

# Manejo do lodo de esgoto e nitrogênio mineral na fertilidade do solo ao longo do tempo

## Management of sewage sludge and mineral nitrogen in soil fertility over time

Thomaz Figueiredo Lobo<sup>1\*</sup>; Helio Grassi Filho<sup>2</sup>; Leonardo Theodoro Bull<sup>2</sup>; Lais Lorena Queiroz Moreira<sup>3</sup>

### Resumo

A utilização de lodo de esgoto é uma prática promissora para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. O objetivo deste trabalho foi verificar a melhoria na fertilidade do solo sobre diferentes manejos de lodo de esgoto e de nitrogênio mineral após 7 aplicações deste resíduo. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental São Manuel pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP de Botucatu, localizada no município de São Manuel. Foi adotado um delineamento experimental em blocos casualizados constituído por 6 tratamentos e 5 repetições assim definidos: T0 - sem adubação nitrogenada, T1 - adubação química nitrogenada de acordo com a necessidade da cultura, T2 - 50% adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto e 50% na forma da adubação química, T3 - 100% da adubação nitrogenada do recomendado pela cultura, proveniente do lodo de esgoto, T4 - 150% da adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto e T5 - 200% da adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto. Foram feitas sete aplicações de lodo de esgoto com as seguintes culturas (ano 1 - girassol, ano 2 girassol, ano 3 - aveia e feijão, ano 4 - triticales e girassol, ano 5 - trigo), sendo que as três primeiras aplicações foram com lodo de esgoto tratado e as demais aplicações foram com lodo compostado. Na profundidade de 0 a 20 cm o lodo de esgoto promoveu um incremento nos teores de matéria orgânica, P, S, H+Al, CTC e decréscimo no pH do solo. Na profundidade de 20 a 40 cm o lodo de esgoto promoveu uma diminuição no pH e aumento nos teores de matéria orgânica, P, H+Al, K, Ca, SB, CTC e S. O N mineral influenciou o aumento do S na profundidade de 20 a 40 cm.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, matéria orgânica e acidez do solo

### Abstract

The use of sewage sludge is a practice highly promising for the development of sustainable agricultural systems. The objective of this study was to assess the improvement in soil fertility management strategies on different sewage sludge and mineral nitrogen after seven application of this residue. The experiment was carried at the São Manuel Experimental Farm belonging to the faculty of Agronomic Sciences of UNESP, Botucatu, located in the county of São Manuel. It was adopted the experimental design in a randomized blocks consisting of six treatments and five repetitions defined as follows: T0 - without

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Pós-Doutorando do Curso de Irrigação, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", UNESP, Botucatu, SP. E-mail: thomaz.lobo@superig.com.br

<sup>2</sup> Eng<sup>as</sup> Agr<sup>as</sup>, Drs. do Dept<sup>o</sup> de Recursos Naturais e Ciência do Solo, UNESP, Botucatu, SP. E-mail: heliograssi@fca.unesp.br; bull@fca.unesp.br

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, Discente de Mestrado do curso de irrigação, UNESP, Botucatu, SP. E-mail: moreira.laislorena@yahoo.com.br

\* Autor para correspondência

nitrogen fertilizer, T1 – mineral fertilizer nitrogen according to the crop needs, T2 – 50% nitrogen from sewage sludge and 50% in the form of chemical fertilizer, T3 – 100% of nitrogen recommended by the culture, from sewage sludge, T4 - 150% of nitrogen recommended by the culture, from sewage sludge and T5 – 200% of the nitrogen from the sewage sludge. It has done seven application of sewage sludge in crop (year 1 – sunflower, year 2 sunflower, year 3 – oats and bean, year 4 – triticale and sunflower, year 5 – wheat) and the first three applications were treated with sewage sludge and the other applications were composted sludge. In the depth 0-20 cm, the sewage sludge promoted an increase in levels of organic matter, P, S, H+Al, CEC and decreased in soil pH. In the depth of 20 to 40 cm the sewage sludge promoted a decrease in pH and increase in soil organic matter, P, H+Al, K, Ca, SB, CEC and S. Mineral N influence the increase in the depth S of 20-40 cm.

**Key words:** Sustainability, organic matter and soil acidity

## Introdução

A população está crescendo de uma forma muito rápida e a produção de resíduos acompanha este crescimento, aumentando cada vez mais a produção de lodo de esgoto e águas residuárias nas ETEs (Estações de Tratamentos de Esgotos). Estes resíduos, de uma forma geral, são depositados em aterros sanitários e lançados nos mananciais, sendo pouco aproveitados, tendo em vista que estes resíduos são ricos em nutrientes para as plantas e que de uma maneira ou outra poderiam ser utilizados na agricultura.

A disposição final do lodo de esgoto vem se caracterizando como um dos problemas ambientais urbanos mais relevantes da atualidade, e que cresce diariamente tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, com reflexos da ampliação das redes de coleta e incremento dos níveis de tratamento (PEGORINI et al., 2003).

A utilização de lodo de esgoto é uma prática altamente promissora para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. No entanto, normas rígidas pela elaboração de projetos devem ser seguidas para minimizar o impacto desta prática no ambiente, a norma técnica P4.240 (CONAMA, 2006).

Os lodos de esgotos são, de uma maneira geral, fertilizantes nitrogenados. Além do N, o lodo de esgoto contém P e micronutrientes essenciais, como Fe, Cu, Mn e Zn. Normalmente a concentração de K no lodo de esgoto é baixa para suprir as necessidades

das culturas agrícolas. Quando aplicado em taxas agronômicas, os lodos de esgotos podem reduzir em muito o custo de produção, pela menor utilização de fertilizantes minerais solúveis. No Colorado (EUA), a constante aplicação de 7,5 ton ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto a cada dois anos resulta uma produção de trigo comparável com uma aplicação de 55-65 kg N ha<sup>-1</sup>, na forma de fertilizante nitrogenado comercial. Na região metropolitana de São Paulo, estima-se uma produção de aproximadamente 500 t de lodo de esgoto seco por dia. Considerando-se uma média de 3% de N orgânico e uma taxa de mineralização de 20% ao ano, somente os lodos de esgotos da região metropolitana de São Paulo poderiam suprir 3 ton de N por dia (LAMBALIS; SOUZA, 2000).

Trannin, Silveira e Moreira (2008) verificou que com o aumento da dose de lodo de esgoto aumentou a matéria orgânica do solo principalmente após a segunda aplicação. Rivero et al. (2004), em estudos que objetivou avaliar o impacto do composto na qualidade de solo tropical, aplicaram, durante três anos, doses de 0, 37, 74, 148 e 444 t ha<sup>-1</sup> de composto a base seca, verificando, após este período, que a adição de composto aumentou a quantidade e a qualidade da matéria orgânica devido ao incremento de ácidos húmicos, o que resultou em melhoria na fertilidade do solo. Em solos tropicais, os efeitos da adição de lodo de esgoto sobre o carbono orgânico, quando ocorrem, são temporários (VAZ; GONÇALVES, 2002; CARMO, 2001), porém, alguns estudos tem verificado, em longo prazo, aumentos lineares nos teores de carbono no solo com

aumento de doses de lodo de esgoto (OLIVEIRA et al., 2002; MARQUES, 1996). Dias (2005) concluiu em um de seus trabalhos que o teor e o estoque de carbono aumentaram significativamente na camada superficial do solo (0-20 cm) com acréscimo de dose de lodo de esgoto aplicado.

O lodo de esgoto é um resíduo que poderá ser reaproveitado para a agricultura desde que seja bem manejado, ou seja, fazer recomendações pela necessidade de N para evitar a lixiviação excessiva de nitrato, utilizar lodo que tenha teores de metais pesados adequado seguindo a legislação estabelecida pelo CONAMA, (2006).

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito na fertilidade do solo sobre diferentes manejos de lodo de esgoto e nitrogênio mineral após 7 aplicações deste resíduo.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental São Manuel pertencente à Faculdade

de Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu, localizada no município de São Manuel a (22° 25' S; Latitude Sul, 48° 34'W) Longitude Oeste de Greenwich, com altitude de 750 m. s.n.m.. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico, Cwa, ou seja, subtropical úmido com estiagem no período de inverno, e com chuvas de novembro a abril sendo a precipitação média anual do município de 1.433 mm. A umidade relativa do ar é de 71%, com temperatura média de 23°C, medias anual. A classificação e os dados meteorológicos foram fornecidos pelo Departamento de Recursos Naturais, área de Ciências Ambientais / FCA UNESP – Botucatu.

A classificação do solo onde foi instalado este experimento é Latossolo Vermelho Escuro (EMBRAPA, 1999).

Antecedendo a instalação do experimento, foram realizadas análises químicas de solo nas faixas de profundidades de 0-20 a 20-40cm, segundo Raij et al. (2001), estando os resultados apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características químicas iniciais do solo.

Prof. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P(res.) mg dm <sup>-3</sup>	H+Al	Al <sup>+3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	T	V %
0 – 20	6,1	12	20	13	-	1,9	19	12	33	46	71
0 - 40	6,1	7	6	13	-	1,6	17	9	28	41	68
Prof. cm	B	Cu	Fe	Mn	Zn						
						----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
0 – 20	0,11	1,0	20	7,7	1,2						
20 – 40	0,09	0,9	13	4,1	1,2						

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados constituído por 6 tratamentos

e 5 repetições assim definidos Pimentel Gomes (2000):

- T0 sem adubação nitrogenada (testemunha);
- T1 adubação química nitrogenada de acordo com o Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997) (Adubação 100% N químico);
- T2 50% adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto e 50% na forma da adubação química, em cobertura;
- T3 100% da adubação nitrogenada do recomendado pela cultura, proveniente do lodo de esgoto;
- T4 150% da adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto;
- T5 200% da adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto.

Cada parcela foi constituída por uma área de 100 metros quadrados (14x7,2m) com uma distância de 3 m de uma parcela a outra do mesmo bloco. A distância entre um bloco ao outro foi de 1,8 m.

O cálculo do N proveniente do lodo de esgoto foi feito levando em consideração a sua taxa de mineralização do nitrogênio de 30% durante o ciclo da cultura segundo CONAMA (2006).

Utilizou-se o lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Jundiaí/SP, cujas características são apresentadas na Tabela 2. As análises, a partir de amostras compostas, foram realizadas no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômica de Botucatu – SP, seguindo metodologia de Coelho et al. (1998).

**Tabela 2.** Características químicas do lodo de esgoto utilizado no experimento.

ano	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Umid.	MO	C	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	pH
	-----%				-----				----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
1°	3,2	1,7	0,18	67,6	55	30,6	1,25	0,22	4,6	1520	812	31650	3400	2150	10/1	4,30
2°	3,6	1,6	0,22	67,6	58	32,2	1,73	0,30	1,8	1760	650	11850	670	500	9/1	6,00
3°	3,9	2,1	0,16	57,0	58	32,3	1,10	0,19	4,7	1160	428	23450	630	3000	8/1	6,05
4°	2,4	2,0	0,40	50,0	55	31,0	1,90	0,30	1,6	1340	304	23250	472	3750	13/1	6,60
5°	2,3	2,0	0,40	60,0	50	28,4	1,90	0,30	1,6	1340	304	23250	472	3750	12/1	6,60
6°	2,4	2,0	0,40	58,0	53	29,4	1,90	0,30	1,6	1340	304	23250	472	3750	12/1	6,60
7°	2,0	1,3	0,19	51,0	51	28,3	1,06	0,17	0,8	920	84	12050	270	550	14/1	6,25

**Fonte:** Elaboração dos autores.

As quantidades aplicadas de lodo para cada tratamento estão apresentadas na Tabela 3:

**Tabela 3.** Quantidades de lodo de esgoto para cada tratamento.

Tratamento	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	total
	Aplicações kg ha <sup>-1</sup>							
T2	7.600	7.094	7.000	10.000	8.984	8.768	10.700	51.378
T3	15.200	14.187	14.000	20.000	17.968	17.536	21.400	102.756
T4	22.800	21.281	21.000	30.000	26.952	26.305	32.099	154.134
T5	30.400	28.374	28.000	40.000	35.936	35.073	42.798	205.512

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Este composto de lodo de esgoto utilizado apresenta dentro das normas do CONAMA, (2006) quanto à patógenos e metais pesados.

Foram feitas sete aplicações de lodo de esgoto com as seguintes culturas (ano 1 – girassol, ano 2 girassol, ano 3 - aveia e feijão, ano 4 – triticales e girassol, ano 5 – trigo), sendo que as três primeiras aplicações foram com lodo de esgoto tratado e incorporado a 10 cm e as demais aplicações foram com lodo compostado em sistema de semeadura direta.

Na primeira cultura de girassol a adubação de semeadura para todas as parcelas foi constituída de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples (180 g kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (600 g kg<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O). A adubação de N foi realizada logo após o plantio no T1, na dosagem de 10 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia (450 g kg<sup>-1</sup> de N), que é o recomendado para o Estado de São Paulo. Os tratamentos T0, T2, T3, T4 e T5 não receberam esta adubação com N; adubação de cobertura - os tratamentos que receberam a adubação de cobertura foram os tratamentos T1 e T2. O tratamento T1 recebeu 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, que é o recomendado para o Estado de São Paulo, de acordo com o Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), o tratamento T2 recebeu 25 kg ha<sup>-1</sup> de N, porque os outros 25 kg ha<sup>-1</sup> foram aplicados antes do plantio na forma de lodo de esgoto, totalizando os 50 kg ha<sup>-1</sup> que é o recomendado para o Estado de São Paulo. A forma utilizada para a cobertura foi a uréia. Esta operação foi realizada aos 30 dias após a emergência, como choveu após esta adubação não

houve necessidade de incorporar; adubação foliar - foi feita uma aplicação foliar de B aos 45 dias após o plantio, na dosagem de 1 g L<sup>-1</sup> de ácido bórico.

No segundo ano de girassol a adubação de semeadura para todas as parcelas foi constituída de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples (180 g kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (600 g kg<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O). A adubação de N foi realizada logo após o plantio no T1, na dosagem de 10 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia (450 g kg<sup>-1</sup> de N), que é o recomendado para o Estado de São Paulo. A adubação de cobertura foi executada nos tratamentos T1 e T2. O tratamento T1 recebeu 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, que é o recomendado para o Estado de São Paulo, de acordo com o Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), o tratamento T2 recebeu 25 kg ha<sup>-1</sup> de N. A forma utilizada para a cobertura foi à uréia.

Na semeadura de aveia não foi realizada adubação de semeadura, foi realizado adubação mineral com N somente nos tratamentos T1 e T2 nas doses de 35 e 70 kg ha<sup>-1</sup> utilizou como fonte a uréia e foi feito na fase de perfilhamento.

No feijoeiro foi executada uma calagem nas parcelas em que houve necessidade, utilizando uma dosagem de 1,4 ton ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 90% e teor de CaO de 32% e MgO de 13%. Essa dosagem foi baseada nas análises de solo retiradas no final da cultura da aveia. O cálculo dessa dosagem foi fundamentado na parcela que apresentou uma V% menor, que foi a parcela que aplicou uma maior dose de lodo de esgoto, conforme a Tabela 4. Nas parcelas que apresentaram uma V% superior a 70% não foram realizadas a calagem.

A adubação de sementeira foi efetuada com base na média da análise de solo da cultura anterior, utilizando como fonte de N a uréia de P superfosfato triplo e K cloreto de potássio. Foi realizada uma

adubação nitrogenada de cobertura, aos 29 dias após a sementeira, nos tratamentos T1 e T2 nas dosagens de 60 e 35 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. A fonte utilizada foi a uréia.

**Tabela 4.** Características químicas do solo da parcela de menor V% (básicas).

Prof. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P(res.) mg dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							V %
				H+Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	T	
0 – 20	4,7	30	23	28	-	2,2	17	5	24	53	46

**Fonte:** Elaboração dos autores.

No triticale a adubação de sementeira foi elaborada uma mistura com superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O). Essa composição foi de 80% de superfosfato triplo e 20% de cloreto de potássio, baseada na média dos teores de P e K das análises de solo efetuadas após a colheita da aveia (RAIJ et al., 1997). A dosagem dessa mistura foi de 178 kg ha<sup>-1</sup>, que corresponde a 65 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 21 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo que o recomendado pelo Boletim Técnico 100 é de 60 e 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Após 27 dias da sementeira, foi efetuada a adubação nitrogenada no tratamento (T1), na dosagem de 25 kg ha<sup>-1</sup> de N. A fonte utilizada foi a uréia. Aos 40 dias de sementeira, efetuou-se a adubação com N nos tratamentos (T1, T2), na dosagem de 25 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando a uréia.

No girassol foi aplicado o Glyphosate (ia), na dosagem de 2 L ha<sup>-1</sup>, juntamente com o ácido bórico (17% B), na dosagem de 6 kg ha<sup>-1</sup>, em um volume de calda de 320 L ha<sup>-1</sup>, objetivando o controle de plantas daninhas e fornecimento de B para a cultura, elemento imprescindível para o girassol. Segundo Brighenti, Castro e Oliveira (2005) a adição de ácido bórico à calda de pulverização é uma maneira eficiente de fornecer B para a cultura do girassol. A quantidade de B utilizada foi de 1 kg ha<sup>-1</sup> do elemento, que é a recomendação para a cultura do girassol, segundo Raij et al. (1997). A adubação de plantio para todas as parcelas foi constituída de 51

kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato simples (170 g kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e 30,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio (600 g kg<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O). A adubação de N foi realizada 12 dias após o plantio no T1, na dosagem de 10 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia (450 g kg<sup>-1</sup> de N). Os tratamentos T0, T2, T3, T4 e T5 não receberam essa adubação com N, nessa ocasião. Os tratamentos que receberam a adubação de cobertura com N foram os tratamentos T1 e T2. O tratamento T1 recebeu 40 kg ha<sup>-1</sup> de N; o tratamento T2 recebeu 25 kg ha<sup>-1</sup> de N. A fonte utilizada para a cobertura foi a uréia. Essa operação foi executada aos 30 dias após a emergência.

No trigo a adubação de sementeira foi efetuada uma mistura da fórmula (01% N-16% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> -3,5% K<sub>2</sub>O) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O). Dessa mistura, 70% foram da fórmula e 30% do cloreto de potássio. A dosagem dessa mistura foi de 110 kg ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a 0,77 kg ha<sup>-1</sup> de N, 12,36 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 21,72 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Aos 5 dias de sementeira foi realizado a adubação com N 35 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento T1 e aos 35 dias foi aplicado a mesma dose no tratamento T1 e T2 a fonte utilizada foi a uréia.

As amostras de solo foram retiradas no término dos ensaios nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Foram retiradas 10 sub amostras para formar uma amostra composta em cada parcela. As análises executadas foram: pH, MO, P, Ca, Mg, K, H+Al, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (RAIJ et al., 2001).

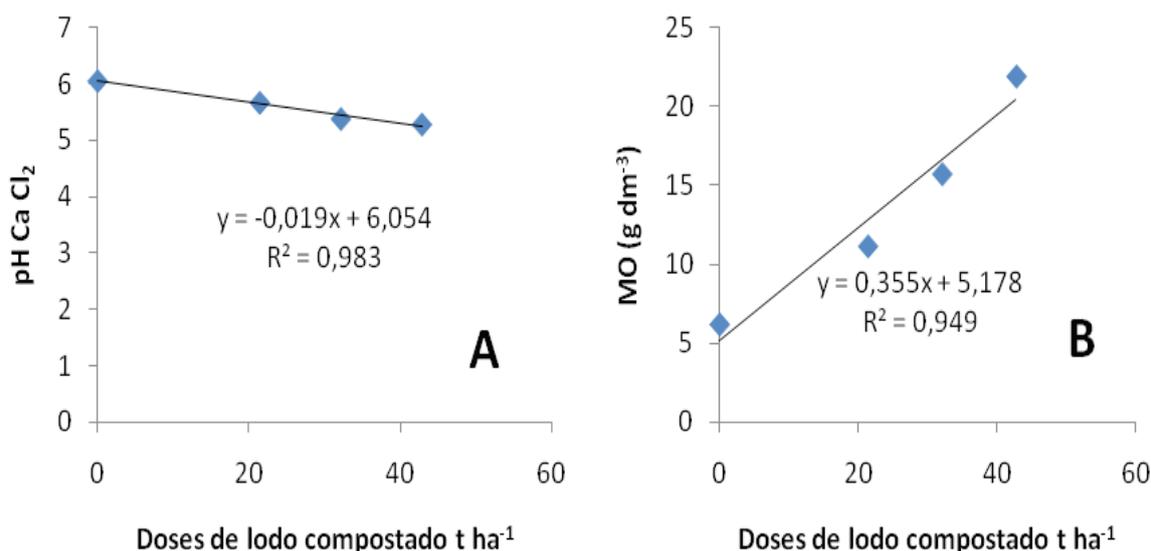
Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan 5%. Nos tratamentos T0, T3, T4 e T5, que sofreram o aumento da dose de lodo efetuaram-se uma regressão, para os parâmetros que houve diferença significativa no teste de média.

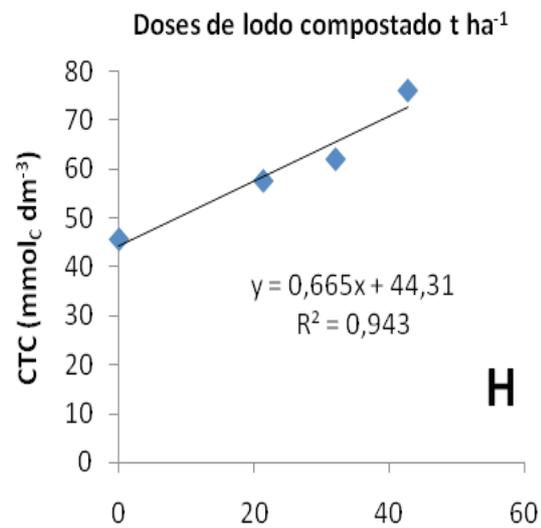
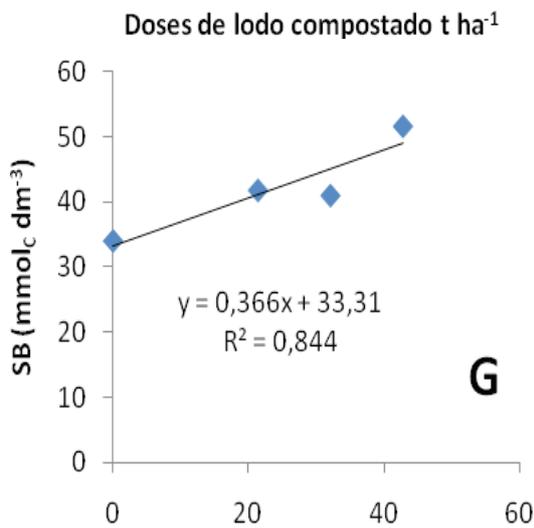
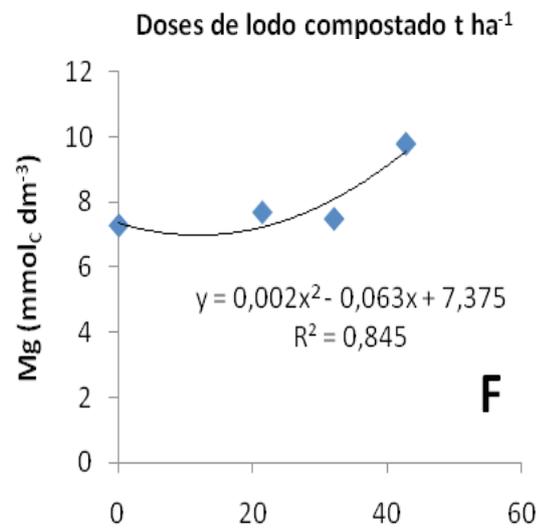
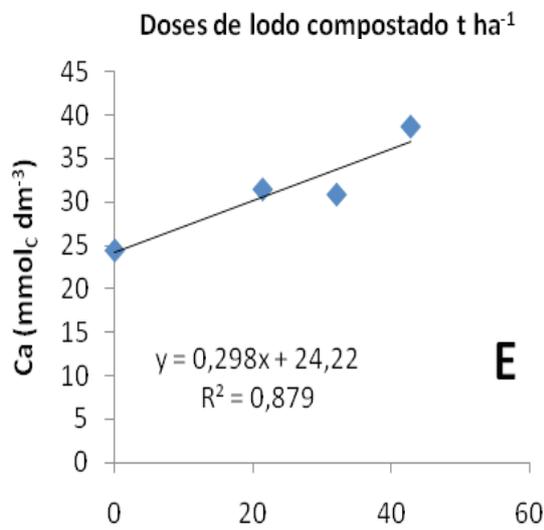
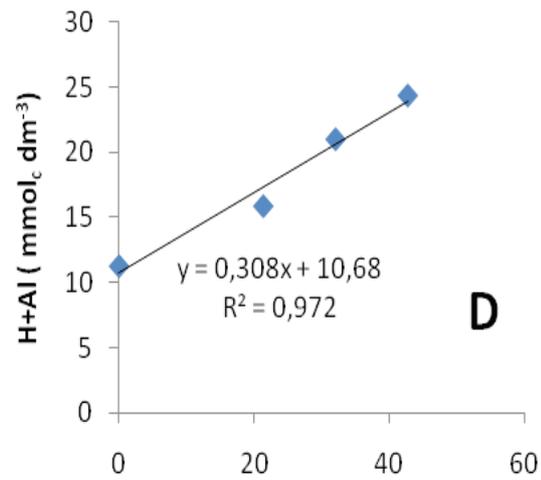
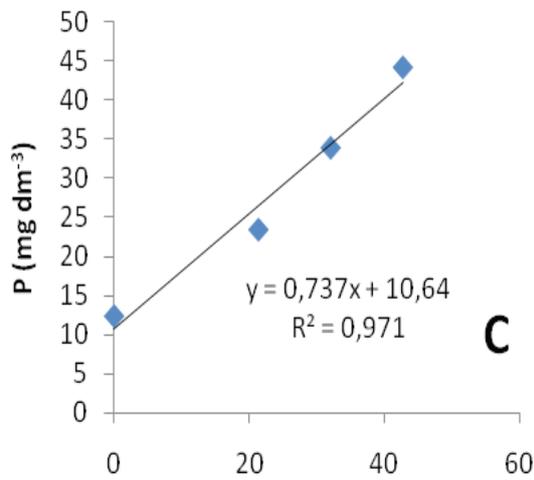
## Resultados e Discussões

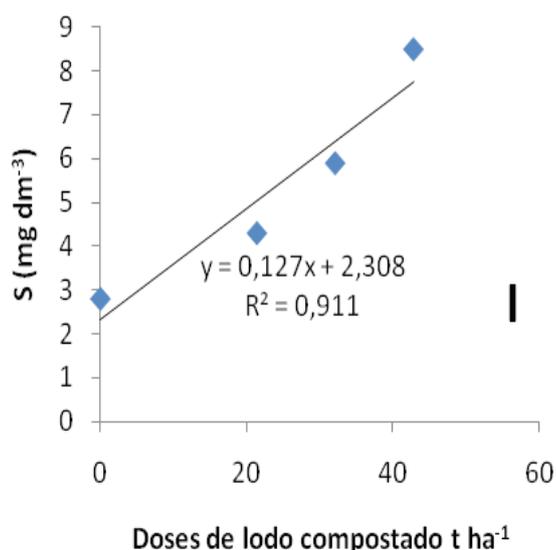
No pH do solo observa-se na Tabela 5 que onde não foi aplicado N mineral (T0) apresentou-se superior aos dois tratamentos que receberam uma maior dosagem de lodo de esgoto. Na Figura 1 A observa-se que com o aumento da dose de lodo ocorreu um decréscimo linear no pH do solo, isto pode ser explicado que ocorrendo o processo de nitrificação do N, passando este de  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_2^-$  e posteriormente para  $\text{NO}_3^-$ , através das bactérias nitrossomonas e nitrobacter respectivamente, foi liberado H para a solução do solo, com o aumento

da dosagem de lodo que é rico em N ( $\text{NH}_4^+$ ) então foi liberado mais H com o aumento da dose de lodo. A produção de ácidos orgânicos durante o processo de biodegradação da fração orgânica (CAMARGO et al., 1999) e a nitrificação (BOEIRA; LIGO; DYNIA, 2002) pode contribuir para a acidificação de solos tratados com lodo de esgoto. Comparando estes dados com a análise de solo inicial (Tabela 1) verifica-se que somente o tratamento T0 permaneceu no mesmo pH. Segundo Raij et al. (2001) a media do T0 é considerado um valor muito alto do pH, o T1, T2 e T3 são considerados valores altos e os tratamentos T4 e T5 apresentaram teores médios. Observa-se na Tabela 6 que o pH do solo na profundidade de 20 a 40 cm os tratamentos que receberam a maior dose de lodo (T4 e T5) foram inferiores que o tratamento que não recebeu N (T0) e do tratamento que recebeu 100% N do lodo de esgoto (T3). À medida que se aumentou a dose de lodo houve um decréscimo quadrático como mostra a Figura 2 A.

Figura 1. Análise básica do solo de 0 a 20 cm em função da dose de lodo compostado.







Fonte: Elaboração dos autores.

A V% do solo não apresentou variação em nenhum dos tratamentos na profundidade de 0 a 20 cm (Tabela 5). Trannin, Silveira e Moreira (2008) não obtiveram diferenças significativas com o

aumento de dose de lodo de esgoto na V% do solo. Na profundidade de 20 a 40 cm não houve alteração entre os tratamentos apresentados na Tabela 6 e não houve influencia com o aumento da dose de lodo.

**Tabela 5.** Análise do solo 0 a 20 cm.

Tra	pH	MO	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	mg dm <sup>-3</sup>
T0	6,1 a	6 d	12 de	11 c	2,6	24 b	7 b	34 b	46 d	75	3 d
T1	5,7 ab	8 cd	9 e	14 bc	2,7	26 b	9 ab	37 b	52 cd	72	3 d
T2	5,7 ab	10 c	17 d	15 b	2,6	27ab	8 ab	38 b	53 bcd	71	3 cd
T3	5,7 ab	11 c	23 c	16 b	2,5	31ab	8 b	42 ab	58 bc	72	4 c
T4	5,4 b	16 b	34 b	21 a	2,6	31ab	7 b	41 b	62 b	66	6 b
T5	5,3 b	22 a	44 a	24 a	3,1	39 a	10 a	52 a	76 a	67	8 a
F	3,86	30,6	73,65	16,82	1,1	3,31	2,29	3,02	13,5	1,6	43,7
M	5,62	12,16	23,21	16,97	2,7	29,8	8,2	40,7	57,7	71	4,7
CV	5,52	19,12	15,17	15,36	18	21,3	17,1	18,8	11,1	8,8	15,9

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan 5% de probabilidade. T0 – sem N, T1 – 100% AM, T2 – 50% AM + 50% LE, T3 – 100% LE, T4 – 150% LE, T5 – 200% LE. AM – Adubação mineral; LE – Lodo de esgoto.

Fonte: Elaboração dos autores.

**Tabela 6.** Análise química do solo na profundidade de 20 a 40 cm.

Trat	pH	MO	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	mg dm <sup>-3</sup>
T0	5,8 a	5,9 b	11 cd	13 c	1,9 b	20 c	8	30 b	43 c	68 ab	4 c
T1	5,5 ab	7,7 b	8 d	17 bc	1,7 b	20 c	8	30 b	47 bc	63 ab	9 b
T2	5,7 ab	7,6 b	12 cd	15 c	1,8 b	24 bc	8	34 b	48 bc	69 ab	4 c
T3	5,8 a	9,6 ab	17 c	14 c	1,7 b	26 ab	8	36ab	50 b	72 a	7 bc
T4	5,34 b	13,0 a	24 b	20 ab	1,6 b	24 bc	7	32 b	52 b	61 b	9 b
T5	5,33 b	9,6 ab	32 a	22 a	2,5 a	30 a	8	40 a	63 a	65 ab	13 a
F	2,67	4,20	17,7	5,52	2,65	5,39	1,4	3,57	9,04	1,95	8,28
M	5,58	8,92	17,5	16,8	1,87	24	7,8	33,7	50	66,6	7,7
CV	5,63	29,91	27,8	19,7	23,4	15,1	15	14,3	9,75	9,41	33,2

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan 5% de probabilidade. T0 – sem N, T1 – 100% AM, T2 – 50% AM + 50% LE, T3 – 100% LE, T4 – 150% LE, T5 – 200% LE. AM – Adubação mineral; LE – Lodo de esgoto.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Em relação aos teores de H+Al pode-se observar na Tabela 5 que o T4 e T5 foram superiores a todos os tratamentos e o T0 foi inferior a todos, o H+Al esta relacionado com o pH quanto maior o pH em um mesmo solo menor será o H+Al. Observa-se na Figura 1 D que com o aumento da dose de lodo ocorreu um incremento linear do H+Al. Trannin, Silveira e Moreira (2008) observou aumento do H+Al com aumento da dose de lodo de esgoto. Todos os tratamentos que receberam alguma fonte de N mineral ou orgânico aumentaram os teores de H+Al. Na profundidade de 20 a 40 cm Verifica-se na Tabela 6 que para o H+Al do T1 foi superior ao T0 e T3, com isso verificamos que a adubação nitrogenada mineral acarretou um aumento de H+Al aumentando desta forma o Al em subsuperfície poderá ter problemas o sistema radicular das culturas sofrendo assim com falta de água porque a raiz da planta não vai penetrar em uma maior profundidade. À medida que foi aumentando a dose de lodo aumentou linearmente o H+Al como mostra a Figura 2 D. Comparando 0 a 20cm com 20 a 40 cm pode-se verificar que o comportamento foi da mesma forma que o pH do solo, ou seja os tratamentos que não foram aplicados o lodo de esgoto apresentaram os teores mais elevados em 20 a 40 cm e onde foi aplicado o lodo apresentaram superiores os tratamentos de 0 a 20 cm, pelo fato

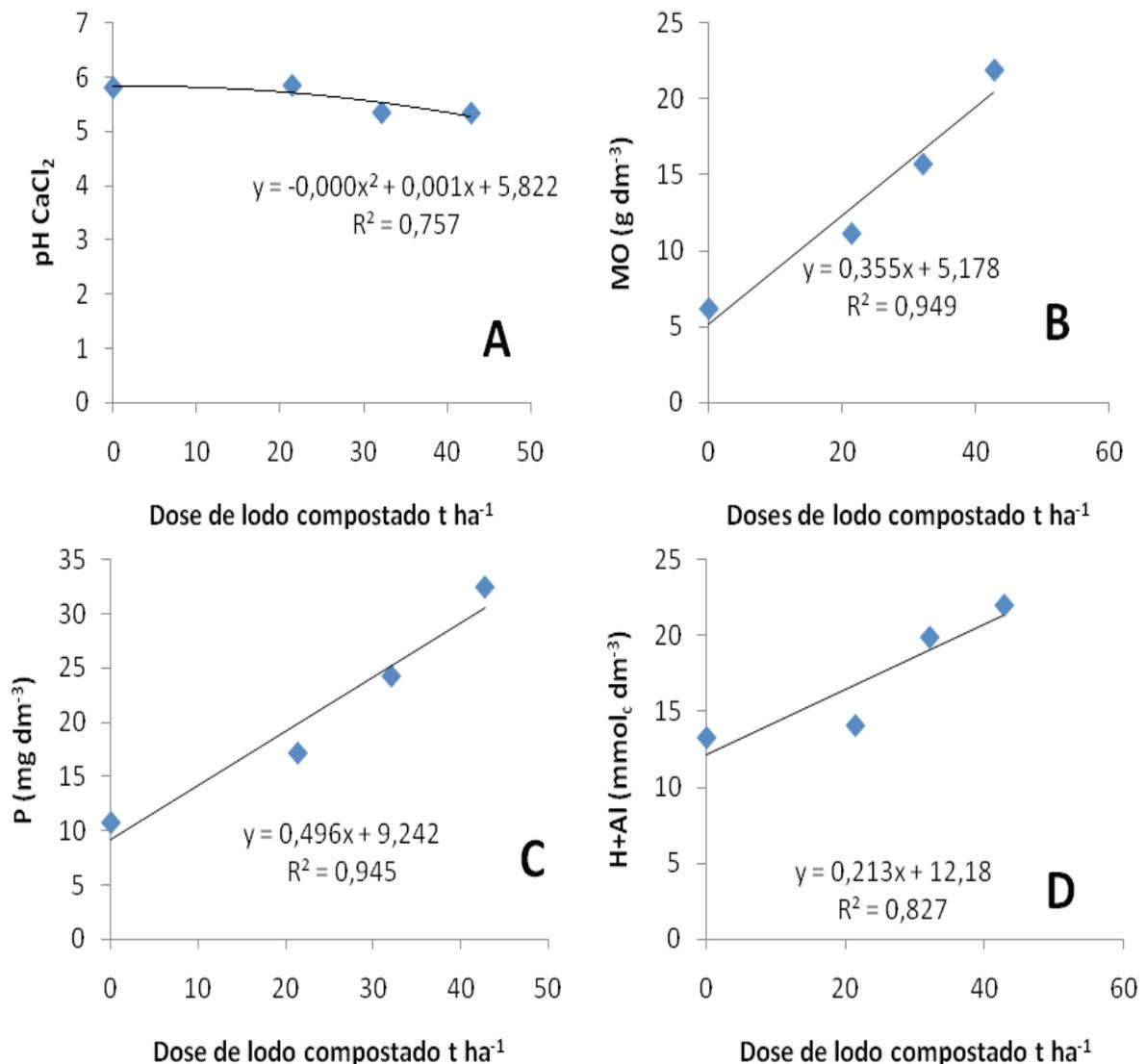
que na superfície do solo tem mais influencia da aplicação do lodo.

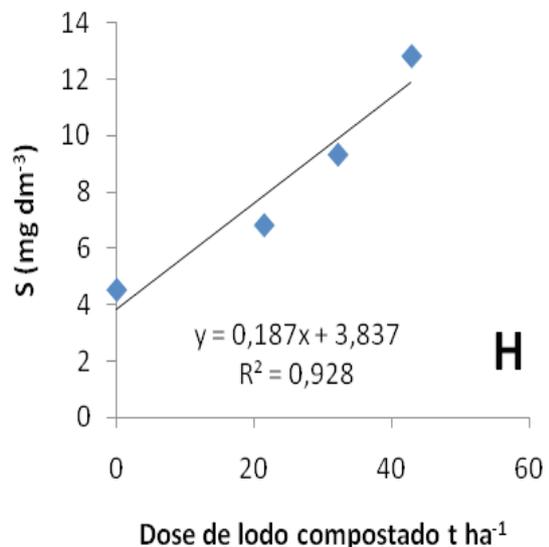
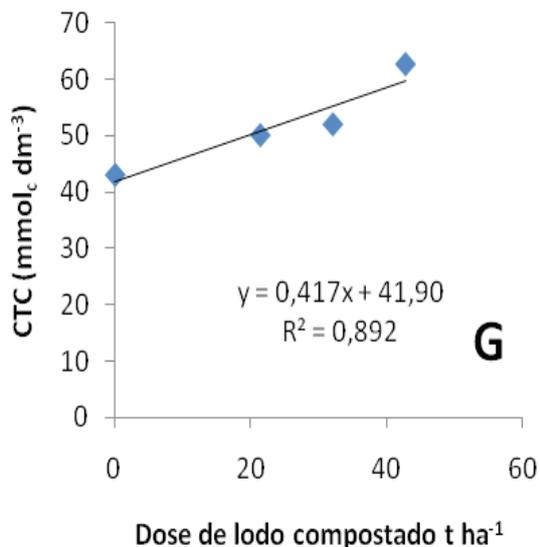
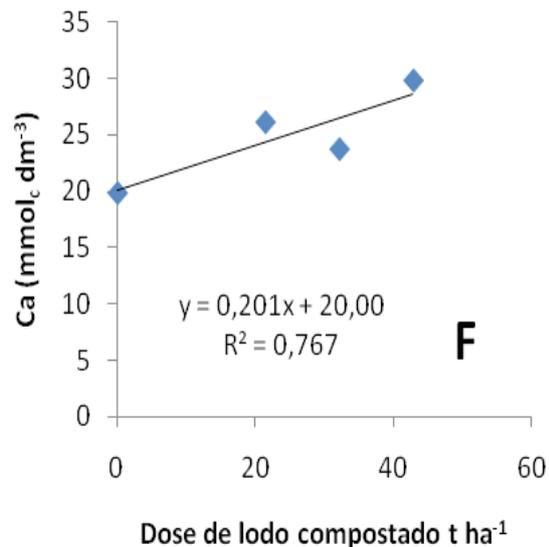
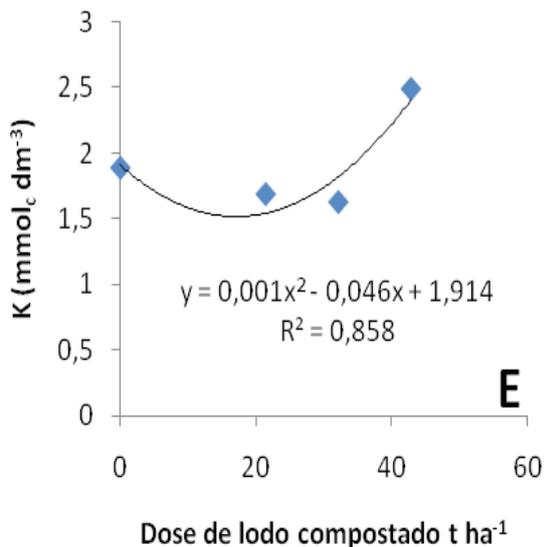
O teor de K no solo não houve alteração em função dos tratamentos, tendo em vista que o lodo de esgoto apresenta teor muito baixo deste elemento para todos os tratamentos foram feitos uma suplementação igual de K de acordo com a necessidade da cultura. Comparando com a análise de solo inicial verifica-se que o K até aumentou, mas isto foi decorrente das quantidades altas colocadas de cloreto de potássio no plantio das culturas e este elemento foi muito pouco exportado em relação à quantidade que foi colocado. Ou seja, apresentou um balanço final positivo entre todos os tratamentos. Foram padronizados os teores de K para todos os tratamentos, com pode ser visto na análise de solo inicial o K estava em um nível adequado. Na profundidade de 20 a 40 cm o tratamento de maior dose obteve um aumento de K (Tabela 6). Observa-se na Figura 2 E que com o aumento da dose de lodo diminuiu o teor de K, devido ao aumento de H e Al e posteriormente ocorreu um aumento no teor de K decorrente do aumento das cargas negativas do solo. Aos 0-20 cm apresentaram-se valores superiores de K em relação a 20 a 40 cm para todos os tratamentos. Segundo Raji et al. (2001) todos os tratamentos apresentam teores médios.

Verifica-se que para os teores de Ca na Tabela 5 que o T5 foi superior estatisticamente que os tratamentos que não foram aplicados lodo (T0, T1 e T2) e em relação ao aumento da dose de lodo houve um incremento linear para o Ca como mostra a Figura 1 E, porem o fator que contribuiu para este aumento foi a calagem que foi feito depois da 3ª aplicação nas parcelas que houve necessidade (Tabela 3). Comparando com a análise de solo inicial pode-se reparar que os teores de Ca aumentaram para todos os tratamentos, isto é

decorrente a aplicação de calcário e as adubações com superfosfato simples que contem Ca. Segundo Rajj et al. (2001) todos os valores de Ca apresentam altos. Na profundidade de 20 a 40 cm observa-se na Tabela 6 que o T3 foi superior ao T0 e T1. Houve um incremento no teor de Ca no solo na profundidade de 20 a 40 cm em função do aumento da dose de lodo. Para todos os tratamentos 20 a 40 cm apresentou-se inferior em relação a 0 a 20 cm. Segundo Rajj et al. (2001) todos os tratamentos apresentaram teores altos.

**Figura 2.** Análises do solo de 20 a 40 cm de profundidade em função da dose de lodo compostado.





Fonte: Elaboração dos autores.

Quanto ao Mg observa-se na Tabela 5 que o T5 foi estatisticamente superior ao T0, T3 e ao T4. Os valores encontrados nos tratamentos são classificados segundo Raij et al. (2001) com os tratamentos (T0, T2, T3 e T4) apresentam teores médio de Mg e os tratamentos (T1 e T5) apresentaram teores altos. Os tratamentos que não receberam lodo a % na CTC de Mg apresentou-se superior onde foi lodo, isto é decorrente ao aumento do teor de matéria orgânica do lodo que também houve um aumento da CTC do solo. Quanto ao Mg não ocorreu variação entre os tratamentos. As médias de todos os tratamentos apresentaram

teores médios de Mg, segundo Raij et al. (2001).

Para a SB o tratamento T5 apresentou-se estatisticamente superior aos tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4. Verifica-se na Figura 1 G que com o aumento da dose de lodo ocorreu um incremento linear na SB, o Ca e o Mg foram os responsáveis para este incremento da SB. Comparando os resultados de solo inicial houve um incremento na SB para todos os tratamentos. Quanto a SB não ocorreu diferenças significativas em relação aos tratamentos apresentado na Tabela 6.

A CTC do solo foi aumentada decorrente do

aumento da dose de lodo de esgoto acompanhando o aumento da matéria orgânica do solo tendo em vista que acompanharam o aumento da Matéria orgânica do solo aumentando desta maneira as cargas negativas do solo (Figura 1 H) (Tabela 5). Observa-se que houve um aumento da CTC do solo em relação ao solo original nos tratamentos que receberam N ou mineral ou orgânico. Silva et al. (2001) observaram que com o aumento da dose de lodo de esgoto foi aumentado a CTC do solo em uma reta linear. Trannin, Silveira e Moreira (2008) observaram que com aumento da dose de lodo de esgoto houve um incremento da CTC do solo. Silva, Boareto e Berton (1995) verificaram que o aumento dos teores de matéria orgânica do solo contribui para o aumento da CTC, mediante a geração de cargas negativas devido à alta concentração de matéria orgânica que o lodo possui. Na profundidade de 20 a 40 cm os tratamentos (T3, T4 e T5) foram superiores ao tratamento que não recebeu N (T0) e o T5 foi superior a todos os tratamentos. O aumento da dose de lodo proporcionou um incremento na CTC do solo. Na profundidade superficial (0 a 20 cm) pode-se observar que a CTC para todos os tratamentos apresentaram superiores em relação a 20 a 40cm. O aumento da CTC foi decorrente ao aumento da Matéria orgânica e o pH diminuiu devido a nitrificação do N do lodo deixando desta maneira H livre na solução do solo.

Observa-se na Tabela 5 e Figura 1 B que com o aumento da dose de lodo de esgoto houve um incremento no teor de matéria orgânica do solo. Hortenstine e Rothwell (1972) verificaram aumentos de 41 e 169% nos teores de C orgânicos de um solo degradado por mineração, 24 meses após a aplicação de 35 e 70 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lixo, respectivamente. Oliveira et al. (2002) concluíram que aplicações anuais e sucessivas de composto de lixo, em doses superiores a 20 Mg ha<sup>-1</sup>, aumentaram os teores de C orgânico. A adição de lodo em doses de 50 Mg ha<sup>-1</sup> aumentou o teor de C orgânico, como observado por Melo et al. (1994), que, ao avaliarem as frações da matéria orgânica

do solo de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar, com adição de 4, 16, 32 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo, verificaram que apenas a maior dose promoveu aumento significativo no C do solo. Soares et al. (2008) trabalhando com lodo de esgoto em seis aplicações para a cultura do milho em dosagens acumulativas de 0, 30, 60, 120 e 240 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto observou um aumento linear dos teores de C orgânico. Quanto os teores de matéria orgânica nos 20 a 40 cm podem observar que o T4 foi superior ao T0, T1 e T2. A matéria orgânica foi aumentando com o aumento da dose de lodo até a dosagem do T4 e em seguida ocorreu um decréscimo. Estes valores foram inferiores dos encontrados na profundidade de 0 a 20 cm. Dias (2005) observou que houve uma tendência de aumento do teor de carbono no solo na profundidade de 20 a 40 cm em função da dose de lodo de esgoto após o 6º ano de aplicação.

Para o P observa-se na Tabela 5 e Figura 1 C que com o aumento das doses de lodo de esgoto foi aumentando significativamente os teores de P no solo. Marques (1996) observou que o teor de P-resina aumentou linearmente com a dose de lodo de esgoto da ETE de Barueri (SP) aplicada a um Latossolo Vermelho Distrofíco textura média, o que também foi verificado por Silva et al. (1998) em Níossolo, ambos cultivados com cana de açúcar em condições de campo. Comparando estes dados de P com os iniciais verifica-se que houve um aumento no solo para os tratamentos T3, T4 e T5. Segundo Raij et al. (2001) os tratamentos que não foram aplicados lodo de esgoto apresentaram teores baixo de P e os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram um teor de P médio e o T5 já apresentou um teor alto de P no solo. Segundo Mello (1980) este aumento é devido a adição de material orgânico ao solo que promove aumento na disponibilidade de P pela liberação de P orgânico durante o processo de mineração, dissolução de fosfatos insolúveis em água pela ação de ácidos carbônicos, provenientes da decomposição de material orgânico, formação de complexos fosfo-húmico facilmente assimiláveis, formação de fosfatos orgânicos mais fracamente retidos no solo,

revestimento superficial das partículas de argilas, evitando contato direto das mesmas com o fosfato. Kitamura et al. (2008) observou aumento no teor de P com a aplicação de lodo de esgoto a aplicação do lodo funcionou como uma adubação corretiva de P. A decomposição do lodo de esgoto gera agentes complexantes que facilitam a solubilização, no solo, de fosfato combinado a ferro e alumínio, bem como libera, gradualmente, nutrientes essenciais as plantas, como N, P, S (FERNANDES et al., 1996). Barbosa, Tavares Filho e Fonseca (2002) verificaram aumento nos teores de P à medida que aumentaram as doses de lodo de esgoto, acima de 24 t ha<sup>-1</sup> em relação a análise inicial do solo. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Silva et al. (1998). Na profundidade de 20 a 40 cm observa-se na Tabela 6 que o T3 apresentou um teor de P superior aos tratamentos que não foram aplicados lodo (T0 e T1). Com o aumento da dose de lodo ocorreu um incremento linear de P na profundidade de 20 a 40 cm como mostra a Figura 2 C. Segundo Raij et al. (2001) o T0, T1 e T2 apresentam valores baixos e o T3, T4 e T5 apresentam valores médios. Verificam que na profundidade de 0 a 20 cm o teor de P foi superior para todos os tratamentos do que na profundidade de 20 a 40 cm isto pode ser explicado que o P se movimenta muito lentamente no perfil do solo.

Quanto ao S observa-se na Tabela 5 que o T5 foi superior a todos os outros tratamentos. O T4 foi superior aos tratamentos (T0, T1, T2, T3). O T3 foi superior ao T0 e T1. À medida que foi aumentando a dose de lodo foi aumentando linearmente o teor de S no solo (Figura 1 I). Os valores encontrados, para S em T0, T1 e T2 são classificados segundo Raij et al. (2001) como teores baixos e os tratamentos T3, T4 e T5 apresentam teores médios de S. Na profundidade de 20 a 40 cm observa-se que o T1 foi superior ao

T0 e T2. À medida que foi aumentando a dose de lodo aumentou o teor de S (Figura 2 H). Segundo Raij et al. (2001) somente o T5 apresentou teor alto de S os demais tratamentos apresentaram teores médios. Observa-se que para todos os tratamentos os teores de S foram superiores na profundidade de 20 a 40 cm em relação a 0 a 20 cm, ou seja, o S foi lixiviado no perfil do solo.

Na Tabela 7 observa-se que para o teor de B o tratamento T5 apresentou superior a todos os tratamentos. O tratamento T4 apresentou-se superior aos tratamentos T0, T1, T2 e T3. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram iguais estatisticamente e superior aos tratamentos que não foram aplicados lodo (T0 e T1). Os tratamentos que não foram aplicados lodo não diferiram. Com o aumento da dose de lodo ocorreu um incremento no teor de B no solo linearmente como mostra a Figura 3 A. Segundo Raij et al. (2001) os tratamentos T0, T1 e T2 apresentam teores baixos de B e os tratamentos T3, T4 e T5 apresentam teores médios de B. Ao verificar-se o teor inicial de B verifica-se que todos os tratamentos apresentaram um teor superior ao inicial isto pode ser explicado devido à adubação com ácido bórico nos três cultivos de girassol devido ser uma cultura que necessita de boa quantidade de B, então como não foi exportado pelo grão do girassol o B permaneceu no solo. Para a profundidade de 20 a 40 cm na Tabela 8 observa-se que o T3 obteve um maior teor de B que o T0 e T1. O T4 foi superior que o T3 e o T5 superior que o T4. Com o aumento da dose de lodo ocorreu um aumento linear no teor de B (Figura 4 A). Segundo Raij et al. (2001) os tratamentos T4 e T5 apresentam teores médios de B e os demais tratamentos apresentam teores baixos de B. Observa-se que os teores de B na profundidade de 20 a 40 cm esta inferior dos encontrados de 0 a 20cm.

**Tabela 7.** Análise química de micronutrientes do solo 0 a 20 cm.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm <sup>-3</sup>				
T0	0,15 d	1,41 e	16,1 e	5,4 c	1,68 d
T1	0,17 d	1,43 e	20,4 de	5,7 c	1,20 d
T2	0,19 c	2,50 d	33,9 d	7,9 b	6,88 d
T3	0,21 c	3,48 c	63,8 c	7,1 bc	14,95 c
T4	0,24 b	5,44 b	93,5 b	8,6 b	26,50 b
T5	0,28 a	6,34 a	126,9 a	10,4 a	45,85 a
F	50,15	96,22	81,33	10,31	57,75
Média	0,21	3,43	59,11	7,52	16,18
CV	7,39	13,77	18,55	17,43	31,60

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan 5% de probabilidade. T0 – sem N, T1 –100% AM, T2 - 50% AM + 50% LE, T3 – 100% LE, T4 – 150% LE, T5 - 200% LE. AM – Adubação mineral; LE – Lodo de esgoto.

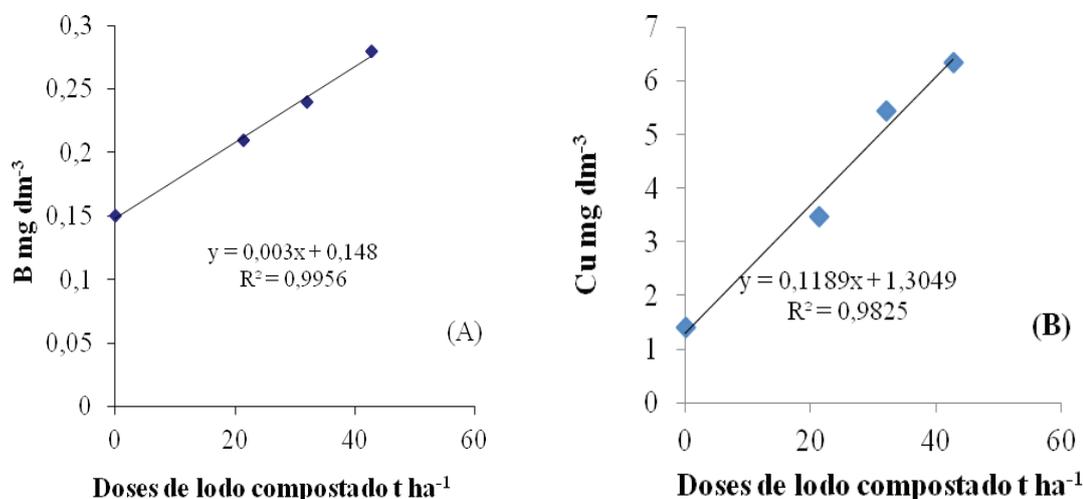
**Fonte:** Elaboração dos autores.

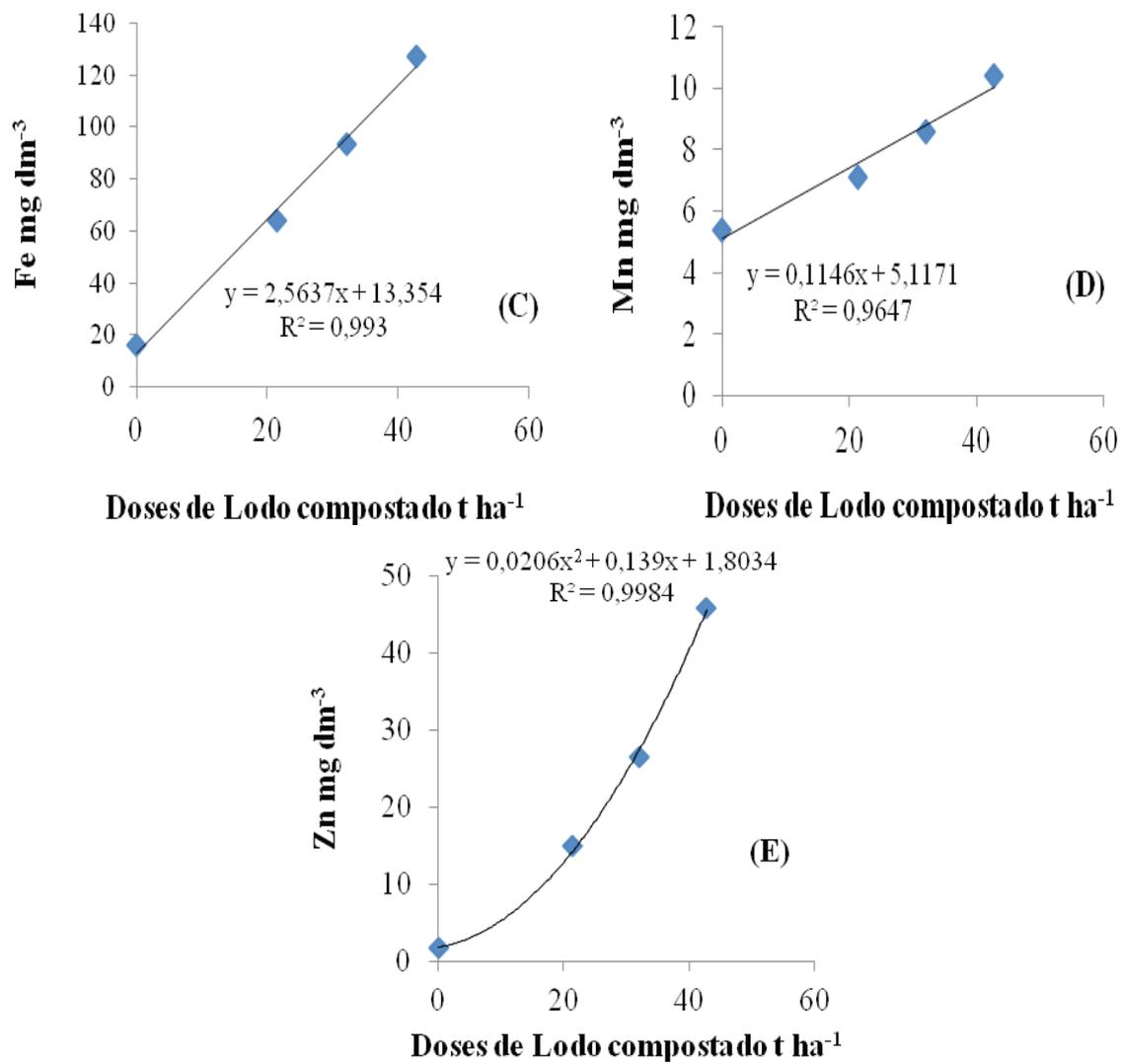
**Tabela 8.** Análise química de solo 20 a 40 cm de micronutrientes após o trigo.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm <sup>-3</sup>				
T0	0,15 d	1,49 b	17,2 d	4,4 c	1,88 c
T1	0,16 d	1,44 b	18,3 d	3,9 c	1,38 c
T2	0,17 cd	2,33 b	32,9 cd	6,4 ab	6,11 c
T3	0,19 c	2,29 b	40,3 c	5,2 bc	7,13 c
T4	0,22 b	4,09 a	70,7 b	6,8 a	13,55 b
T5	0,25 a	4,63 a	95,6 a	7,6 a	26,00 a
F	18,60	21,47	23,46	9,14	24,99
Média	0,19	2,71	45,85	5,72	9,34
CV	10,10	23,84	31,42	18,57	44,36

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan 5% de probabilidade. T0 – sem N, T1 –100% AM, T2 - 50% AM + 50% LE, T3 – 100% LE, T4 – 150% LE, T5 – 200% LE. AM – Adubação mineral; LE – Lodo de esgoto.

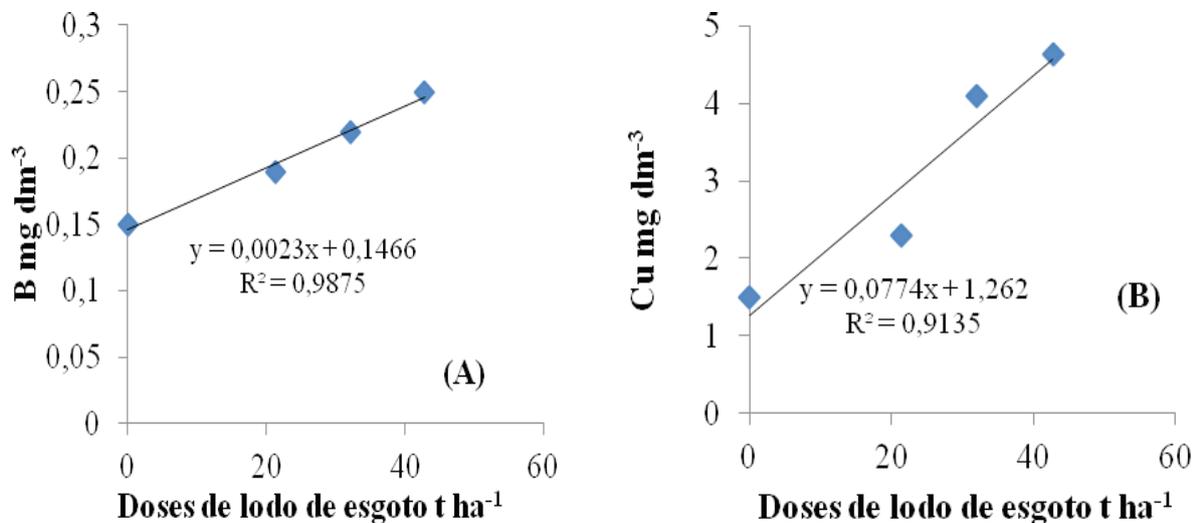
**Fonte:** Elaboração dos autores.

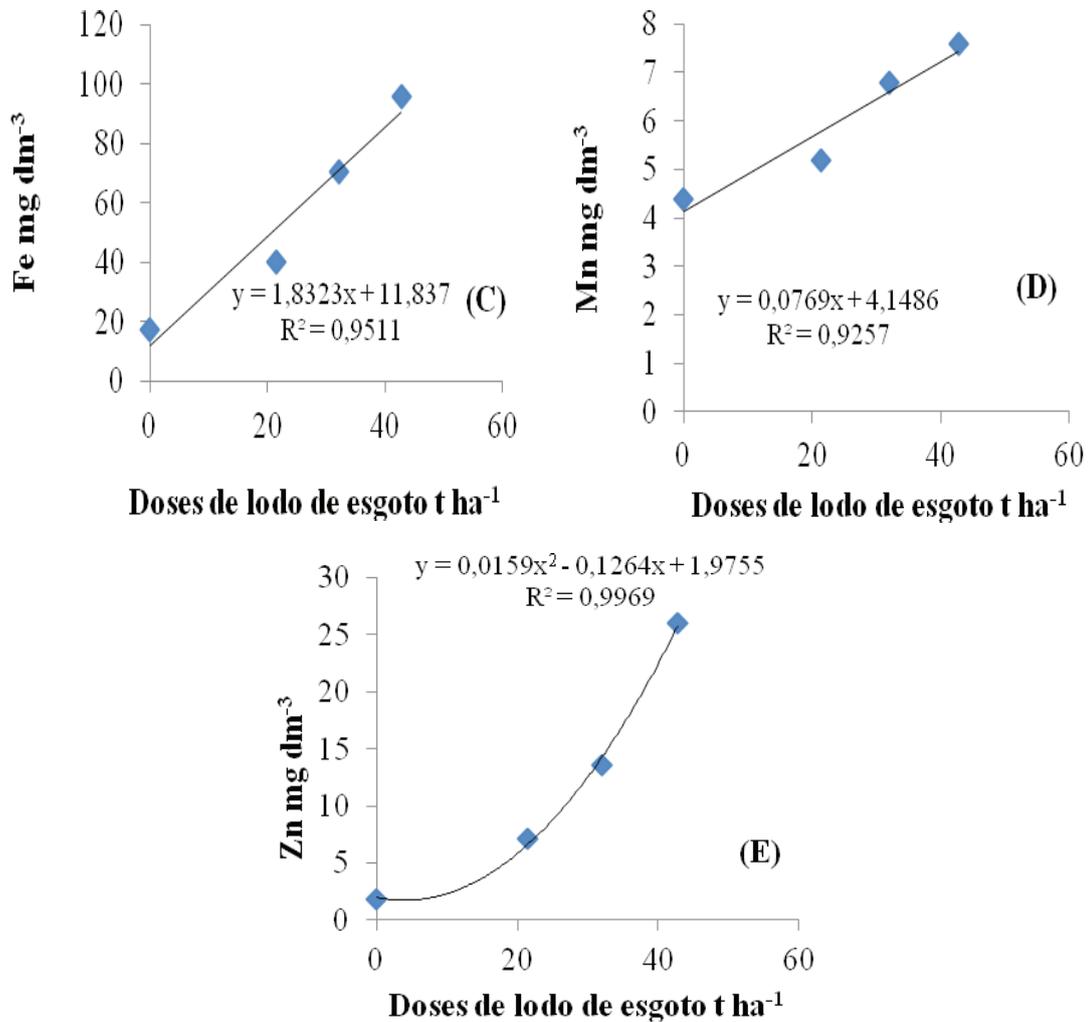
**Figura 3.** Análise de micronutrientes do solo de 0 a 20 cm de profundidade em função da dose de lodo compostado.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 4. Análises de micronutrientes do solo de 20 a 40 cm em função do aumento da dose de lodo de esgoto.





Fonte: Elaboração dos autores.

Observa-se na Tabela 7 que para o Cu quando foi aumentando a dosagem de lodo de esgoto foi aumentando os teores de Cu no solo. Onde não foi aplicado lodo estes teores não variaram. A medida que foi aumentando a dose de lodo ocorreu um incremento no teor de Cu linearmente como mostra a Figura 3 B. Segundo Raij et al. (2001) todos os valores apresentaram altos teores de Cu, porem segundo a USEPA (1996) todos os valores estão abaixo dos considerados tóxicos de Cu no solo. Comparando os teores iniciais de Cu no solo observa-se que todos os tratamentos aumentaram os teores até mesmo onde não foi aplicado lodo de esgoto, isto pode ser explicado devido a aplicação no feijão e no trigo de fungicidas que continham Cu e o lodo

de esgoto apresenta um bom teor deste mineral. Na profundidade de 20 a 40 cm verificam-se na Tabela 8 que os tratamentos T2 e T3 apresentaram teores de Cu superiores aos demais tratamentos. Na Figura 4 observa-se que com o aumento da dose de lodo aumentou linearmente o teor de Cu na profundidade de 20 a 40 cm. Segundo Raij et al. (2001) todos os tratamentos apresentaram altos teores deste elemento. Os tratamentos onde não foram aplicados lodo (T0 e T1) apresentaram teores mais elevados na profundidade de 20 a 40 cm em relação a profundidade de 0 a 20 cm. Já os tratamentos que foram aplicados lodo de esgoto (T2, T3, T4, T5) os teores maiores de Cu se encontraram em 0 a 20 cm, tendo em vista que o lodo de esgoto aplicado

superficialmente contem Cu e este não foi lixiviado devido as cargas negativas da matéria orgânica proveniente do lodo reteve o Cu na superfície. Oliveira e Mattiazo (2001) constataram que após duas aplicações em anos sucessivos de composto de lixo urbano, não há evidências de movimentação, no perfil do solo de Cu. A imobilidade do Cu também foi observada por Williams et al. (1987), Dowdy et al. (1991), Chino et al. (1992) e Oliveira e Mattiazo (2001) em solos tratados com elevadas doses de lodo de esgoto e monitorados por períodos de respectivamente, 9,14, 12 e 2 anos.

Observa-se na Tabela 7 e Figura 3 C que o Fe se comportou da mesma forma que o Cu entre os tratamentos e em função do aumento da dose de lodo. Trannin (2004) obteve aumento do teor de Fe no solo em função da dose de lodo de esgoto aplicado. Segundo Raij et al. (2001) todos os tratamentos apresentaram teores altos de Fe. Na profundidade de 20 a 40 cm verifica-se na Tabela 8 que os tratamentos que foram aplicados lodo somente o lodo como fonte de N (T3, T4 e T5) apresentaram um teor de Fe superiores aos tratamentos que não foram aplicados lodo (T0 e T1) e o T4 foi superior que o T3 e o T5 superior que o T4. A medida que aumentou a dose de lodo aumentou o teor de Fe no solo linearmente nesta profundidade como se observa na Figura 4 C. Segundo Raij et al. (2001) para todos os tratamentos os teores de Fe apresentaram altos. Somente no tratamento que não foi aplicado N (T0) apresentou um teor de Fe maior na profundidade de 20 a 40 cm em relação à profundidade de 0 a 20 cm, os demais tratamentos apresentaram teores maiores na profundidade de 0 a 20 cm em relação a profundidade de 20 a 40 cm.

Para os teores de Mn verifica-se na Tabela 7 que o T5 apresentou um teor mais elevado que os outros tratamentos. O T4 e o T2 foram superiores ao T0 e ao T1. O T3 foi igual estatisticamente ao T0, T1, T2 e T4. Na Figura 3 D observa-se que houve um aumento linear de Mn em função do aumento da dose de lodo. Observa-se que somente o tratamento T4 e T5 houve aumento em relação

ao teor inicial do solo. Segundo Raij et al. (2001) os teores de Mn apresentaram teores elevados em todos os tratamentos. Na profundidade de 20 a 40 cm pode se observar na Tabela 8 que o tratamento T2 apresentou um teor de Mn superior que o T0, T1 e T3. O tratamento T3 foi superior ao T1. Com o aumento da dose de lodo aumentou linearmente o Mn na profundidade de 20 a 40 cm como mostra a Figura 4 D. Segundo Raij et al. (2001) os tratamentos (T2, T3, T4 e T5) que foram aplicados lodo de esgoto apresentaram teores altos. Para todos os tratamentos na profundidade de 0 a 20 cm apresentaram superiores em relação a 20 a 40 cm.

Para o Zn verifica-se na Tabela 7 que até o tratamento T2 não ocorreu aumento do seu teor. A partir do tratamento T3 foi aumentando o teor de Zn no solo. A medida que foi aumentando a dose de lodo de esgoto aumentou os teores de Zn no solo em uma forma quadrática como apresenta a Figura 3 E. Todos os tratamentos apresentaram teores altos de Zn, segundo Raij et al. (2001), segundo USEPA (1996) nenhum tratamento apresentou teor tóxico. Comparando os dados iniciais de Zn todos os tratamentos aumentaram os seus teores. Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2008) observaram que com o manejo de aplicações sucessivas de lodo de esgoto na cultura da cana resultou em aumento nos teores de Zn e Cu disponíveis no solo, porém em níveis abaixo dos valores de referências encontrados na legislação ambiental. Na profundidade de 20 a 40 cm o tratamento (T5) apresentou um teor de Zn superior aos outros tratamentos e o T4 foi superior que o T0, T1, T2 e T3 (Tabela 8). Com o aumento da dose de lodo houve um aumento quadrático de Zn como mostra a Figura 4 D. Segundo Raij et al. (2001) todos os tratamentos apresentaram níveis altos de Zn. Os tratamentos que não foram aplicados lodo (T0 e T1) apresentaram um teor de Zn maior na profundidade de 20 a 40 cm em relação a 0 a 20 cm. Os tratamentos que foram aplicados lodo de esgoto (T2, T3, T4 e T5), apresentaram maiores valores na profundidade de 0 a 20 cm. Oliveira et al. (2002) constatou que o Zn se apresenta como um elemento móvel no perfil

do solo, com grande potencial para atingir as águas subterrâneas por ocasião de aplicações sucessivas de composto de lixo urbano. A movimentação do Zn em profundidade foi observada em solos tratados com lodo de esgoto (WELCH; LUND, 1984; OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001) e resíduos ácidos de siderurgia (AMARAL SOBRINHO et al., 1998). Segundo Amaral Sobrinho et al. (1998), a mobilidade do Zn está relacionada a sua presença no solo, predominantemente, em formas trocáveis e, portanto, facilmente solúveis.

Em concordância com os dados obtidos neste experimento, Nascimento et al. (2004) observou aumento dos teores de todos os micronutrientes estudados devido a adição de lodo de esgoto ao solo, com destaque à elevação e acúmulo de Zn ao solo na ordem de doze vezes entre a maior dosagem (60 Mg ha<sup>-1</sup>) e o tratamento testemunha (0 Mg ha<sup>-1</sup>), além do Mn na ordem de sete vezes comparando-se a maior e menor doses do experimento.

## Conclusões

Na maior dose de 200% de N da necessidade da cultura proveniente de lodo após 7 aplicações de lodo de esgoto promoveu um incremento nos teores de matéria orgânica, P, S, H+Al, CTC, B, Cu, Fe, Mn e Zn e decréscimo no pH do solo na profundidade de 0 a 20 cm. Na profundidade de 20 a 40 cm houve um aumento de K, Ca, SB, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

## Referências

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C. Mobilidade de metais pesados em solos tratados com resíduos siderúrgico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 22 n. 2, p. 345-353, 1998.

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

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado

com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, nov. 2002.

BRIGHENTI, A.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. Dessecação em pré semeadura da cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*) associada a aplicação de boro. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 4., 2005, Londrina. *Resumos...* Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 2005. p. 12-13.

CAMARGO, F. A. de O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Nitrogenio organico do solo. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 117-137.

CHINO, M.; SHIGEKO, G.; KUMAZAWA, K.; OWA, N.; YOSHIOKA, O.; TAKECHI, N.; INANAGA, S.; INOU, H.; DE-LONG, C.; YOUSSEF, R. A. Behavior of zinc and copper in soil with long term application of sewage sludge. *Soil Science and Planta Nutricion*, Tokyo, v. 38, n. 1, p. 159-167, 1992.

COELHO, A. J. G.; FOLLE, A. D.; SOUZA, L. M.; BARBOSA, M. A. M.; EIRA, M. T. S. de; BOTEHO, T. S. *LANARV, Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais*. Brasília: Ministério da Agricultura, 1988. 104 p.

COMPANIA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 375/2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/post/conama/legiano/>>. Acesso em: 10 out. 2006.

DIAS, B. de O. *Caracterização da matéria orgânica de latossolo sob aplicação continuada de lodo de esgoto*. 2005. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras Lavras.

DOWDY, R. H.; LATTERELL, J. K.; HINESLY, T. D.; GROSSMAN, R. B.; SULLIVAN, D. L. Trace metal movement in na aerie Ochaqualf flowing 14 year of annual sludge applications. *Journal of Enviromental Quality*, Madison, v. 20, n. 1, p. 119-123, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPSo, 1999. 412 p.

FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P.; BORGES, J.C.; CANTO, L. A.; MEDEIROS, M. L. B. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE - Belém com vista a seu uso agrícola. *Sanaré*, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 46-58, 1996.

HORTENSTINE, C. C.; ROTHWELL, D. F. Use of municipal compost in reclamation of phosphate-mining sand tailings. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 1, n. 4, p. 415-418, 1972.

- KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 405-416, 2008.
- LAMBAIS, M. R.; de SOUZA, A. G. Impacto de biossólido nas comunidades microbianas dos solos. In: BETTIOL, W.; CAMAGO, O. A. (Ed.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 269-279.
- MARQUES, M. O. *Incorporação de resíduo orgânico em solos cultivado com cana de açúcar*. 1996. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônomicas e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- MELLO, F. A. F. O. *O fósforo no solo e na adubação fosfatada*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. 39 p.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. Efeito de doses crescentes de resíduo orgânico sobre frações de matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 18, n. 3, p. 449-455, 1994.
- 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, MG, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 505-519, abr/jun. 2002.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um latossolo Amarelo distrofico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana de açúcar. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, SP, v. 58, n. 4, p. 807-812, 2001.
- PEGORINI, E. S.; ANDREOLK, C. V.; SOUZA, M. L.; FERREIRA, A. Qualidade do lodo de esgoto utilizado na reciclagem agrícola na região metropolitana de Curitiba - PR. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIODIVERSIDADE, 1., 2003, São Paulo. *Anais...* São Paulo: [s.n.], jun. 2003. 11 p.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 14. ed. Piracicaba: Ed. do Autor, 2000. 477 p.
- RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 198 p. (IAC. Boletim técnico, 100).
- RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, Fundação IAC, 2001. 285 p.
- RIVERO, C.; CHIRENJE, T.; MA, L. Q.; MARTINEZ, G. Influence of composto n soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma*, Amsterdam, v. 1, n. 123, p. 355-361, 2004.
- SILVA, F. C.; BOARETO, A. E.; BERTON, R. S.; PEIXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana de açúcar cultivada em solo adubado com biossólido. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 1, p. 1-8, 1998.
- SILVA, F. C.; BOARETO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEIXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo vermelho amarelo cultivado com cana de açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, maio 2001.
- SILVA, F. C.; BOARETO, A. E.; BERTON, R. S. Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira), cultivada em solos adubado com o lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. *Anais...* Viçosa: SBCS/UFV, 1995. p. 2279-2287.
- SOARES, E. M. B.; SUKVA, C. A.; DIAS, B. de O.; BETTIOL, W.; BELIZARIO, M. H. Frações da matéria orgânica de latossolo sob influencia de dose de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1231-1240, 2008.
- TRANNIN, I. C. de B. *Avaliação agrônômica de um biossólido industrial e de seus efeitos sobre atributos do solo*. 2004. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- TRANNIN, I. C. de B.; SILVEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 223-230, 2008.
- UNIVERSITY STATES EPA- USEPA. *Standards for the use and disposal of sewage sludge*. Washington, Dc, 1996. (Code of federal regulations 40 CFR, part 503).
- VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de Eucaliptus grndis: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na

absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 747-758, jul./set. 2002.

WELCH, J. E.; LUND, L. J. Zinc movement in sewage sludge-treated soil as influenced by soil properties, irrigation water quality, and soil moisture level. *Soil Science*, New Brunswick, v. 147, n. 3, p. 208-214, 1989.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A. H.; COREY, J. E. Metal movement in sludge-amended soils: a nine year study. *Soil Science*, New Brunswick, v. 143, n. 2, p. 124-131, 1987.

