^{***}X^2)^{0,5}$	0,9550	75	86,17	86,17	B
K (20-30 cm)		$Y = (1313,45 + 10,6726686^{***}X - 0,06963244^{***}X^2)^{0,5}$	0,5157	75	41,49	41,49	M
K (30-40 cm)		$Y = Ym = 28,55$	-	-	28,55	28,55	Bx
K (40-50 cm)		$Y = (505,36 + 14,53698^{***}X - 0,2031982^{***}X^2)^{0,5}$	0,7201	35,77	27,67	21,28	Bx
Ca (0-10 cm)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$Y = 4,46 + 0,06508^{**}X - 0,00076^{**}X^2$	0,9970	42,82	5,85	5,07	MB
Ca (10-20 cm)		$Y = (7,25 + 0,117305^{***}X - 0,000861^{**}X^2)^{0,5}$	0,8414	68,12	3,35	3,35	B
Ca (20-30 cm)		$Y = (1,71 + 0,0001587^{***}X^2)^{0,5}$	0,8847	75,00	1,61	1,61	M
Ca (30-40 cm)		$Y = 0,40 + 0,02076^{**}X - 0,000184^{**}X^2$	0,9999	56,41	0,98	0,92	Bx
Ca (40-50 cm)		$Y = Ym = 0,63$	-	-	0,63	0,63	Bx
Mg (0-10 cm)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$Y = Ym = 1,00$	-	-	1,00	1,00	B
Mg (10-20 cm)		$Y = Ym = 0,81$	-	-	0,81	0,81	M
S (0-10 cm)	mg dm <sup>-3</sup>	$Y = 34,44 + 0,72252^{***}X$	0,9936	75,00	88,63	88,63	MB
S (10-20 cm)		$Y = 28,45 + 1,09784^{**}X - 0,00888^{**}X^2$	0,9792	61,82	62,37	60,84	MB
S (20-30 cm)		$Y = 25,80 + 0,35228^{**}X$	0,8995	75,00	52,22	52,22	MB
S (30-40 cm)		$Y = 15,62 + 0,22712^{***}X$	0,9999	75,00	32,66	32,66	MB
S (40-50 cm)		$Y = (642,38 - 5,1821376^{***}X + 0,02723488^{***}X^2)^{0,5}$	0,8650	0,00	25,35	20,19	MB

Notas: DC = dose de composto de lodo de esgoto para atingir maior concentração de nutriente no solo dentro do intervalo experimental.

TNS = teor máximo de nutriente no solo dentro do intervalo experimental.

TMP = teor no solo com a aplicação da dose de composto de lodo de esgoto que gerou a máxima produtividade de milho.

<sup>1</sup> Classes de fertilidade segundo Alvarez V. *et al.* (1999): A – alto, MB – muito bom, B – bom, M – médio, B – baixo, MBx – muito baixo.

°, \*\*, \*\*\* = Significativos a 10; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Na TAB. 8, observa-se que o aumento nas doses de composto de lodo de esgoto aplicadas proporcionou incrementos nos teores de fósforo e de nitrogênio nas folhas de milho, confirmando que a melhoria das condições químicas do solo (TAB. 7), influenciou a absorção desses nutrientes pelas plantas. O efeito positivo da aplicação de lodo de esgoto em relação à absorção de nutrientes pelas plantas também foi observado por Gomes *et al.* (2007), que verificaram aumento do teor de nitrogênio em folhas de milho adubadas com lodo de esgoto, embora não tenham constatado relação entre o aumento da dose de lodo de esgoto e os teores de fósforo nas folhas dessa cultura. Apesar do aumento dos teores de fósforo e de nitrogênio, a maior dose do composto não foi suficiente para elevar os seus teores a níveis de nutrição considerados adequados (OLIVEIRA, 2004). Esse fato também foi observado por Gomes *et al.* (2007), contudo, assim como na presente pesquisa, esses autores não verificaram sintomas de deficiência desses elementos na planta.

**TABELA 8**

Equações de regressão relacionando os teores de nutrientes na folha de milho e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas

NUTRIENTE	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	DC (Mg ha <sup>-1</sup> )	TNP (g kg <sup>-1</sup> )	TMP (g kg <sup>-1</sup> )	ADEQUADO <sup>1</sup>
N (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = (1,74 - 0,007758^{\circ}X + 0,0001725^{**}X^2)^{0,5}$	0,8526	75,00	14,6	14,6	2,5 – 3,5
P (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = 0,139 + 0,00036^{**}X$	0,8526	75,00	16,7	16,7	1,8 – 3,0
K (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = 1,45 + 0,01012^{**}X - 0,000136^{**}X^2$	0,7492	37,21	16,4	14,4	1,3 – 3,0
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$Y = Ym = 0,71$	-	-	7,1	7,1	0,25 – 1,0
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$Y = (0,36 - 0,00023099^{\circ}X)^2$	0,7999	0,00	1,3	1,2	0,15 – 0,5
S (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = Ym = 0,13$	-	-	1,3	1,3	0,14 – 0,3

Notas: DC = dose de composto de lodo de esgoto para atingir maior concentração de nutriente na planta dentro do intervalo experimental.

TNP = teor máximo de nutriente na planta dentro do intervalo experimental.

<sup>1</sup>Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Oliveira (2004).

TMP = teor do nutriente na folha de milho com a aplicação da dose de composto de lodo de esgoto que gerou a máxima produtividade de milho.

°, \*, \*\*, \*\*\* = significativos a 10; 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O teor de potássio na folha de milho também aumentou em função do aumento das doses de composto de lodo de esgoto até a aplicação de 37,21 Mg ha<sup>-1</sup>. Com a aplicação de 75 Mg ha<sup>-1</sup>, dose referente à máxima produtividade do milho, o teor desse elemento na folha foi de 1,44 mg dm<sup>-3</sup>. Esse valor encontra-se dentro da faixa que indica concentrações nutricionais adequadas de K na folha de milho (OLIVEIRA, 2004).

Os teores de cálcio e enxofre, por outro lado, não foram influenciados pela aplicação do composto de lodo (TAB. 8). Embora o teor de cálcio não tenha apresentado relação com o aumento da dose de composto de lodo de esgoto, o valor observado nas folhas encontra-se dentro dos limites considerados adequados, segundo Oliveira (2004). O mesmo não foi observado para o enxofre, cujo teor foliar foi inferior ao considerado suficiente para suprir a demanda nutricional da cultura, apesar de, a exemplo dos outros nutrientes, não ter sido observado sintomas de deficiência na planta.

O aumento da dose de composto de lodo de esgoto reduziu os teores de Mg na folha de milho, atingindo nível inferior ao considerado adequado (TAB. 8). Uma vez que a aplicação do composto de lodo de esgoto não contribuiu para o aumento desse elemento no solo (TAB. 7), supõe-se que, além do efeito diluição, decorrente do aumento da produção de grãos com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto, pode ter contribuído para a redução da absorção desse elemento pela planta. Segundo Vitti *et al.* (2006), o antagonismo por cátions em excesso pode provocar a deficiência de magnésio em plantas. Esse resultado, entretanto, é contrário ao obtido por Chueiri *et al.* (2007), os quais observaram aumento da absorção desse elemento, com o aumento das doses de lodo de esgoto aplicadas.

A análise de variância do segundo cultivo também revelou que não houve interação entre as doses de fosfato e as de composto de lodo de esgoto, aplicadas antes do primeiro plantio de milho, em relação às variáveis do segundo ciclo dessa cultura ( $P > 0,05$ ).

Como pode ser observado na TAB. 9, não houve efeito residual do fosfato natural de Gafsa sobre a produtividade do milho (TAB. 10), embora o teor inicial de P no solo fosse baixo, da ordem de 3,2 mg dm<sup>-3</sup>. Pode-se atribuir tal fato à baixa taxa de solubilização do fosfato natural, em razão do

teor inicial de cálcio no solo ser elevado, da ordem de  $3,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e da água de irrigação apresentar pH em torno de 7,6. Resultado semelhante foi observado por Corrêa *et al.* (2005) em milho, onde o teor de cálcio mais elevado no solo afetou a solubilização do fosfato de Gafsa. Novais e Smith (1999) também destacam que o teor baixo de cálcio no solo é fator preponderante para uma melhor solubilização de fosfatos naturais, uma vez que a baixa atividade de cálcio na solução do solo induz à maior liberação deste elemento do adubo. Entretanto Resende *et al.* (2006) observaram que a produtividade de milho adubado com fosfato natural reativo foi superior no segundo cultivo quando comparado ao primeiro.

TABELA 9

Produtividade, teores de matéria orgânica e pH do solo adubado residualmente com fosfato natural e composto de lodo de esgoto

Variável	Dose de $\text{P}_2\text{O}_5$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	0	2,18	2,93	2,76	3,36	2,81A
	90	2,16	2,63	2,97	2,97	2,68A
	Média	2,17	2,78	2,87	3,17	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (0-10 cm)	0	2,70	2,90	3,00	3,10	2,93A
	90	2,60	2,60	3,00	2,90	2,78A
	Média	2,65	2,75	3,00	3,00	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (10-20 cm)	0	2,20	2,30	2,30	2,10	2,23A
	90	2,20	2,00	2,40	2,20	2,20A
	Média	2,20	2,15	2,35	2,15	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (20-30 cm)	0	1,83	1,83	1,87	1,80	1,83A
	90	1,86	1,70	1,96	1,83	1,84A
	Média	1,85	1,77	1,92	1,82	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (30-40 cm)	0	1,40	1,50	1,60	1,50	1,50A
	90	1,50	1,50	1,60	1,50	1,53A
	Média	1,45	1,50	1,60	1,50	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (40-50 cm)	0	1,37	1,33	1,33	1,30	1,33A
	90	1,37	1,33	1,57	1,33	1,40A
	Média	1,37	1,33	1,45	1,32	-
pH (0-10 cm)	0	6,10	6,10	6,20	6,00	6,10A
	90	6,30	6,20	6,20	5,90	6,15A
	Média	6,20	6,15	6,20	5,95	-
pH (10-20 cm)	0	6,10	6,00	6,10	5,80	6,00A
	90	6,20	6,00	6,10	5,70	6,00A
	Média	6,15	6,00	6,10	5,75	-
pH (20-30 cm)	0	6,00	5,70	5,70	5,40	5,70A
	90	6,00	5,70	5,90	5,40	5,75A
	Média	6,00	5,70	5,80	5,40	-
pH (30-40 cm)	0	5,77	5,67	5,57	5,37	5,60A
	90	5,57	5,67	5,67	5,43	5,59A
	Média	5,67	5,67	5,62	5,40	-
pH (40-50 cm)	0	5,67	5,50	5,53	5,53	5,56A
	90	5,37	5,67	5,53	5,53	5,53A
	Média	5,52	5,59	5,53	5,53	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 10

Teores de macronutrientes primários no solo, em função da adubação residual com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto

Variável	Dose de $P_2O_5$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
N (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	166,59	146,05	163,50	109,69	146,46A
	90	185,22	144,98	113,37	147,56	147,78A
	Média	175,91	145,52	138,44	128,63	-
N (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	147,19	114,75	135,49	117,67	128,78A
	90	166,42	188,38	89,16	132,47	144,11A
	Média	156,81	151,57	112,33	125,07	-
N (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	132,50	179,20	113,76	144,02	142,37A
	90	125,08	137,64	103,92	131,77	124,60A
	Média	128,79	158,42	108,84	137,90	-
N (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	111,66	182,75	101,75	121,79	129,49A
	90	118,67	146,58	130,12	133,54	132,23A
	Média	115,17	164,67	115,94	127,67	-
N (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	151,05	200,04	132,33	122,91	151,58A
	90	184,08	225,40	118,58	173,88	175,49A
	Média	167,57	212,72	125,46	148,40	-
P (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	5,47	6,93	8,83	8,87	7,53A
	90	10,27	8,13	9,40	11,40	9,80A
	Média	7,87	7,53	9,12	10,14	-
P (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	1,87	3,77	3,30	2,03	2,74A
	90	7,47	3,03	5,17	2,83	4,63A
	Média	4,67	3,40	4,24	2,43	-
P (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,70	1,03	1,23	0,70	0,92A
	90	2,43	0,80	1,23	1,07	1,38A
	Média	1,57	0,92	1,23	0,89	-
P (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,40	0,47	0,70	0,57	0,54A
	90	2,20	0,63	0,77	0,33	0,98A
	Média	1,30	0,55	0,74	0,45	-
P (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,40	0,50	0,50	0,47	0,47A
	90	1,23	0,47	0,63	0,47	0,70A
	Média	0,82	0,49	0,57	0,47	-
K (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	121,33	113,33	101,33	93,67	107,42A
	90	96,33	84,67	110,67	80,00	92,92A
	Média	108,83	99,00	106,00	86,84	-
K (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	65,00	55,67	52,00	41,67	53,59A
	90	48,67	43,00	74,67	43,67	52,50A
	Média	56,84	49,34	63,34	42,67	-
K (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	32,33	36,00	29,67	22,33	30,08A
	90	27,00	29,00	48,67	26,33	32,75A
	Média	29,67	32,50	39,17	24,33	-
K (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	22,33	21,33	20,67	19,00	20,83A
	90	22,00	23,33	41,00	16,00	25,58A
	Média	22,17	22,33	30,84	17,50	-
K (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	0	19,33	18,00	20,33	19,00	19,17A
	90	22,00	23,33	41,00	16,00	25,58A
	Média	20,67	20,67	30,67	17,50	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de matéria orgânica do solo bem como o pH não foram influenciados pela adubação residual com fosfato natural (TAB. 9). Korndörfer *et al.* (1999) também não observaram alterações significativas do pH do solo, nem mesmo quando aplicados  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato natural. Corroborando esses resultados, Moreira *et al.* (2010) não constataram efeito do aumento das doses de fosfato natural no pH do solo, embora tenham verificado aumento nos teores de matéria orgânica, possivelmente associado ao aumento da atividade biológica do solo. O aumento do pH do solo em relação ao valor inicial de 5,5 verificado antes do primeiro cultivo, mesmo na testemunha, reflete a influência da irrigação com água calcária na alcalinização do solo.

Apesar do tempo de contato do fosfato natural com o solo ser considerado um importante fator na dissolução do mesmo, não foi constatado efeito residual um ano após a aplicação de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , na forma de fosfato natural de Gafsa sobre os teores de fósforo no solo (TAB. 10). De acordo com Novais *et al.* (2007), para os solos brasileiros, mesmo para aqueles com menor fator capacidade de fósforo, o efeito do tempo sobre o fosfato natural favorece a planta (P-disponível), e não o solo (fixação de P), havendo, porém, redução da eficiência do fosfato natural, comparado às fontes fosfatadas mais solúveis.

A exemplo do que ocorreu para o fósforo, os teores dos demais macronutrientes não foram influenciados pela aplicação de fosfato natural, exceto cálcio e magnésio nas camadas de 40-50 e 30-50 cm de profundidade, respectivamente (TAB. 10 e 11). Esses resultados podem ser atribuídos à constituição do fosfato natural de Gafsa, que apresenta cálcio e magnésio em sua composição. Apesar da baixa taxa de solubilização, pode ter havido alguma pouca liberação e movimentação de cálcio e magnésio para as camadas mais profundas do solo.

TABELA 11

Teores de macronutrientes secundários no solo, em função da adubação residual com fosfato de Gafsa e composto lodo de esgoto em milho

Macronutrientes ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ )	Dose de $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Dose de composto de lodo de esgoto ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )				Média
		0	25	50	75	
Ca (0-10 cm)	0	5,47	6,43	6,23	5,53	5,92A
	90	5,10	5,70	5,87	5,46	5,53A
	Média	5,29	6,07	6,05	5,50	-
Ca (10-20 cm)	0	3,00	4,10	4,10	3,10	3,58A
	90	3,23	3,03	4,07	2,97	3,33A
	Média	3,12	3,57	4,09	3,04	-
Ca (20-30 cm)	0	1,33	2,10	2,13	1,57	1,78A
	90	1,83	1,33	1,93	1,47	1,64A
	Média	1,58	1,72	2,03	1,52	-
Ca (30-40 cm)	0	0,77	1,13	1,36	1,00	1,07A
	90	1,10	1,26	1,30	0,97	1,16A
	Média	0,94	1,20	1,33	0,99	-
Ca (40-50 cm)	0	0,50	0,80	0,80	0,60	0,68B
	90	0,80	1,20	1,50	0,60	1,03A
	Média	0,65	1,00	1,15	0,60	-
Mg (0-10 cm)	0	1,07	1,17	1,20	1,10	1,14A
	90	1,10	1,10	1,30	1,17	1,17A
	Média	1,09	1,14	1,25	1,14	-
Mg (10-20 cm)	0	0,80	0,93	0,93	0,67	0,83A
	90	0,87	0,70	0,93	0,80	0,83A
	Média	0,84	0,82	0,93	0,74	-
Mg (20-30 cm)	0	0,40	0,57	0,57	0,37	0,48A
	90	0,53	0,43	0,53	0,47	0,49A
	Média	0,47	0,50	0,55	0,42	-
Mg (30-40 cm)	0	0,20	0,30	0,30	0,20	0,25B
	90	0,40	0,30	0,40	0,30	0,35A
	Média	0,30	0,30	0,35	0,25	-
Mg (40-50 cm)	0	0,20	0,20	0,27	0,10	0,19B
	90	0,30	0,30	0,40	0,23	0,31A
	Média	0,25	0,25	0,34	0,17	-

Nota: Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na TAB. 12, observa-se que, no segundo cultivo do milho, os teores de macronutrientes no tecido foliar não foram influenciados pela adubação fosfatada. Esses resultados eram esperados, uma vez que, em geral, o adubo fosfatado não influenciou os teores desses nutrientes no solo.

TABELA 12

Teores de nutrientes na folha de milho, em função da adubação residual com fosfato de Gafsa e composto lodo de esgoto em milho

Variável	Dose de $P_2O_5$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
N (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,38	1,48	1,40	1,66	1,48A
	90	1,22	1,53	1,47	1,61	1,46A
	Média	1,30	1,51	1,44	1,64	-
P (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,20	0,20	0,20	0,30	0,23A
	90	0,20	0,30	0,30	0,30	0,28A
	Média	0,20	0,25	0,25	0,30	-
K (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,83	1,04	1,03	0,96	0,97A
	90	1,05	1,13	0,93	0,91	1,01A
	Média	0,94	1,09	0,98	0,94	-
Ca (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,52	0,59	0,65	0,66	0,61A
	90	0,63	0,60	0,62	0,66	0,63A
	Média	0,58	0,60	0,64	0,66	-
Mg (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,09	0,14	0,12	0,16	0,13A
	90	0,12	0,16	0,11	0,14	0,13A
	Média	0,11	0,15	0,12	0,15	-
S (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,13	0,13	0,12	0,14	0,13A
	90	0,12	0,13	0,12	0,16	0,13A
	Média	0,13	0,13	0,12	0,15	-

Nota: Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na TAB. 13, observa-se que houve efeito residual do composto de lodo de esgoto um ano após a sua aplicação no solo, em relação à produtividade de milho, com resposta linear para essa variável, a qual atingiu valor máximo dentro do intervalo experimental de 3,21 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, quando aplicados 75 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lodo de esgoto. O efeito residual da aplicação de lodo de esgoto ao solo sobre a cultura do milho foi relatado também por Barbosa *et al.* (2007), Martins *et al.* (2003), Silva *et al.* (2002b) e Lemainski e Silva (2006a). Esses últimos autores verificaram que doses de 30 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> de bio-sólido úmido apresentaram os melhores resultados, proporcionando produtividades respectivas de 77 e 80% das obtidas no primeiro cultivo. Constataram ainda que as doses de bio-sólido foram, em média, 21% mais eficientes que a do fertilizante mineral, ressaltando, assim, a viabilidade da utilização do bio-sólido como fonte fornecedora de nutrientes às plantas.

O efeito residual da aplicação do composto de lodo de esgoto no solo foi verificado também para o teor de matéria orgânica, na camada de 0-10 cm de profundidade, sendo constatado aumento dessa variável com os incrementos de doses de composto de lodo de esgoto (TAB. 13). Resultado semelhante foi obtido por Barbosa *et al.* (2007) em relação à aplicação de lodo de esgoto

ao solo, enquanto Antolin *et al.* (2005) verificaram que, um ano após a aplicação de lodo de esgoto, parcelas que receberam o resíduo apresentaram teor de carbono orgânico semelhante às parcelas não adubadas. Entretanto esses autores trabalharam com doses de  $15 \text{ t ha}^{-1}$ , bem inferiores às da presente pesquisa. Constataram ainda que a aplicação de  $45 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto, parcelado durante três anos, foi suficiente para elevar os teores de carbono orgânico no solo, em relação às parcelas não adubadas e com adubação química.

**TABELA 13**

Equações de regressão relacionando a produtividade, os teores de matéria orgânica, pH do solo e as doses residuais de composto de lodo de esgoto

VARIÁVEL	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	DC (Mg ha <sup>-1</sup> )	TNS	TMP	CL <sup>1</sup>
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	Y = 2,284 + 0,01236*X	0,9040	75,00	3,21	-	-
pH (0-10 cm)	Y = 6,21 - 0,00004082*X <sup>2</sup>	0,7503	0	6,21	5,98	B
pH (10-20 cm)	Y = 6,13 - 0,00006041*X <sup>2</sup>	0,7352	0	6,13	5,79	B
pH (20-30 cm)	Y = 5,98 - 0,0068*X	0,7707	0	5,98	5,47	B
pH (30-40 cm)	Y = (32,69 - 0,0381248***X) <sup>0,5</sup>	0,7482	0	5,72	5,46	B
pH (40-50 cm)	Y = Ym = 5,54	-	-	5,54	5,54	B
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (0-10 cm)	Y = 2,66 + 0,0052**X	0,8895	75,00	3,05	3,05	MB
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (10-20 cm)	Y = Ym = 2,21	-	-	2,21	2,21	Bx
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (20-30 cm)	Y = Ym = 1,84	-	-	1,84	1,84	MBx
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (30-40 cm)	Y = Ym = 1,52	-	-	1,56	1,51	MBx
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (40-50 cm)	Y = Ym = 1,37	-	-	1,37	1,37	MBx

Notas: DC = dose de composto de lodo de esgoto para atingir a maior produtividade de milho ou teor de matéria orgânica ou pH do solo, dentro do intervalo experimental.

TNS = produtividade máxima ou teor máximo de matéria orgânica ou pH do solo, dentro do intervalo experimental.

TMP = teor de matéria orgânica e pH do solo com a aplicação da dose de composto de lodo de esgoto que gerou a máxima produtividade de milho.

<sup>1</sup>Classes de fertilidade, segundo Alvarez V. *et al.* (1999): A – alto, MB – muito bom, B – bom, M – médio, B – baixo, MBx – muito baixo.

\*, \*\*, \*\*\* = significativos a 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Em relação ao pH do solo (TAB. 13), houve diminuição dos seus valores, com a adição de composto de lodo de esgoto, atingindo valores mínimos, com a maior dose aplicada. A maior acidez do solo provocada pelo composto pode estar associada às reações de nitrificação do N-amoniacal, à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos, durante a degradação do resíduo pelos microrganismos (CALDEIRA JUNIOR *et al.*, 2009; SIMONETE *et al.*, 2003). Antolin *et al.* (2005) não constataram efeito um ano depois da aplicação de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto no pH do solo, contudo constataram que doses de  $30 \text{ t ha}^{-1}$ , distribuídas durante dois anos consecutivos, reduziram os valores dessa variável. Por outro lado, Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007) constataram que o efeito residual da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveu aumento no pH do solo. Segundo Nascimento *et al.* (2004), o aumento do pH do solo devido à aplicação do lodo de esgoto observado em alguns trabalhos, é resultado da alcalinidade dos materiais utilizados no processo de eliminação de patógenos e estabilização do lodo, como a cal virgem (CaO) e a cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>).

Os teores de nitrogênio mineral em solo adubado com composto de lodo de esgoto e cultivado por dois anos consecutivos com milho decresceram com o incremento das doses de composto de lodo de esgoto (TAB. 14). Considerando que o aumento da dose de composto de lodo de esgoto resultou em aumentos lineares na produtividade da cultura, a redução desse nutriente no solo pode ser atribuída à exportação de nitrogênio pelos grãos, que, de acordo com Duete *et al.* (2009), é superior a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . Vieira *et al.* (2005) não constataram diferenças significativas nos teores de nitrogênio mineral no segundo cultivo de soja em solo adubado com composto de lodo de esgoto, possivelmente associados à extração e à exportação deste elemento pelos cultivos.

TABELA 14

Equações de regressão relacionando os teores de macronutrientes no solo e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas

VARIÁVEL	UNIDADE	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	DC (Mg ha <sup>-1</sup> )	TNS	TMP	CL <sup>1</sup>
N (0 – 10 cm)		Y = 169,52 - 0,59892*X	0,8906	0,00	169,52	124,60	-
N (10 – 20 cm)		Y = (24535,25 - 148,784198***X) <sup>0,5</sup>	0,6447	0,00	156,64	115,66	-
N (20 – 30 cm)	mg dm <sup>-1</sup>	Y = Ym = 133,49	-	-	133,49	133,49	-
N (30 – 40 cm)		Y = Ym = 130,86	-	-	130,86	130,86	-
N (40 – 50 cm)		Y = Ym = 163,54	-	-	163,54	163,54	-
P (0 – 10 cm)		Y = (58,40 + 0,008116362***X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,9282	75,00	10,20	10,20	MBx
P (10 – 20 cm)		Y = Ym = 3,69	-	-	3,69	3,69	MBx
P (20 – 30 cm)	mg dm <sup>-3</sup>	Y = Ym = 1,15	-	-	1,15	1,15	MBx
P (30 – 40 cm)		Y = 1,23 - 0,0910886*X <sup>0,5</sup>	0,8169	0,00	1,23	0,44	MBx
P (40 – 50 cm)		Y = (0,63 - 0,05045891*X <sup>0,5</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,7502	0,00	0,79	0,43	MBx
K (0 – 10 cm)		Y = (11452,82 - 0,615897***X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,6888	0,00	107,02	89,38	B
K (10 – 20 cm)		Y = Ym = 53,05	-	-	53,05	53,05	M
K (20 – 30 cm)	mg dm <sup>-3</sup>	Y = (794,19 + 32,00027***X - 0,447312***X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,7280	35,77	36,97	26,04	Bx
K (30 – 40 cm)		Y = 20,66 + 0,383*X - 0,0054*X <sup>2</sup>	0,5079	35,46	27,45	19,01	Bx
K (40 – 50 cm)		Y = Ym = 22,38	-	-	22,38	22,38	Bx
Ca (0 – 10 cm)		Y = 5,30 + 0,04234*X - 0,000532*X <sup>2</sup>	0,9922	39,79	6,15	5,49	MB
Ca (10 – 20 cm)		Y = 3,04 + 0,04612*X - 0,0006*X <sup>2</sup>	0,8081	38,43	3,92	3,12	B
Ca (20 – 30 cm)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Y = (2,31 + 0,070593***X - 0,000909***X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,6765	38,83	1,92	1,57	M
Ca (30 – 40 cm)		Y = 0,92 + 0,01912*X - 0,00024*X <sup>2</sup>	0,9420	39,83	1,30	1,01	Bx
Ca (40 – 50 cm)		Y = 0,63 + 0,027*X - 0,00036*X <sup>2</sup>	0,9419	37,50	1,13	0,63	Bx
Mg (0 – 10 cm)		Y = 1,08 + 0,00584*X - 0,000064*X <sup>2</sup>	0,7139	45,63	1,21	1,15	B
Mg (10 – 20 cm)		Y = Ym = 0,83	-	-	0,83	0,83	M
Mg (20 -30 cm)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Y = Ym = 0,49	-	-	0,49	0,49	M
Mg (30 -40 cm)		Y = Ym = 0,30	-	-	0,30	0,30	B
Mg (40 -50 cm)		Y = Ym = 0,25	-	-	0,25	0,25	B

Notas: DC = dose de composto de lodo de esgoto para atingir a maior concentração do nutriente no solo, dentro do intervalo experimental.

TNS = teor máximo do nutriente no solo, dentro do intervalo experimental.

TMP = teor no solo com a aplicação da dose de composto de lodo de esgoto que gerou a máxima produtividade de milho.

<sup>1</sup> Classes de fertilidade segundo Alvarez V. *et al.* (1999): A – alto, MB – muito bom, B – bom, M – médio, B – baixo, MBx – muito baixo.

<sup>0</sup>, \*, \*\*, \*\*\* = significativos a 10; 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Os teores de fósforo no solo aumentaram com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto, na camada de 0-10 cm (TAB.14). Entretanto não foi verificado efeito da aplicação do composto de lodo de esgoto sobre os teores desse elemento, na camada de 10-30 cm e constatadas reduções em suas concentrações, na camada de 30-50 cm. O efeito residual do lodo de esgoto nos teores de P no solo foi relatado por Barbosa *et al.* (2007) e Barbosa *et al.* (2002). Também Silva *et al.* (2002b) constataram que, três anos após a aplicação de lodo de esgoto e três cultivos consecutivos de

milho, os teores de fósforo no solo eram maiores que os teores observados inicialmente. Tal fato pode estar relacionado à baixa taxa de solubilização de alguns adubos fosfatados e à baixa mobilidade deste elemento no solo.

Em conformidade com Araújo e Machado (2006), o fósforo apresenta baixa taxa de difusão no solo, o que explicaria o aumento dos teores desse elemento na camada superficial (TAB. 14). Levando-se em consideração o aumento da produtividade do milho e a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, que, segundo Bordin *et al.* (2008), atinge profundidades superiores às avaliadas, com 80% do sistema radicular concentrando-se de 40 a 46 cm, área em que ocorreu redução nos teores do elemento, o decréscimo em profundidade nos teores de P em parcelas que receberam maiores doses do composto poderia ser resultado da não movimentação do P, adicionado via composto de lodo de esgoto, no perfil do solo e da maior absorção desse elemento em maiores profundidades por plantas de milho. Apesar do aumento linear de P na camada superficial do solo, a maior dose de composto aplicada foi insuficiente para alterar a classe de disponibilidade, que, segundo Alvarez V. *et al.* (1999), tanto antes do primeiro cultivo quanto após o segundo cultivo do milho, foi classificada como muito baixa.

Similar ao observado para o nitrogênio, os teores de potássio no solo, na camada de 0-10 cm, diminuíram com o aumento da dose de composto de lodo de esgoto (TAB. 14). Nas camadas de 20-30 e 30-40 cm, observou-se aumento desse elemento apenas até a dose máxima de 35 Mg ha<sup>-1</sup>. Ao fato do aumento das doses de composto de lodo de esgoto ter resultado em maior produtividade nos dois cultivos de milho e conseqüentemente, maior exportação do nutriente, soma-se a rápida disponibilização do nutriente no solo, uma vez que esse não integra nenhum composto orgânico estável (ERNANI *et al.*, 2007), não sendo esperado, portanto, efeito residual da aplicação de composto de lodo de esgoto para esse nutriente.

Apesar da redução de potássio no solo no segundo cultivo de milho, com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto, a disponibilidade desse elemento na camada superficial foi considerada boa, enquanto o teor inicial desse elemento no solo antes da implantação dos tratamentos era médio. Corroborando os resultados obtidos nessa pesquisa, Silva *et al.*

(2001b) constataram redução nos teores de potássio no solo, com o aumento das doses de lodo de esgoto até os 484 dias de avaliação. Contudo, Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007) constataram que o efeito residual da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto ao solo não influenciou os teores de potássio do solo, até a dose máxima aplicada de 36 Mg ha<sup>-1</sup>. Também Silva *et al.* (2002b) constataram que, após 3 cultivos consecutivos de milho em área que recebeu uma única aplicação de doses de lodo de esgoto, o teor de potássio no solo era igual ao teor inicial.

Os teores de cálcio no solo aumentaram em todas as profundidades estudadas até a dose aproximada de 39 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lodo de esgoto. Mesmo após o segundo cultivo de milho, o teor desse elemento no solo, que foi de 5,49 mg dm<sup>-3</sup>, com a aplicação da dose de máxima produtividade do milho, não retornou aos níveis de disponibilidade encontrados antes da aplicação dos tratamentos, 3,10 mg dm<sup>-3</sup>, classificados, segundo Alvarez V. *et al.* (1999), como muito bom e bom, respectivamente. Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007), a exemplo do observado nessa pesquisa, constataram efeito residual da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, o qual promoveu aumento nos teores de cálcio do solo até a dose de 36 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto.

O composto de lodo de esgoto apresentou efeito residual sobre os teores de magnésio no solo apenas na camada de 0-10 cm de profundidade (TAB. 14). Nessa camada, os teores de Mg no solo aumentaram com o incremento das doses de lodo de esgoto até atingir a dose de 45,63 Mg ha<sup>-1</sup>. Com a dose de máxima produtividade do milho (75 Mg ha<sup>-1</sup>), o teor desse elemento na camada superficial foi de 1,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, classificado como bom, segundo Alvarez V. *et al.* (1999), mesma classificação dos teores no solo antes da instalação do experimento. O aumento dos teores de magnésio no solo, em razão do efeito residual de doses crescentes de lodo de esgoto, foi também constatado por Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007).

Na TAB. 15, observa-se que aumentos nas doses de composto de lodo de esgoto proporcionaram aumentos lineares nos teores de fósforo e nitrogênio nas folhas de milho, confirmando que, mesmo após um ano de sua aplicação no solo e duas safras consecutivas de milho, o lodo de esgoto

ainda disponibiliza esses nutrientes às plantas. Gomes *et al.* (2007) constataram aumentos nos teores foliares de nitrogênio em folhas de milho, em razão da adubação com lodo de esgoto, entretanto não observaram efeito desse fertilizante sobre os teores foliares de fósforo. Apesar do aumento dos teores de fósforo e de nitrogênio, a maior dose do composto não foi suficiente para elevar os seus teores a níveis de nutrição considerados adequados (OLIVEIRA, 2004), contudo não foram verificados sintomas visuais de deficiência desses elementos na planta.

**TABELA 15**

Equações de regressão relacionando os teores de nutrientes na folha de milho e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas

NUTRIENTE (dag kg <sup>-1</sup> )	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	DC (Mg ha <sup>-1</sup> )	TNP (g kg <sup>-1</sup> )	TMP (g kg <sup>-1</sup> )	ADEQUADO <sup>1</sup>
N	Y = 1,33 + 0,0038*X	0,7487	75,00	16,2	16,2	2,5 – 3,5
P	Y = 0,21 + 0,0012***X	0,9000	75,00	3,0	3,0	1,8 – 3,0
K	Y = (0,92 + 0,010528*X – 0,0001525*X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,6307	34,51	10,5	9,2	1,3 – 3,0
Ca	Y = Ym = 0,62	-	-	6,2	6,2	0,25 – 1,0
Mg	Y = Ym = 0,13	-	-	1,3	1,3	0,15 – 0,5
S	Y = Ym = 0,13	-	-	1,3	1,3	0,14 – 0,3

Notas: DC = dose de composto de lodo de esgoto para atingir a maior concentração de nutriente na planta, dentro do intervalo experimental.

TNP = teor máximo de nutriente na planta, dentro do intervalo experimental.

<sup>1</sup>Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Oliveira (2004).

TMP = teor do nutriente na folha de milho com a aplicação da dose de composto de lodo de esgoto que gerou a máxima produtividade de milho.

°, \*, \*\*, \*\*\* = significativos a 10; 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O teor de potássio na folha de milho (TAB. 15) aumentou, em função do aumento das doses de composto de lodo de esgoto até a aplicação de 34,51 Mg ha<sup>-1</sup>. Com a aplicação de 75 Mg ha<sup>-1</sup>, dose que gerou máxima produtividade do milho, o teor desse elemento na folha foi de 0,92 mg dm<sup>-3</sup>. Esse valor encontra-se abaixo da faixa que indica concentrações nutricionais adequadas de potássio na folha de milho (OLIVEIRA, 2004). Tal fato também foi observado por Silva *et al.* (2002b), entretanto, assim como na presente pesquisa, as plantas não apresentaram sintomas de deficiência visual.

Os teores de cálcio, de magnésio e de enxofre na folha não foram influenciados pela aplicação do composto de lodo. Embora o teor de Ca não tenha apresentado relação com o aumento da dose de composto de lodo de esgoto, o valor observado nas folhas encontra-se dentro dos limites considerados adequados, conforme Oliveira (2004). O mesmo não foi observado para magnésio e enxofre, que apresentaram valores inferiores aos considerados suficientes para suprir a demanda nutricional da cultura, apesar de, a exemplo dos outros nutrientes, não terem sido observados sintomas visuais de deficiência na planta. Resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2002b), avaliando o efeito residual de lodo de esgoto na produtividade e na nutrição do milho durante três plantios consecutivos.

Na TAB. 16, observa-se que a produtividade do milho no segundo ciclo correspondeu a apenas 67,07% da produção alcançada no primeiro cultivo. Os fatores determinantes para essa redução parecem ter sido a matéria orgânica, o fósforo e o potássio, os quais tiveram os seus teores no solo razoavelmente diminuídos do primeiro para o segundo cultivo. Entretanto constata-se, no tecido foliar, que apenas o potássio sofreu redução na sua concentração do primeiro para o segundo cultivo, o que pode diferenciá-lo como o fator mais limitante em relação ao segundo cultivo do milho, considerando-se o aproveitamento dos resíduos de adubação do cultivo anterior. Diante do exposto, recomendam-se sempre novas adubações com lodo de esgoto a cada cultivo realizado.

TABELA 16

Intervalos de confiança das médias de produtividade, de teores de matéria (MO) orgânica, de pH e de teores de macronutrientes no solo e na folha de milho, nos dois cultivos sucessivos

Variável	1º plantio		2º plantio		Variável	1º plantio		2º plantio	
	Média	IC <sup>1</sup>	Média	IC <sup>1</sup>		Média	IC <sup>1</sup>	Média	IC <sup>1</sup>
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	4,10	±0,64	2,75	±0,34	K (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	148,67	±16,22	100,17	±11,95
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (0-10 cm)	3,45	±0,91	2,85	±0,16	K (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	79,08	±12,64	53,04	±9,75
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (10-20 cm)	1,95	±0,35	2,21	±0,1	K (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	39,42	±4,97	31,42	±6,74
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (20-30 cm)	1,16	±0,12	1,84	±0,06	K (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	28,54	±7,06	23,21	±6,29
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (30-40 cm)	0,87	±0,13	1,51	±0,05	K (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	24,42	±5,93	22,37	±6,56
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) (40-50 cm)	0,66	±0,09	1,37	±0,07	Ca (0-10 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,23	±0,55	5,72	±0,36
pH (0-10 cm)	6,38	±0,33	6,13	±0,11	Ca (10-20 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,12	±0,38	3,45	±0,45
pH (10-20 cm)	5,79	±0,19	6,00	±0,14	Ca (20-30 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,43	±0,19	1,71	±0,27
pH (20-30 cm)	5,24	±0,08	5,73	±0,2	Ca (30-40 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,88	±0,12	1,11	±0,16
pH (30-40 cm)	5,15	±0,08	5,59	±0,11	Ca (40-50 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,62	±0,10	0,85	±0,28
pH (40-50 cm)	5,15	±0,11	5,54	±0,08	Mg (0-10 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,00	±0,24	1,15	±0,06
N (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	131,35	±15,46	147,12	±21,49	Mg (10-20 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,81	±0,21	0,83	±0,09
N (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	128,49	±18,42	136,44	±25,98	Mg (20-30 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	±0,00	0,48	±0,06
N (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	115,94	±12,00	133,49	±18,81	Mg (30-40 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	±0,00	0,3	±0,06
N (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	105,46	±22,88	130,86	±20,91	Mg (40-50 cm) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	±0,00	0,25	±0,07
N (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	102,23	±11,53	163,53	±32,3	N-folha (dag kg <sup>-1</sup> )	1,33	±0,06	1,47	±0,12
P (0-10 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	34,25	±19,24	8,66	±1,55	P-folha (dag kg <sup>-1</sup> )	0,15	±0,01	0,25	±0,04
P (10-20 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	9,54	±5,41	3,68	±1,54	K-folha (dag kg <sup>-1</sup> )	1,46	±0,12	0,99	±0,08
P (20-30 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	2,64	±1,09	1,15	±0,47	Ca-folha (dag kg <sup>-1</sup> )	0,74	±0,09	0,62	±0,04
P (30-40 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	1,45	±0,86	0,76	±0,50	Mg-folha (dag kg <sup>-1</sup> )	0,13	±0,01	0,13	±0,02
P (40-50 cm) (mg dm <sup>-3</sup> )	1,04	±0,57	0,58	±0,22	S-folha (dag kg <sup>-1</sup> )	0,13	±0,02	0,13	±0,01

Nota:<sup>1</sup>Intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t.

Ficou evidente também, na TAB. 16, que do primeiro para o segundo cultivo, houve movimentação de matéria orgânica no perfil do solo e, principalmente, de magnésio, o qual só surgiu na faixa de camadas de 20 a 50 cm, no segundo cultivo. Portanto, esse elemento requer manejo especial na adubação com lodo de esgoto, tanto pela sua maior mobilidade no solo, quanto pelas baixas concentrações normalmente encontradas nesse resíduo.

#### 4 CONCLUSÃO

A produtividade e os teores de macronutrientes no solo e na planta no primeiro e no segundo cultivo sucessivo de milho não são, em geral, influenciados pela adubação com fosfato natural reativo, em solo contendo teor inicial médio de cálcio e irrigado com água de origem calcária.

A produtividade de milho, os teores de matéria orgânica e os de macronutrientes no solo e nas folhas dos dois cultivos sucessivos de milho aumentam, em geral, com a adição de composto de lodo de esgoto ao solo, sendo a dose ótima recomendada de 75 Mg ha<sup>-1</sup>.

A produtividade do milho é menor no segundo cultivo sucessivo, em razão do empobrecimento do solo em matéria orgânica, em fósforo e em potássio, recomendando-se novas adubações com lodo de esgoto a cada cultivo realizado.

### **CAPÍTULO 3 - TEORES DE METAIS PESADOS EM MILHO ADUBADO COM FOSFATO NATURAL E COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS**

#### **RESUMO**

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os teores de metais pesados no solo e em folhas de milho adubado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto, em dois cultivos sucessivos. A pesquisa foi realizada, em área experimental do ICA/UFMG em Cambissolo Háplico, em Montes Claros - MG. Os tratamentos, em esquema fatorial 2 x 4 corresponderam a 2 doses de fosfato natural reativo (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 4 doses de composto de lodo de esgoto (0, 25, 50 e 75 Mg ha<sup>-1</sup>). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições. A aplicação de fosfato natural não influenciou, de modo geral, os teores de metais pesados no solo e na planta de milho após dois cultivos sucessivos, porém a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto até 75 Mg ha<sup>-1</sup> promoveu aumentos nos teores de cobre, de zinco e de chumbo no solo, após o primeiro cultivo e de cobre, de zinco e de níquel do solo, após o segundo cultivo consecutivo de milho, sem extrapolação dos limites críticos estabelecidos pela legislação. Ficou evidente o aumento dos teores de zinco e de chumbo, em folhas de milho, com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto ao solo, sendo que, para o chumbo, esse aumento ocorreu somente no segundo cultivo sucessivo.

**Palavras-chave:** Biossólido. Adubação orgânica. Poluição do solo.

### CHAPTER 3 - HEAVY METAL CONTENTS IN MAIZE FERTILIZED WITH PHOSPHATE ROCK AND SEWAGE SLUDGE COMPOST IN TWO SUCCESSIVE CROPPINGS

#### ABSTRACT

This work aimed to evaluate heavy metal contents in the soil and in maize leaves fertilized with phosphate rock and sewage sludge compost in two successive croppings. The research was carried through at experimental area of the ICA/UFMG on Haplic Cambisol, in Montes Claros - MG. The treatments in a factorial scheme 2 x 4 corresponded to 2 doses of reactive phosphate rock (0 and 90 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and 4 doses of sewage sludge compost (0; 25; 50 and 75 Mg ha<sup>-1</sup>). The experimental design was in randomized blocks with three replications. The application of rock phosphate did not influence, in a general way, the heavy metal contents in the soil and in the maize plant after two successive croppings, however, the application of doses of sewage sludge compost up to 75 Mg ha<sup>-1</sup> increased contents of copper, zinc and lead in the soil after the first cropping, and of copper, zinc and nickel of the soil after the second consecutive maize cropping, without extrapolation of the critical limits established by the legislation. The increase of lead and zinc contents was evident in maize leaves with the application of doses of sewage sludge compost to the soil, being that, for the lead, that increase occurred only in the second successive cropping.

**Keywords:** Biosolid. Organic fertilization. Soil pollution.

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos do cerrado são tipicamente ácidos, pobres em nitrogênio, em fósforo e em bases trocáveis, sendo necessárias práticas agrônômicas que melhorem as condições químicas para o plantio de espécies como o milho (FAGERIA, 2001). A utilização do lodo de esgoto nesses solos apresenta-se como uma alternativa, pois viabiliza a reciclagem de nutrientes, promove melhorias físicas e químicas no solo e constitui-se numa solução de longo alcance para a destinação desse resíduo (BARBOSA *et al.*, 2007).

A utilização do lodo de esgoto na agricultura apresenta-se como uma tendência mundial (MARQUES *et al.*, 2007), sendo que, no Brasil, o lodo de esgoto é utilizado com frequência em experimentos com cana-de-açúcar (CHIBA *et al.*, 2008a), eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000), café (BETTIOL; CAMARGO, 2000), milho (LEMAINSKI; SILVA 2006a; NASCIMENTO *et al.*, 2004; NOGUEIRA *et al.*, 2006; SIMONETE *et al.*, 2003; TRANNIN *et al.*, 2005) e soja (LEMAINSKI; SILVA, 2006b; VIEIRA *et al.*, 2005).

A fertilização de solos agrícolas, por meio da aplicação de lodo, de esgoto destaca-se pela promoção de melhorias físicas e químicas do solo e pelo aumento da produtividade das culturas (MARQUES *et al.*, 2002; MELFI; MONTES, 2002; MELO *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2005; TSUTIYA *et al.*, 2002), constituindo-se em importante fonte de matéria orgânica e de elementos essenciais às plantas, podendo complementar os fertilizantes minerais e reduzir os custos de produção (LEMAINSKI; SILVA, 2006a; SILVA *et al.*, 2002). Apresenta, porém, riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com metais pesados, podendo, assim, limitar a sua utilização como fertilizante (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; GOMES *et al.*, 2006; NOGUEIRA *et al.*, 2007, OLIVEIRA *et al.*, 2009).

A concentração de metais pesados presentes no lodo de esgoto é influenciada diretamente pelo tipo de esgoto que chega à estação de tratamento, sendo que o esgoto gerado por indústria possui uma concentração mais elevada de metais pesados do que o esgoto domiciliar (GOMES *et al.*, 2006; RANGEL *et al.*, 2004). Segundo Nogueira *et al.* (2008),

o risco de contaminação do solo com metais pesados é determinante para viabilizar a utilização agrícola de lodo de esgoto.

Os metais pesados são normalmente encontrados em lodo de esgoto, porém não há resultados conclusivos sobre a efetiva contaminação do solo, quando do uso agrícola desse resíduo. Entretanto, a longo prazo, o aumento da concentração de metais no solo, resultante da aplicação do lodo, torna-se uma preocupação justificada, pois, se não for adequadamente controlado, pode afetar o meio ambiente (GOMES *et al.*, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2004). Isso ocorre em razão das concentrações de metais no lodo serem mais elevadas do que as naturalmente encontradas em solos (SILVA *et al.*, 2006).

Aumentos nos teores de metais pesados, em virtude da aplicação de lodo de esgoto, foram constatados em milho (GALDOS *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2006) e cana-de-açúcar (MARQUES *et al.*, 2007). Entretanto vários outros pesquisas demonstram que a adubação com lodo de esgoto em milho, embora proporcione aumentos nos teores de metais pesados, não extrapola os níveis estabelecidos pela legislação ambiental (GOMES *et al.*, 2006; MARTINS *et al.*, 2003; NOGUEIRA *et al.*, 2007; RANGEL *et al.*, 2004; RANGEL *et al.*, 2006), o que sugere que, se bem manejado, o lodo pode ser usado com sucesso na agricultura, sem causar danos ao meio ambiente.

A presente pesquisa teve o intuito de avaliar os teores de metais pesados no solo e nas folhas de milho, em resposta à adubação com doses de composto de lodo de esgoto e com fosfato natural, em dois cultivos sucessivos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Campus da UFMG em Montes Claros - MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em área de Cambissolo Háplico, com as seguintes características químicas e físicas, conforme metodologias preconizadas pela Embrapa (1997): matéria orgânica = 10,9 g kg<sup>-1</sup>; pH em água = 5,5; areia grossa = 133,0 g kg<sup>-1</sup>; areia fina = 247,0 g kg<sup>-1</sup>; silte = 300 g kg<sup>-1</sup> e argila = 320 g kg<sup>-1</sup>. Cultivou-se, em dois cultivos sucessivos, o milho (*Zea mays*), variedade BR 106, largamente cultivado pelos agricultores da região.

Os tratamentos, em esquema fatorial 2 x 4, corresponderam à aplicação imediatamente antes do primeiro cultivo do milho de 2 doses de fosfato natural reativo (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 4 doses de lodo de esgoto (0; 25; 50 e 75 Mg ha<sup>-1</sup>), com três repetições, no delineamento em blocos casualizados.

O fosfato natural reativo utilizado foi o de Gafsa, com 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total. A dose aplicada foi calculada com base no teor disponível de P no solo e na recomendação realizada por Noce (2004), para a variedade de milho BR 106. O fosfato utilizado apresentou os seguintes teores de metais pesados, conforme metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995): Zn = 266,00 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 11,00 mg dm<sup>-3</sup>; Ni = 143,00 mg dm<sup>-3</sup>; Cd = 16,75 mg dm<sup>-3</sup>; Pb = 156,50 mg dm<sup>-3</sup> e Cr = 734,20 mg dm<sup>-3</sup>.

As doses de composto de lodo de esgoto foram baseadas na concentração de nitrogênio nesse resíduo e na recomendação da adubação também realizada por Noce (2004), para a variedade de milho BR 106 (80 kg/ha de N).

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), no município de Juramento – MG. A ETE, que é operada pela COPASA-MG e possui capacidade para tratar 217 m<sup>3</sup>/dia de esgoto. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB interligado em série a uma lagoa de pós-tratamento do tipo facultativa. O lodo gerado no reator UASB é desidratado em um leito de secagem e, posteriormente, disposto em um aterro controlado, implantado na área da

estação.

A compostagem foi feita, misturando-se o lodo de esgoto, contendo: Zn = 162,33 mg kg<sup>-1</sup>; Cu = 90,00 mg kg<sup>-1</sup>; Ni = 105,67 mg dm<sup>-3</sup>; Cd = 1,14 mg dm<sup>-3</sup>; Pb = 162,00 mg dm<sup>-3</sup> e Cr = 788,00 mg dm<sup>-3</sup> à palha de feijão, contendo: Zn = 16,00 mg kg<sup>-1</sup>; Cu = 2,50 mg kg<sup>-1</sup>; Ni = 1 mg dm<sup>-3</sup>; Cd = 0,00 mg dm<sup>-3</sup>; Pb = 40,00 mg dm<sup>-3</sup> e Cr = 0,00 mg dm<sup>-3</sup>. As análises seguiram as metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995).

A mistura foi feita, de forma a se obter uma relação C/N de 30/1. A compostagem foi desenvolvida por meio de pilhas com altura de aproximadamente 1,5 m. Diariamente, foram monitoradas a temperatura e a umidade do material. Para controle dos fatores intervenientes no processo, foi efetuado o revolvimento manual sistemático das pilhas, utilizando-se pás e enxadas.

Ao final da compostagem, o material apresentou as seguintes características químicas, conforme metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995): Zn = 304,33 mg kg<sup>-1</sup>; Cu = 81,67 mg kg<sup>-1</sup>; Ni = 97,00 mg dm<sup>-3</sup>; Cd = 1,24 mg dm<sup>-3</sup>; Pb = 168,00 mg dm<sup>-3</sup> e Cr = 800,00 mg dm<sup>-3</sup>, sendo as quantidades aplicadas apresentadas na TAB. 1.

**TABELA 1**

Quantidades de metais pesados aplicadas por tratamento com composto lodo de esgoto

Metal pesado (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	25	50	75
<b>Zn</b>	7,61	15,22	22,83
<b>Cu</b>	2,04	4,08	6,12
<b>Ni</b>	2,43	4,86	7,29
<b>Cd</b>	0,03	0,06	0,09
<b>Pb</b>	4,20	8,40	12,60
<b>Cr</b>	20,0	40,00	60,00

A adubação foi realizada de uma única vez, antes do primeiro plantio de milho, em sulcos, utilizando-se somente o fosfato natural e o composto de lodo de esgoto, conforme os tratamentos. A irrigação foi feita por aspersão e o controle de plantas daninhas, por meio de capinas manuais, quando necessário, sendo os restolhos mantidos nas próprias parcelas.

O segundo plantio foi feito 30 dias após a colheita do primeiro, depois de uma capina manual e deposição do restolho sobre as parcelas e

sulcamento da área com enxadas. Os sulcos foram feitos sobre o local das linhas de plantio do primeiro cultivo para distribuição das sementes. Ao longo do ciclo, a cultura sempre foi mantida no limpo.

No início do florescimento da cultura, tanto no primeiro quanto no segundo cultivos, foram coletadas amostras de folhas em 20 plantas de cada unidade experimental, retirando-se a folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, para a análise química dos teores de Zn, Cu, Ni, Cd e Cr, conforme metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995).

Após as colheitas do primeiro e do segundo cultivos, foram coletadas, na linha de plantio, entre plantas, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm de profundidade, 30 subamostras por parcela, para formarem uma amostra composta para análises de Zn, Cu, Ni, Cd, Pb e Cr, conforme metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias referentes às doses de fosfato testadas pelo teste de tukey até 5% de probabilidade e as relativas às doses de composto de lodo de esgoto, ajustadas a modelos de regressão, testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste t. Para a comparação dos teores de metais do primeiro e do segundo cultivos, foram calculados intervalos de confiança das médias, considerando-se o nível de probabilidade de 5% pelo teste t.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou que não houve interação entre as doses de fosfato natural e de composto de lodo de esgoto, em relação aos teores de metais pesados no solo ( $P > 0,05$ ), no primeiro cultivo de milho.

Os teores de cádmio, níquel e cromo no solo, após o primeiro cultivo, foram muito baixos, não havendo efeito dos tratamentos aplicados. Os valores médios obtidos para cádmio em cada camada foram:  $0,10 \text{ mg dm}^{-3}$  (0-10 cm),  $0,07 \text{ mg dm}^{-3}$  (10-20 cm),  $0,06 \text{ mg dm}^{-3}$  (20-30 cm),  $0,06 \text{ mg dm}^{-3}$  (30-40 cm) e  $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$  (40-50 cm), enquanto para níquel, foram:  $4,66 \text{ mg dm}^{-3}$  (0-10 cm),  $3,20 \text{ mg dm}^{-3}$  (10-20 cm),  $2,22 \text{ mg dm}^{-3}$  (20-30 cm),  $1,30 \text{ mg dm}^{-3}$  (30-40 cm) e  $1,90 \text{ mg dm}^{-3}$  (40-50 cm). O cromo, por outro lado, não foi detectado no solo, sendo que os valores observados para os cádmio e o níquel ficaram abaixo dos limites máximos no solo, estabelecidos pela UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA (1999), que são de 39 e  $420 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente.

As doses de fosfato natural aplicadas no plantio do milho não influenciaram os teores de metais pesados no solo após o primeiro cultivo (TAB. 2). Também verificou-se que todos os metais pesados diminuíram com a profundidade do solo, exceto o chumbo. Resultados semelhantes em arroz foram observados por Camargo *et al.* (2000), os quais observaram que a aplicação de adubos fosfatados nessa cultura não promoveu aumento do teor de metais pesados no solo. Por outro lado, Campos *et al.* (2005) afirmam que adubos fosfatados constituem-se em fontes potenciais de metais pesados para os solos. Já Freitas *et al.* (2009) observaram aumentos lineares nos teores de cádmio e chumbo no solo, com aplicação de doses de até  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

TABELA 2

Teores de metais pesados no solo, após o primeiro cultivo, em resposta à adubação com fosfato natural e composto de lodo de esgoto

Metal pesado (mg dm <sup>-3</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Zn (0 – 10 cm)	0	1,90	11,63	19,93	17,40	12,72A
	90	2,00	11,17	17,53	22,63	13,33A
	Média	1,95	11,40	18,73	20,02	-
Zn (10– 20 cm)	0	0,73	3,07	3,37	6,47	3,41A
	90	1,80	3,23	3,87	6,40	3,83A
	Média	1,27	3,15	3,62	6,44	-
Zn (20 – 30 cm)	0	0,80	1,80	1,40	1,60	1,40A
	90	0,70	0,80	1,50	2,10	1,28A
	Média	0,75	1,30	1,45	1,85	-
Zn (30 – 40 cm)	0	0,50	0,93	0,90	0,97	0,83A
	90	0,80	0,47	1,47	1,07	0,95A
	Média	0,65	0,70	1,19	1,02	-
Zn (40 – 50 cm)	0	0,43	0,77	0,80	0,93	0,73A
	90	0,50	1,20	1,13	0,83	0,92A
	Média	0,47	0,99	0,97	0,88	-
Cu (0 – 10 cm)	0	0,73	1,27	2,30	2,50	1,70A
	90	0,67	1,53	1,83	2,73	1,69A
	Média	0,70	1,40	2,07	2,62	-
Cu (10– 20 cm)	0	0,60	0,80	1,00	1,50	0,98A
	90	0,70	1,10	1,20	1,50	1,13A
	Média	0,65	0,95	1,10	1,50	-
Cu (20 – 30 cm)	0	0,47	0,63	0,67	0,80	0,64A
	90	0,57	0,63	0,80	0,97	0,74A
	Média	0,52	0,63	0,74	0,89	-
Cu (30 – 40 cm)	0	0,40	0,43	0,43	0,50	0,44A
	90	0,60	0,47	0,67	0,73	0,62B
	Média	0,50	0,45	0,55	0,62	-
Cu (40 – 50 cm)	0	0,40	0,40	0,43	0,47	0,43A
	90	0,43	0,63	0,47	0,53	0,52A
	Média	0,42	0,52	0,45	0,50	-
Pb (0 – 10 cm)	0	9,50	12,80	7,47	8,80	9,64A
	90	10,03	8,53	7,73	11,47	9,44A
	Média	9,77	10,67	7,60	10,14	-
Pb (10– 20 cm)	0	13,77	11,20	11,67	12,43	12,27A
	90	14,40	10,83	14,03	21,60	15,22A
	Média	14,09	11,02	12,85	17,02	-
Pb (20 – 30 cm)	0	14,40	13,70	14,40	13,07	13,89A
	90	11,20	14,30	14,67	14,67	13,71A
	Média	12,80	14,00	14,54	13,87	-
Pb (30 – 40 cm)	0	12,07	12,53	11,20	11,73	11,88A
	90	12,80	13,70	13,33	10,77	12,65A
	Média	12,44	13,12	12,27	11,25	-
Pb (40 – 50 cm)	0	10,70	10,00	11,10	12,20	11,00A
	90	13,30	10,00	10,80	11,20	11,33A
	Média	12,00	10,00	10,95	11,70	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na TAB. 3, observa-se que os teores de zinco e de cobre no solo, após o primeiro cultivo, aumentaram com o incremento das doses de composto de

lodo de esgoto, atingindo os maiores valores, com a adição de  $75 \text{ Mg ha}^{-1}$  desse resíduo, exceto para a profundidade de 40-50 cm. Os maiores teores de zinco e de cobre alcançados foram de 20,22 e  $1,54 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente, na profundidade de 0-10 cm, o que corresponde, em relação à dose zero, a um aumento de 1.055%, para o zinco e 111%, para o cobre. Apesar do aumento, as concentrações no solo ficaram ainda muito abaixo dos limites máximos estabelecidos pela USEPA (1999).

**TABELA 3**

Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados no solo, após o primeiro cultivo e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas

Metal Pesado (mg dm <sup>-3</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>	DL (Mg ha <sup>-1</sup> )	TMS (mg dm <sup>-3</sup> )	TMS (kg ha <sup>-1</sup> )	Limite <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )
Zn (0 – 10 cm)	$Y = 1,75 + 0,49096^{***}X - 0,003264^{*}X^2$	0,99	75,00	20,22	20,22	
Zn (10 – 20 cm)	$Y = 1,22 + 0,06392^{***}X$	0,93	75,00	6,02	6,02	
Zn (20 – 30 cm)	$Y = 0,82 + 0,0138^{**}X$	0,95	75,00	1,86	1,86	2.800
Zn (30 – 40 cm)	$Y = 0,65 + 0,0064^{*}X$	0,63	75,00	1,13	1,13	
Zn (40 – 50 cm)	$Y = 0,47 + 0,180077^{***}X^{0,5} - 0,015366^{***}X$	0,99	34,34	1,00	1,00	
Cu (0 – 10 cm)	$Y = 0,73 + 0,02572^{***}X$	0,99	75,00	1,54	1,54	
Cu (10 – 20 cm)	$Y = 0,65 + 0,0108^{***}X$	0,97	75,00	1,46	1,46	
Cu (20 – 30 cm)	$Y = 0,51 + 0,00488^{***}X$	0,99	75,00	0,65	0,65	1.500
Cu (30 – 40 cm)	$Y = (0,23 + 0,000000374^{*}X^3)^{0,5}$	0,85	75,00	0,63	0,63	
Cu (40 – 50 cm)	$Y = Ym = 0,47$	-	-	0,47	0,47	
Pb (0 – 10 cm)	$Y = Ym = 9,55$	-	-	9,55	9,55	
Pb (10 – 20 cm)	$Y = (149,83 + 0,0003119^{***}X^3)^{0,5}$	0,67	75,00	16,78	16,78	
Pb (20 – 30 cm)	$Y = (162,96 + 1,93993^{***}X - 0,024778^{***}X^2)^{0,5}$	0,98	39,14	14,18	14,18	300
Pb (30 – 40 cm)	$Y = (156,58 + 0,816517^{***}X - 0,016548X^2)^{0,5}$	0,94	24,67	12,91	12,91	
Pb (40 – 50 cm)	$Y = 11,98 + 0,095706^{*}X - 0,851154^{*}X^{0,5}$	0,97	19,80	10,09	10,09	

Nota: DL = dose de composto de lodo de esgoto de esgoto para atingir a maior concentração de metal pesado no solo, dentro do intervalo experimental.  
TMS = teor máximo de metal pesado no solo, dentro do intervalo experimental.

Ym = valor médio.

<sup>1</sup> Concentração máxima a ser atingida no solo pela aplicação do resíduo (USEPA, 1999).

°, \*, \*\*, \*\*\* = significativos a 10; 5; 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Diversos autores relatam o aumento dos teores de zinco, de cobre, de chumbo e de níquel no solo com a aplicação de lodo de esgoto (GALDOS *et al.*, 2004; MARQUES *et al.*, 2007; RANGEL *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2006). Entretanto Rangel *et al.* (2004) e Nascimento *et al.* (2004) verificaram que os teores de zinco e de cobre adicionados ao solo, via aplicação de lodo de esgoto de estação de tratamento, não extrapolaram os valores estabelecidos pelas normas para utilização agrícola do lodo. Também Oliveira *et al.* (2009) constataram aumentos nos teores de zinco e de cobre, em solo fertilizado com lodo de esgoto, mas que esses não causaram fitotoxicidade ou contaminação de plantas de maracujá.

Com base na TAB. 3, observa-se que o chumbo não foi influenciado pelas doses de composto de lodo de esgoto na profundidade de 0-10 cm. Entretanto, na profundidade de 10-20 cm, houve aumento dos teores desse elemento, com o incremento das doses de composto de lodo de esgoto, atingindo valor máximo, com a dose de 75 Mg ha<sup>-1</sup>. Para as demais profundidades, houve aumento dos teores de chumbo, com a adição de composto de lodo de esgoto, porém os teores máximos foram atingidos, com doses que variaram de 19,80 a 39,14 Mg ha<sup>-1</sup>. O maior teor de chumbo verificado no solo foi de 16,78 mg dm<sup>-3</sup>, também abaixo do valor crítico estabelecido pela USEPA (1999).

Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento *et al.* (2004), os quais constataram teores de chumbo abaixo do limite máximo permitido para utilização agrícola, com a aplicação de até 60 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em milho e em feijoeiro, corroborando Oliveira *et al.* (2005) e Marques *et al.* (2007) que, apesar de verificarem incrementos nos teores de chumbo no solo, com aumento das doses de lodo de esgoto aplicadas, esses valores não ultrapassaram o limite máximo estabelecido pela legislação americana (USEPA).

Por sua vez, resultados contrários foram encontrados por Prates (2010), que analisando lodo de esgoto na adubação do pinhão manso, obteve uma redução de 0,62 mg dm<sup>-3</sup> para 0,19 mg dm<sup>-3</sup>, nos teores de chumbo, na profundidade de 20- 40 cm, com aplicação de 11 Mg ha<sup>-1</sup>. Esse resultados corroboram os de Chiba *et al.* (2008b), que, após dois anos de

experimentação em campo, não perceberam efeito significativo da aplicação de 30 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto nos teores de cádmio, de chumbo, de cromo e de níquel no solo.

Não foram detectados teores de cádmio e de cromo na folha de milho, porém, conforme observado na TAB. 4, dentre os metais estudados, somente o níquel apresentou ligeiro decréscimo com a aplicação do fosfato natural no solo. Ao contrário do observado, Freitas *et al.* (2009) constataram que a aplicação de fosfato natural de Gafsa aumentou os teores de cádmio e de chumbo em plantas de milho, assim como Campos *et al.* (2005), os quais concluíram que fosfatos de rocha são fontes potenciais de aumento de metais pesados em solos.

**TABELA 4**

Teores de metais pesados na folha de milho do primeiro cultivo, adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural

Metal pesado (mg kg <sup>-1</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Zn	0	20,33	20,67	23,33	35,00	24,83A
	90	19,67	20,67	24,00	32,00	24,08 A
	Média	20,00	20,67	23,67	33,50	-
Cu	0	6,33	4,33	4,00	3,67	4,58 A
	90	4,33	4,00	4,00	6,33	4,67 A
	Média	5,33	4,17	4,00	5,00	-
Ni	0	7,45	6,88	6,31	6,31	6,74 A
	90	5,45	4,30	4,30	7,17	5,30 B
	Média	6,45	5,59	5,30	6,74	-
Pb	0	42,75	31,35	29,00	21,85	31,24 A
	90	23,75	30,40	26,60	24,70	26,36 A
	Média	33,25	30,88	27,80	23,28	-

Nota: Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a TAB. 5, observa-se que os teores de cobre e de níquel na planta não foram influenciados pelas doses de composto de lodo de esgoto aplicadas ao solo, apresentando valores inferiores aos considerados suficientes para suprir a demanda nutricional da cultura, apesar de não terem sido observados sintomas de deficiência desses elementos na planta. Martins *et al.* (2003) também observaram baixa relação entre a aplicação de lodo de esgoto e os teores de cobre em folhas de milho, apesar dos níveis desse metal terem sido considerados elevados no resíduo. Segundo Abreu *et al.* (2007), o cobre forma complexo estável com a matéria orgânica, fazendo com que somente pequena fração desse elemento fique disponível à cultura.

TABELA 5

Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados na folha de milho do primeiro cultivo e as doses de composto de lodo de esgoto aplicadas

Metal (mg kg <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>	DL (Mg ha <sup>-1</sup> )	TMP (mg kg <sup>-1</sup> )	Adequado <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )
Zn	$Y = 17.53 + 0,19798^{***}X$	0,7863	75,00	32,38	15 – 100
Cu	$Y = Y_m = 4,62$	-	-	4,62	6,0 – 20
Ni	$Y = Y_m = 6,02$	-	-	6,02	25 – 300 <sup>2</sup>
Pb	$Y = (1068,70 - 0,11834169^{***}X^2)^{0,5}$	0,9921	0,00	32,69	-

Notas: DL = dose de composto de lodo de esgoto para atingir a maior concentração de nutriente na planta.

TNP = teor máximo de metal na planta.

<sup>1</sup> Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Oliveira (2004).

<sup>2</sup> Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Reuter (1986).

Por outro lado, o teor de zinco na folha aumentou significativamente, com o aumento das doses de lodo aplicadas (TAB. 5). A equação ajustada demonstra que o nível desse elemento na folha, com a aplicação de 75 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lodo de esgoto, corresponde a 32,38 mg kg<sup>-1</sup>, encontrando-se dentro do intervalo de 15 a 100 mg kg<sup>-1</sup>, considerado adequado para a cultura, segundo Oliveira (2004). Resultados semelhantes foram constatados por Galdos *et al.* (2004), na cultura do milho, em Latossolo Vermelho eutroférico, tratado com dose de lodo de esgoto de até 21,6 Mg ha<sup>-1</sup>. Também outros autores constataram relação positiva entre a aplicação de lodo de esgoto e o aumento nos teores de zinco absorvido pelas culturas (GOMES *et al.*, 2007; MARTINS *et al.*, 2003). Anjos; Mattiazzo (2000) avaliaram a fitodisponibilidade de metais pesados, em diferentes solos sistematicamente tratados com biossólido e constataram que os teores de zinco nas folhas de milho foram sempre maiores nos tratamentos com adição desse resíduo. Embora não verificado nesta pesquisa, Gomes *et al.* (2006) constataram que o aumento na absorção de zinco, pela planta de milho, provocou diminuição dos teores de Cu em plantas adubadas com lodo de esgoto.

No caso do chumbo (TAB. 5), observa-se que o aumento da dose de lodo de esgoto reduziu os teores desse elemento na planta, possivelmente associado à complexação do metal pela matéria orgânica do lodo. Prates (2010) constatou redução desse elemento no solo, com a adição de lodo de esgoto, não sendo verificada a presença desse elemento em plantas de

pinhão manso. A redução da disponibilidade de chumbo em solo e em plantas de mostarda, pela adição de material orgânico também foi constatada por Santos; Rodella (2007).

De acordo com Nogueira *et al.* (2008), a adubação sucessiva com lodo de esgoto na cultura do milho promove acúmulo nos teores de cromo, de chumbo e de zinco na planta. Rangel *et al.* (2006) também admitem que a aplicação sucessiva de lodo de esgoto ao solo proporciona aumento nos teores de níquel, de chumbo e de zinco, entretanto esses ainda permanecem abaixo dos níveis de toxicidade para a cultura do milho.

A análise de variância do segundo cultivo sucessivo de milho revelou que não houve interação entre as doses de fosfato natural de Gafsa e de composto de lodo de esgoto, em relação aos teores de metais pesados no solo ( $P > 0,05$ ).

Um ano após a aplicação de composto de lodo de esgoto ao solo e dois cultivos consecutivos de milho, os teores de zinco, de cobre e de níquel foram muito baixos, enquanto cromo, cádmio e chumbo não foram detectados no solo (TAB. 6). Os valores observados para zinco, cobre e níquel no solo ficaram abaixo dos limites máximos estabelecidos pela USEPA (1999).

TABELA 6

Teores de metais pesados no solo em resposta à adubação residual com fosfato natural e composto de lodo de esgoto

Metal pesado (mg dm <sup>-3</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Zn (0 – 10 cm)	0	0,77	2,20	4,47	4,20	2,91A
	90	0,77	1,93	3,50	4,47	2,67A
	Média	0,77	2,07	3,99	4,34	-
Zn (10– 20 cm)	0	0,40	0,90	1,50	1,10	0,98A
	90	0,50	0,60	1,20	1,20	0,88A
	Média	0,45	0,75	1,35	1,15	-
Zn (20 – 30 cm)	0	0,23	0,33	0,57	0,40	0,38A
	90	1,67	0,33	0,40	0,47	0,72A
	Média	0,95	0,33	0,49	0,44	-
Zn (30 – 40 cm)	0	0,20	0,30	0,30	0,30	0,28A
	90	0,80	0,30	0,30	0,30	0,43A
	Média	0,50	0,30	0,30	0,30	-
Zn (40 – 50 cm)	0	0,20	0,20	0,26	0,33	0,25A
	90	0,26	0,23	0,30	0,67	0,37A
	Média	0,23	0,22	0,28	0,50	-
Cu (0 – 10 cm)	0	0,57	0,80	1,17	1,27	0,95A
	90	0,63	0,57	0,83	1,23	0,82A
	Média	0,60	0,69	1,00	1,25	-
Cu (10– 20 cm)	0	0,47	0,70	0,70	0,63	0,63A
	90	0,57	1,23	0,67	0,63	0,78A
	Média	0,52	0,97	0,69	0,63	-
Cu (20 – 30 cm)	0	0,43	0,53	0,47	0,43	0,47A
	90	0,43	0,30	0,43	0,37	0,38A
	Média	0,43	0,42	0,45	0,40	-
Cu (30 – 40 cm)	0	0,43	0,37	0,30	0,33	0,36A
	90	0,40	0,43	0,43	0,37	0,41A
	Média	0,42	0,40	0,37	0,35	-
Cu (40 – 50 cm)	0	0,23	0,37	0,27	0,23	0,28A
	90	0,30	0,23	0,37	0,33	0,31A
	Média	0,27	0,30	0,32	0,28	-
Ni (0 – 10 cm)	0	12,20	13,27	11,40	12,20	12,27A
	90	12,46	10,87	12,73	14,07	12,53A
	Média	12,33	12,07	12,07	13,14	-
Ni (10– 20 cm)	0	12,50	14,10	11,70	12,50	12,70A
	90	13,00	13,50	14,00	13,80	13,58A
	Média	12,75	13,80	12,85	13,15	-
Ni (20 – 30 cm)	0	12,20	13,30	11,70	13,80	12,75A
	90	11,90	12,50	13,00	13,80	12,80A
	Média	12,05	12,90	12,35	13,80	-
Ni (30 – 40 cm)	0	11,40	11,40	11,93	11,93	11,67A
	90	12,20	13,00	13,53	11,67	12,60A
	Média	11,80	12,20	12,73	11,80	-
Ni (40 – 50 cm)	0	13,80	11,90	12,70	13,00	12,85A
	90	13,50	11,90	13,30	12,20	12,73A
	Média	13,65	11,90	13,00	12,60	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a TAB. 6, observa-se que não houve efeito das doses de fosfato natural de Gafsa sobre os teores de metais pesados no solo após o segundo cultivo de milho. Verificou-se, ainda, que todos os metais pesados diminuíram com a profundidade do solo, exceto níquel. Resultados semelhantes em solos cultivados com arroz foram observados por Camargo *et al.* (2000), os quais constataram que a aplicação de adubos fosfatados

nessa cultura não promoveu aumento do teor de metais pesados no solo. Por outro lado, Freitas *et al.* (2009) observaram aumentos lineares nos teores de cádmio e de chumbo no solo, com a aplicação de doses de até 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e Campos *et al.* (2005) admitem que adubos fosfatados são fontes potenciais de metais pesados para os solos.

Conforme observado na TAB. 7, os teores de zinco, de cobre e de níquel na folha de milho não foram influenciados pela aplicação de fosfato natural de Gafsa, enquanto os teores de cromo, de cádmio e de chumbo estiveram abaixo dos níveis de detecção pelo método de análise. Ao contrário do observado, Freitas *et al.* (2009) constataram que a aplicação de fosfato natural de Gafsa aumentou os teores de cádmio e de chumbo em plantas de milho, porém a dose foi nove vezes maior que a utilizada nesta pesquisa.

**TABELA 7**

Teores de metais pesados na folha de milho, em resposta à adubação residual com composto de lodo de esgoto e fosfato natural

Metal pesado (mg kg <sup>-1</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (Mg ha <sup>-1</sup> )				Média
		0	25	50	75	
Zn	0	14,33	20,50	19,00	19,67	18,38A
	90	15,00	18,33	17,00	20,00	17,58A
	Média	14,67	19,42	18,00	19,84	-
Cu	0	4,33	4,50	3,67	5,00	4,38A
	90	4,00	4,67	4,00	5,00	4,42A
	Média	4,17	4,59	3,84	5,00	-
Pb	0	47,77	46,14	44,52	59,17	49,40A
	90	49,40	52,66	54,29	59,17	53,88A
	Média	48,59	49,40	49,41	59,17	-

Nota: Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na TAB. 8, observa-se que, para os teores de zinco no solo, foi constatado efeito residual da aplicação de composto de lodo de esgoto. O teor desse elemento aumentou com o incremento das doses do resíduo, atingindo os mais altos valores com a adição de 75 Mg ha<sup>-1</sup>, exceto na camada de 20-40 cm de profundidade, na qual não foi constatado efeito residual do composto. O maior teor de zinco no solo foi observado na camada superficial (0-10), que correspondeu a 4,36 mg dm<sup>-3</sup>. Esta pesquisa corrobora os resultados de Sukkariyah *et al.* (2005a), os quais observaram que, após 17 anos, mais de 75% do zinco, aplicado via lodo de esgoto,

permaneciam na camada de incorporação e também Oliveira *et al.* (2005), que, após 5 anos de aplicações consecutivas de lodo de esgoto no solo, verificaram que o zinco adicionado tendeu a permanecer na camada de 0-20 cm. Apesar do composto de lodo de esgoto promover aumentos nos teores de zinco no solo, os valores máximos ficaram muito abaixo dos limites estabelecidos pela USEPA (1999).

**TABELA 8**

Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados no solo e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas

Metal pesado (mg dm <sup>-3</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>	DL (Mg ha <sup>-1</sup> )	TMS (mg dm <sup>-3</sup> )	TMS (kg ha <sup>-1</sup> )	Limite <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )
Zn (0 - 10 cm)	Y = 0,755 + 0,0954***X - 0,000632*X <sup>2</sup>	0,9994	75,00	4,36	4,36	
Zn (10 - 20 cm)	Y = (0,2845 + 0,01848*X) <sup>0,5</sup>	0,7885	75,00	1,29	1,29	
Zn (20 - 30 cm)	Y = Ym = 0,55	-	-	0,55	0,55	2.800
Zn (30 - 40 cm)	Y = Ym = 0,35	-	-	0,35	0,35	
Zn (40 - 50 cm)	Y = 0,177 + 0,00348***X	0,7352	75,00	0,44	0,44	
Cu (0 - 10 cm)	Y = 0,546 + 0,00904***X	0,9612	75,00	1,22	1,22	
Cu (10 - 20 cm)	Y = Ym = 0,70	-	-	0,70	0,70	
Cu (20 - 30 cm)	Y = Ym = 0,43	-	-	0,43	0,43	1.500
Cu (30 - 40 cm)	Y = Ym = 0,39	-	-	0,39	0,39	
Cu (40 - 50 cm)	Y = Ym = 0,28	-	-	0,28	0,28	
Ni (0 - 10 cm)	Y = (153,060435 - 0,751993***X + 0,01332748***X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,9531	75	13,10	13,10	
Ni (10 - 20 cm)	Y = Ym = 13,14	-	-	13,14	13,14	
Ni (20 - 30 cm)	Y = Ym = 12,78	-	-	12,78	12,78	420
Ni (30 - 40 cm)	Y = (137,258065 + 1,0252389***X - 0,012965X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,7805	39,54	12,55	11,88	
Ni (40 - 50 cm)	Y = Ym = 12,79	-	-	12,79	12,79	

Notas:DL = dose de composto de lodo de esgoto de esgoto para atingir a maior concentração de metal pesado no solo, dentro do intervalo experimental.

TMS = teor máximo de metal pesado no solo, dentro do intervalo experimental.

Ym = valor médio.

<sup>1</sup> Concentração máxima a ser atingida no solo pela aplicação do resíduo (USEPA, 1999).

<sup>0</sup>, \*, \*\*, \*\*\* = significativos a 10; 5; 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Os teores de cobre na camada superficial do solo (0-10 cm) aumentaram linearmente, com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto (TAB. 8). Com a maior dose aplicada ( $75 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), o teor desse elemento no solo foi de  $1,22 \text{ mg dm}^{-3}$ , bem inferior ao limite máximo estabelecido pela USEPA (1999), que é de  $1.500 \text{ mg dm}^{-3}$ . Nas demais profundidades avaliadas, não foram constatadas efeitos residuais do composto nos teores de cobre, evidenciando, dessa forma, a baixa mobilidade do elemento no solo. Dezesete anos após a aplicação de lodo de esgoto no solo, Sukkariyah *et al.* (2005b) observaram aumento linear nos teores de cobre, em razão do aumento das doses de lodo de esgoto e também Sukkariyah *et al.* (2005a) constataram que mais de 85% do cobre adicionado ainda permaneciam na camada onde foi incorporado (0-15 cm).

Como pode ser observado na TAB. 8, os teores de níquel na camada de 0-10 cm e de 30-40 cm apresentaram relação com as doses crescentes de composto de lodo de esgoto, aplicadas ao solo um ano antes das análises. A maior dose utilizada foi a que propiciou maiores teores desse elemento na camada de 0-10 cm. Entretanto, como pode ser verificado pela equação ajustada para o elemento, os teores no solo, quando aplicada a maior dose do composto e quando não aplicado o resíduo,  $13,10 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $12,39 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente, diferiram muito pouco. Além disso, os teores nas camadas influenciadas pelo resíduo apresentaram valores próximos daquelas que não apresentaram relação com o aumento das doses do composto. Conclui-se, assim, que, um ano após a aplicação no solo e dois cultivos consecutivos de milho, a contribuição do composto de lodo de esgoto foi pouco significativa para os teores desse elemento no solo.

O teor de zinco na folha aumentou significativamente com o incremento das doses de composto de lodo de esgoto, sendo que o teor máximo desse elemento foi atingido com a dose de  $63,62 \text{ Mg ha}^{-1}$  (TAB. 9). A equação ajustada demonstra que o teor desse elemento na folha, com a aplicação de  $75 \text{ Mg ha}^{-1}$  de composto de lodo de esgoto, dose que gerou maior produtividade de milho, corresponde a  $19,53 \text{ mg kg}^{-1}$ , encontrando-se dentro do intervalo de 15 a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , considerado adequado para a

cultura, segundo Oliveira (2004). Além disso, os teores desse elemento em folhas de milho que se desenvolveu em parcelas adubadas com a maior dose utilizada no experimento, diferiram pouco dos teores verificados em parcelas não adubadas com o composto, sendo os valores 19,53 e 15,24 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Galdos *et al.* (2004) também constataram aumento nos teores de zinco em plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho eutroférico, tratado com dose de lodo de esgoto de até 21,6 Mg ha<sup>-1</sup>. Também outros autores constataram relação positiva entre a aplicação de lodo de esgoto e o aumento nos teores de zinco absorvido pelas culturas (GOMES *et al.*, 2007; MARTINS *et al.*, 2003). Anjos e Mattiazzo (2000) avaliaram a fitodisponibilidade de metais pesados em diferentes solos sistematicamente tratados com biossólido e constataram que os teores de zinco nas folhas de plantas de milho foram sempre maiores nos tratamentos com adição desse resíduo.

**TABELA 9**

Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados na folha de milho e as doses residuais de composto de lodo de esgoto aplicadas

METAL (mg kg <sup>-1</sup> )	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	DL (Mg ha <sup>-1</sup> )	TMP (mg kg <sup>-1</sup> )	ADEQUADO <sup>1</sup>
Zn	$Y = (232,100195 + 4,6975118^{***}X - 0,03692076^{***}X^2)^{0,5}$	0,7470	63,62	19,53	15 – 100
Cu	$Y = Ym = 4,40$	-	-	4,40	6,0 – 20
Pb	$Y = 39,58 + 0,6218*X$	0,6218	75	86,23	-

Noats: DL = dose de composto de lodo de esgoto para atingir a maior concentração de nutriente na planta, dentro do intervalo experimental.

TNP = teor máximo de metal na planta, dentro do intervalo experimental.

<sup>1</sup> Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Oliveira (2004).

<sup>2</sup> Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Reuter (1986).

De acordo com a TAB. 9, observa-se que os teores de cobre na planta não foram influenciados pelas doses de composto de lodo de esgoto aplicadas ao solo, apresentando valores inferiores aos considerados suficientes para suprir a demanda nutricional da cultura, apesar de não terem sido observados sintomas de deficiência desses elementos na planta. Martins *et al.* (2003) observaram baixa relação entre a aplicação de lodo de esgoto e os níveis de cobre em folhas de milho, apesar dos níveis desse metal terem sido considerados elevados no resíduo. Segundo Abreu *et al.* (2007), o cobre forma complexo estável com a matéria orgânica, fazendo com que somente pequena fração desse elemento fique disponível à cultura.

Apesar de não detectado no solo, observa-se que o aumento da dose de lodo de esgoto promoveu aumentos lineares nos teores de chumbo em folhas de milho. Quando o milho foi cultivado em parcelas que receberam a maior dose do composto, as suas folhas apresentaram teores médios de 86,33 mg kg<sup>-1</sup> de chumbo, enquanto plantas não adubadas com o resíduo apresentaram 39,58 mg kg<sup>-1</sup>. Resultados diferentes foram observados por Prates (2010), o qual verificou redução de chumbo no solo, com a adição de lodo de esgoto, não sendo constatada a presença desse elemento em plantas de pinhão manso.

Não foi constatado efeito residual da aplicação de lodo de esgoto sobre os teores de cádmio, de cobre e de níquel em folhas de milho, apesar de ter sido detectado níquel no solo. Gavalda *et al.* (2005) avaliaram os teores de metais pesados em plantas de milho um ano após a aplicação de lodo de esgoto ao solo e não observaram efeito de uma única aplicação de lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados nessa cultura. Por outro lado, Sukkariyah *et al.* (2005b) constataram, dezessete anos após uma única aplicação de lodo de esgoto no solo, aumentos na absorção de zinco, de cádmio, de cobre e de níquel em diferentes tipos de culturas, entretanto os valores não ficaram acima dos normalmente observados para solos não contaminados. Deve-se levar em consideração, ainda, que esses últimos autores trabalharam com lodo de esgoto que possuíam altos teores de metais e sem compostagem.

Na TAB. 10, observa-se que os teores de zinco no solo diminuíram do primeiro para o segundo cultivo, com reflexos na absorção desse elemento no segundo cultivo. Para o cobre, houve pouca variação no solo de um cultivo para outro, sendo que, na planta, os teores foram aproximadamente os mesmos. Por outro lado, para o níquel, os teores no solo aumentaram muito no segundo cultivo, porém não foram detectados na folha de milho.

TABELA 10

Intervalos de confiança das médias dos teores de metais pesados no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e na folha ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de milho nos dois cultivos sucessivos

Metal pesado	1º plantio		2º plantio	
	Média	IC <sup>1</sup>	Média	IC <sup>1</sup>
Zn (0 – 10 cm)	13,02	±6,54	2,79	±1,31
Zn (10 – 20 cm)	3,62	±1,67	0,93	±0,33
Zn (20 – 30 cm)	1,34	±0,43	0,55	±0,39
Zn (30 – 40 cm)	0,89	±0,27	0,35	±0,15
Zn (40 – 50 cm)	0,82	±0,23	0,31	±0,13
Cu (0 – 10 cm)	1,70	±0,65	0,88	±0,25
Cu (10 – 20 cm)	1,05	±0,29	0,70	±0,19
Cu (20 – 30 cm)	0,69	±0,13	0,42	±0,06
Cu (30 – 40 cm)	0,53	±0,10	0,38	±0,04
Cu (40 – 50 cm)	0,47	±0,06	0,29	±0,05
Pb (0 – 10 cm)	9,54	±1,54	*	*
Pb (10 – 20 cm)	13,74	±2,88	*	*
Pb (20 – 30 cm)	13,80	±0,99	*	*
Pb (30 – 40 cm)	12,27	±0,85	*	*
Pb (40 – 50 cm)	11,16	±0,93	*	*
Ni (0 – 10 cm)	4,66**	-	12,40	±0,84
Ni (10 – 20 cm)	3,20**	-	13,14	±0,71
Ni (20 – 30 cm)	2,22**	-	12,78	±0,69
Ni (30 – 40 cm)	1,30**	-	12,13	±0,64
Ni (40 – 50 cm)	1,90**	-	12,79	±0,61
Zn (folha)	24,46	±4,87	17,98	±1,93
Cu (folha)	4,62	±0,90	4,40	±0,41
Ni (folha)	6,02	±1,02	*	*
Pb (folha)	28,80	±5,45	51,64	±4,70

Nota: \*Não detectados.

\*\*Valores médios observados apenas em algumas parcelas.

<sup>1</sup>Intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t.

No caso do chumbo (TAB. 10), os teores no solo diminuíram do primeiro para o segundo cultivo, porém, na planta, os teores aumentaram na ordem inversa, o que demonstra que, com o tempo e decomposição da matéria orgânica, esse elemento fica disponível para absorção pelas plantas.

#### 4 CONCLUSÃO

A aplicação de fosfato natural não influencia, de modo geral, os teores de metais pesados no solo e na planta de milho, após dois cultivos sucessivos.

A aplicação de doses de composto de lodo de esgoto até  $75 \text{ Mg ha}^{-1}$  promove aumento nos teores de cobre, de zinco e de chumbo no solo, após o primeiro cultivo e de cobre, de zinco e de níquel do solo, após o segundo cultivo consecutivo de milho, sem extrapolar os limites críticos estabelecidos pela USEPA (1999).

Os teores de zinco em folhas de milho aumentam nos dois cultivos sucessivos, com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto ao solo.

Os teores de chumbo em folhas de milho diminuem no primeiro cultivo e aumentam no segundo cultivo, com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto ao solo.

**REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8849: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.** São Paulo: ABNT, 1985.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. v. 1, p. 645-736.

ALCÂNTARA, R. L.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; GHEYI, H. R.; SANTOS, J. W.; CEBALLOS, B. S. O. Desempenho produtivo do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de lodo de esgoto como fonte nutricional. In: CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA 4ª REGIÃO DA AIDIS/CONE SUL, 4., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. p. II-19.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Orgs.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. Cap. 5, p. 25-32.

ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo após a aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, v. 58, p. 59-72, dez. 2000.

ANDRADE, A. T. **Relação da aplicação de resíduo orgânico, calcário e gesso com a adsorção de fósforo e produção do feijoeiro em solos de várzea.** 2001. 41 f. Mestrado (Dissertação em Agronomia). Lavras: UFLA, 2001.

ANDREOLI, C. V.; FERENANDES, F.; DOMASZAK, S. C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto:** estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Curitiba: SANEPAR, 1999. 82 p.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 769-776, out./dez. 2000.

ANTOLIN, M. C.; PASCUAL, I.; GARCIA, C.; POLO, A.; SANCHEZ-DIAZ, M. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 94, n. 2/3, p. 224-237, Nov. 2005.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 252-280.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. B.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 31, n. 3, p. 601-605, maio/jun. 2007.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, Maringá v. 24, n. 5 p. 1501-1505, 2002.

BEHLING, M.; DIAS, F. C.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; OLIVEIRA, C.; MAZUR, N. Nodulação, acúmulo de nitrogênio no solo e na planta, e produtividade de soja em solo tratado com lodo de estação de tratamento de resíduos industriais. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 453-462, 2009.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312 p.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A. Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 2, p. 123-128, abr./jun. 2005.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 43, n. 12, p. 1785-1792, dez. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Disponível em: <[www.fundagresorg.br/biossolido/images/downloads/res\\_conama37506](http://www.fundagresorg.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506)>.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. S.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CAMARGO, M. S.; ANJOS, A. R. M.; ROSSI, C.; MALAVOLTA, E. Adubação fosfatada e metais pesados em Latossolo cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 513-518, jun./set. 2000.

CAMPOS, M. L.; SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 40, n. 4, p. 361-367, abr. 2005.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologia de Produção do Milho**. Viçosa: UFV, 2008. Cap. 5, p. 139-182.

CHIBA, M. K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo**: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. 2005. 214 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Piracicaba: Esalq/USP, 2005.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. I – Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 32, n. 2, p. 643-652, abr. 2008a.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: II - Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, mar./abr. 2008b.

CHUEIRI, W. A.; SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 502-508, set./out. 2007.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho nutrição e adubação**. Sete Lagoas: Embrapa, 2002. 12 p. (Comunicado técnico, 44).

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J.; SOUZA, S. K. S.; SILVA, G. B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 218-224, jul./set. 2008.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, S. K. S.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and p uptake by corn. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 2, p. 159-164, mar./abr. 2005.

COSTA, A. N.; RODRIGUES, C.; TELES, C. R.; KROHLING, B. Reciclagem agrícola do lodo de lagoas de estabilização. In: GONÇALVES, R. F. (Org.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Espírito Santo: UFES, 2000. Cap. 8, p. 69-76.

DAVID, A. C.; TSUTIYA, M. T. Secagem térmica de biossólidos na região metropolitana de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de nitrogênio (15n) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em latossolo vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 463-472, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do milho irrigado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 39 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 36, n. 11, p. 1419-1424, nov. 2001.

FERNANDES, F.; LOPES, D. D.; ANDREOLI, C. V.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, C. V.; CLEVERSON, V. A.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 299-318.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; ANDREOLI, C. V. Gestão e controles operacionais aplicados à reciclagem agrícola de biossólidos na região metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIODIVERSIDADE, 1., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; GOULART, D. F.; SILVA, J. P. S. Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1899-1907, dez. 2009.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 569-577, maio/jun. 2004.

GAVALDA, D.; SCHEINER, J. D.; REVEL, J. C.; MERLINA, G.; KAEMMERER, M.; PINELLI, E.; GUIRESSE, M. Agronomic and environmental impacts of a single application of heat-dried sludge on an Alfisol. **Science of the Total Environment**, v. 343, n. 1/3, p. 97-109, May, 2005.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; ACCIOLY, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em argissolo tratado com lodo de esgoto. **Revista Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1689-1695, nov./dez. 2006.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 459-465, out. 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 391-396, 1999.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 41, n. 10, p. 1477-1484, out. 2006b.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 30, n. 4, p. 741-750, ago. 2006a.

LIMA, L. M. Q. **LIXO: tratamento e biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1995. 265 p.

LOPES, A. S.; Fosfatos Naturais. In: RIBEIRO, A. C; GUIMAÃES, P. T. G; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. Cap. 9.3, p. 65-66.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 4. ed. Piracicaba: E. J. KIEHL, 2002. 146 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Cadeia produtiva do milho**. Brasília, DF: MAPA, 2007. 107 p.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; MARQUES, T. A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES, 2002. Cap. 12, p. 365-403.

MARQUES, M. O.; NOGUEIRA, T. A. R.; FONSECA, I. M.; MARQUES, T. A. Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 133-143, jan./jul. 2007.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 563-574, maio/jun. 2003.

MATTEUCCI, M. B. A.; GUIMARÃES, N. N. R.; TIVERON FILHO, D. Influência de sucessivos cultivos com adubação orgânica sobre o teor de proteína de uma cultura de milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 25, n. 2, p. 89-92, 1995.

MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. Cap. 9, p. 243-272.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. Cap. 11, p. 289-363.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Palestras...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K.; SOUZA, G. B.; FREITAS, A. R. Production, nutritional status and chemical properties of soils with addition of cattle manure, reactive natural phosphate and biotite schist in Massai cultivar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 9, p. 1883-1888, set. 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, mar./abr. 2004.

NOCE, M. A. **Milho variedade BR 106: técnicas de plantio**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 5 p. (Comunicado Técnico, 109).

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M. O. Cádmiu, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 32, n. 5, p. 2195-2207, out. 2008.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A., FERREIRA, C. S.; FONSECA, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 122-131, jan./jun. 2006.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FONSECA, I. M.; FERREIRA, C. S.; SANTOS, S. E.; FERREIRA, L. C.; GOMES, E.; FERNANDES, L. A. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 331-338, maio/jun. 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.(Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NOVAIS, R. F. Utilização de Fosfatos naturais de baixa reatividade. In: RIBEIRO, A. C; GUIMAÃES, P. T. G; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. Cap. 9.2, p. 62-64.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 581-593, jul./set. 2001.

OLIVEIRA, J. P. B.; LOPES, J. C.; ALEXANDRE, R. S.; JASPER, A. P. S.; SANTOS, L. N. S.; OLIVEIRA, L. B. Concentração de metais pesados em plantas de maracujá doce cultivadas em dois solos tratados com lodo de esgoto. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 217-223, maio/ago. 2009.

OLIVEIRA, K. W.; MELO, W. J.; PEREIRA, G. T.; MELO, V. P.; MELO, G. P. Heavy metals in oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 4, p. 381-388, jul./ago. 2005.

OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004. p. 245-256.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

PRATES, F. B. S. **Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros: ICA/UFMG, 2010.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 15-23, jan./fev. 2004.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J. F. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 583-594, jun. 2006.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURTI, N.; LAGO, F. J.; Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência Agrotécnica**, v. 30, n. 3, p. 458-466, maio/jun. 2006.

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 61-67, 2001.

ROCCA, A. C. C. **Resíduos sólidos industriais**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1993. 234 p.

SANTOS, G. C. G.; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 793-804, jul./ago. 2007.

SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F. P. Eficiência do fosfato natural de Gafsa associado à calagem e gesso e sintomas nutricionais da alfafa, *Medicago sativa* L. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 4, p. 1155-1161, 2002.

SILVA, A. A.; VARGAS, L.; WERLANG, R. C. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologia de produção do milho**, Viçosa: UFV, 2008. Cap. 8, p. 269-310.

SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; DYNIA, J. F.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 353-364, mar./abr. 2006.

SILVA, C. J. C.; LIMA, M. G. S.; CARVALHO, C. M.; ELOI, W. M.; PEDROZA, M. M.; SILVA, C. J. C. Efeito do lodo de estação de tratamento de despejos de curtumena fase inicial do crescimento do milho. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, p. 131-136, jul./dez. 2005.

SILVA, J. E.; RESCK D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 487-495, 2002a.

SILVA, J. E.; RESCK D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. II. Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 497-503, 2002b.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V. T.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: FCO, 2001a. v. 6, p. 69-121.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEIXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 831-840, maio. 2001b.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 38, n. 10, p. 1187-195, out. 2003.

SOUZA, P. M.; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologia de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2008. Cap. 1, p. 13- 54.

SUKKARIYAH, B. F.; EVANYLO, G.; ZELAZNY, L.; CHANEY, R. L. cadmium, copper, nickel, and zinc availability in a biosolids-amended piedmont soil years after application. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 6, p. 2255-2262, Dez. 2005b.

SUKKARIYAH, B. F.; EVANYLO, G.; ZELAZNY, L.; CHANEY, R. L. Recovery and distribution of biosolids-derived trace metals in a clay loam soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, 5, p. 1843-1850, Sep./Oct. 2005a.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TEDESCO, M. J.; SELBACH, P. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap. 9, p. 159-196.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 40, n. 3, p. 261-269, mar. 2005.

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: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2002. 468 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Title 40 CFR: part 503: final rules standards for the use for disposal of sewage sludge**. Washington: USEPA, 1999.

VIEIRA, R. F.; TANAKA, R. T.; TSAI, S. M.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. M. M. S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 40, n. 9, p. 919-926, set. 2005.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: MANLIO, S. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap. 12, p. 299-325.

WANKE, R.; SILVA, G. M.; SANT'ANA, T. D.; GONÇALVES, R. F. Plano de gerenciamento de lodos para as pequenas estações de tratamento de esgoto sanitário do município de Linhares - ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville, 2003.