



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

PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM LODO DE ESGOTO

Marcelo Fernando Pereira Souza¹, Edjair Auguto Dal Bem¹, Flávio Carlos Dalchiavon¹,
Michaelli Yuri Yoshitome²; Marlene Cristina Alves³

RESUMO

A utilização do lodo de esgoto como prática agrônômica apresenta grande potencial, destacando-se, seu uso como fertilizante e condicionador de solos. Este tem sido utilizado na recuperação de áreas degradadas e como condicionador físico do solo. O sucesso ou fracasso de projetos agrícolas ou de engenharia muitas vezes é dependente das propriedades físicas do solo utilizado. O presente trabalho foi realizado na área experimental da UNESP - Ilha Solteira localizada no município de Selvíria, MS. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre os atributos físicos de um Latossolo degradado. O Delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, num esquema fatorial do tipo 4 + 1, com 4 repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela ocupou uma área de 480 m². Foi avaliada a porosidade do solo (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) e a densidade do solo (Ds) em quatro pontos por parcela nas camadas de 0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, em fevereiro de 2011. Os dados coletados foram submetidos ao teste F sob a análise da variância ao nível de 5% de probabilidade, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e regressão polinomial. O lodo de esgoto não alterou os atributos físicos no período do entre a aplicação e avaliação.

Palavras - chave: sólidos orgânicos; densidade; porosidade.

EVALUATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF A LATOSSOLO TREATED WITH SEWAGE SLUDGE AND SAWDUST ABSTRACT

The use of sewage sludge as agronomic practice has great potential, especially its use as fertilizer and soil conditioner. This has been used in the recovery of degraded region and as a conditioner of the soil. The success or failure of agricultural projects or engineering is often dependent on the physical properties of soil used. This study was conducted at the experimental farm FEPE/UNESP-Ilha Solteira located in Selvíria, MS. The objective was to evaluate the effect of sewage sludge on the physical attributes of a degraded Latossolo. The experimental design was randomized blocks in factorial scheme 4 + 1, with four replications, totaling 20 plots. Each plot occupied an area of 480 m². Was evaluated the soil porosity (Pt), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and density (Ds) of soil at four points per plot in layers 0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m and 0,20 - 0,40 m, in February 2011. The collected data were submitted to the F test on the analysis of variance at 5% probability, test for comparison of averages by Tukey test at 5% probability and polynomial regression. The sewage sludge did not alter physical attributes in the period between the application and evaluation.

Key Words: organic solids; density; porosity.

Trabalho recebido em 21/12/2011 e aceito para publicação em 29/07/2012.

¹ Pós-graduandos em Agronomia, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – DEFERS; Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Avenida Brasil, centro, 56, 15.385-000, Ilha Solteira (SP). e-mail: celonando@hotmail.com; edjairflorestal@hotmail.com; e fedalchiavon@hotmail.com;

² Biológa, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Perimetral Rogério Silva, Jardim Flamboyant s/n, 78.580-000, Alta Floresta (MT). email: michaelli.yuri@hotmail.com;

³ Professora Adjunta, doutora em solos, DEFERS; Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Avenida Brasil, 56, 15.385-000, Ilha Solteira (SP). email: cmalves@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é a capacidade deste em sustentar a atividade biológica, promover o crescimento e a saúde das plantas e animais, e manter a qualidade ambiental (Doran & Parkin, 1994). Nesse sentido, resíduos sólidos de origem domiciliar e industrial se apresentam como um grande problema para a qualidade ambiental nos dias atuais, destacando os resíduos de esgoto, sendo os mais problemáticos (Alves *et al.*, 1999). Depois de tratados, os esgotos produzem um resíduo de composição predominantemente orgânica, chamado de biossólido “lodo de esgoto”.

A utilização do lodo de esgoto como prática agrônômica apresenta grande potencial, destacando-se, seu uso como fertilizante e condicionador de solos (SILVA *et al.*, 2002). Este tem sido utilizado na recuperação de áreas degradadas, no desenvolvimento de áreas reflorestadas e como condicionador físico do solo (SILVA *et al.*, 1997). Contudo, quando se considera o uso de lodo de esgoto em áreas agrícolas é necessário que se leve em conta além dos benefícios desse uso, tais como reciclagem de nutrientes, aumento da atividade biológica do solo e melhoria das propriedades físicas, os aspectos adversos, dentre os quais a

presença de metais pesados e patógenos persistentes (Melo *et al.*, 2001).

Com a tendência do uso de altas doses de lodo de esgoto, pode haver acúmulo de metais pesados nos solos, e estes, serem absorvidos pelas plantas em crescimento em quantidade suficiente para afetar negativamente o seu desenvolvimento e/ou a saúde dos consumidores (Chang *et al.*, 1997).

A aplicação do lodo de esgoto no solo não é um processo simples, devido à grande variabilidade na sua composição e a complexidade dos diferentes tipos de solo. Por isso, estudos que se dedicam a indicar efeitos causados pela disposição desse resíduo no solo, nos mais variados componentes do sistema solo-planta-água são importantes ferramentas para o uso sustentável desse resíduo (RICCI *et al.*, 2010).

Quanto aos atributos físicos do solo, a aplicação de lodo de esgoto promove aumento na porosidade total e macroporosidade (RICCI *et al.*, 2010), diminuição na densidade do solo (Melo *et al.*, 2004) e maior retenção de água (DEBOSZ *et al.*, 2002). Nesse sentido, as propriedades físicas do solo influenciam a função do ecossistema e a escolha do melhor manejo a ser adotado. O sucesso ou fracasso de projetos agrícolas ou de engenharia muitas vezes é dependente das propriedades físicas do solo utilizado.

Sendo assim, o emprego do lodo de esgoto na agricultura, além de ser uma forma de disposição de baixo custo, pode trazer benefícios aos sistemas agrícolas, incluindo ganhos de produtividade e melhorias nas propriedades físicas e químicas dos solos (MARCIANO *et al.*, 2001).

Em face do exposto o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influencia do lodo de esgoto sobre os atributos físicos de um Latossolo degradado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na área experimental da UNESP-Ilha Solteira localizada no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, à margem direita do rio Paraná, nas coordenadas de 51° 22' de longitude oeste e 20° 22' de latitude sul, com altitude média de 327 m. A precipitação média anual é de 1370 mm e a temperatura do ar média anual de 23,5°C. A área apresenta-se degradada pela retirada, a 40 anos, de uma camada de solo de 6 m de espessura, para utilização na construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, Estado de São Paulo, totalizando 700 hectares de solo decapitado. O solo original da área de estudo foi classificado

como Latossolo Vermelho distrófico, textura média (EMBRAPA, 2006).

O Delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 + 1, sendo 4 tratamentos mais o controle, com 4 repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela ocupou uma área de 480 m² (20 m x 24 m), perfazendo um total de 9.600 m² nas 20 parcelas. Dentro de cada bloco as parcelas foram espaçadas 6 m, assim como entre os blocos, medida utilizada como forma de evitar-se a influência de parcelas que receberam maiores quantidades de material orgânico sobre parcelas vizinhas que receberam menores quantidades ou mesmo que não receberam qualquer tipo de tratamento. O experimento constituiu-se de 5 tratamentos, definidos como: **T1:** (controle) ausência de plantas e de resíduos e sem o preparo do solo; **T2:** (testemunha) com plantas e sem resíduo; **T3:** T1 (Tratamento 1) + 8 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto (LE); **T4:** T1 + 16 Mg ha⁻¹ de LE; **T5:** T1 + 24 Mg ha⁻¹ de LE.

Para o preparo do solo, foram realizadas duas subsolagens subseqüentes, atingindo a profundidade de 0,30 m. O solo teve sua acidez corrigida pela distribuição e incorporação de calcário com grade leve, de modo a elevar sua saturação por bases a 50%. Parte do lodo de esgoto foi distribuída em sulcos de plantio (20%), em fevereiro de 2009, e o restante (80%) em

superfície em dezembro de 2009, visando o arranque inicial do eucalipto (*E. camaldulenses*) que foi plantado em todas as parcelas, com exceção do controle, em março de 2010, com espaçamento de 3,0 m x 2,0 m, totalizando 60 plantas na área útil da parcela e 1.200 plantas no experimento todo.

O lodo de esgoto foi obtido na ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) da Sanear-Saneamento de Araçatuba S/A, no município de Araçatuba, Estado de São Paulo. O tratamento lá produzido é do tipo aeração prolongada, mediante oxigenação por equipamento eletromecânico, por 18 a 24 horas, com tempo de residência de 30 a 40 dias. Após a aeração, o efluente é desaguado por centrífuga, reduzindo sua umidade para um valor em torno de 80%.

Para as avaliações das propriedades físicas do solo, amostras de solos foram coletadas em fevereiro de 2011, 24 meses após a instalação do experimento. Para isso, em cada parcela foram selecionados, aleatoriamente, 4 pontos de amostragem e, em cada ponto coletou-se uma amostra de solo indeformada nas profundidades de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, utilizando amostrador com 50 mm de diâmetro com 50 mm de altura, perfazendo um total de 80 amostras. Após a coleta, as amostras foram envoltas em tiras de tecido e acomodadas em caixas para transporte. No laboratório, as

amostras foram preparadas para as análises, retirando-se o excesso de solo das suas extremidades. Em seguida, foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até o limite de 2/3 da altura das amostras, por 24 horas. A densidade foi calculada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume total do anel, de acordo com a EMBRAPA (1997).

A porosidade total foi calculada como sendo o conteúdo de água do solo saturado. A quantificação dos valores de macroporosidade (Poros > 50 μm) e microporosidade (Poros < 50 μm) foi obtida submetendo as amostras saturadas ao potencial de - 0,006 MPa (EMBRAPA, 1997), utilizando uma mesa de tensão adaptada de Topp & Zebtchuck (1979). O volume dos macroporos foram estimados como a diferença entre o conteúdo de água do solo saturado e o conteúdo de água do solo após a aplicação do potencial - 0,006 MPa. O volume de microporos (microporosidade) foi determinado como sendo o conteúdo de água retido no potencial de - 0,006 MPa.

Os dados coletados foram submetidos ao teste F sob a análise da variância, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e a regressão polinomial ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo é um atributo físico que apresenta baixa variabilidade e um coeficiente de variação (CV) menor que 15% segundo Warrick (1998). Os resultados obtidos são condizentes com essa afirmação em relação ao CV, pois este variou de 2,64 a 5,49%.

Maior variabilidade dos dados foi constatada nas camadas mais superficiais de solo avaliadas, de 0–0,10 m, muito em função de ser esta, a camada mais explorada pelo sistema radicular da vegetação presente no solo, bem como pelos organismos da mesofauna. Estes resultados se assemelham aos encontrados por Medeiros *et al.* (2009), que estudando a influência do sistema de preparo e manejo de um Latossolo, verificaram baixa variabilidade para o atributo densidade com excessão da camada de 0–0,10 m. A baixa variabilidade na densidade do solo também foi verificada por diversos autores como Guimarães (2000) e Souza *et al.* (2001).

Não se constatou diferenças significativas para as camadas avaliadas de 0,10–0,20 m e 0,20–0,40 m, entre os tratamentos utilizados para o atributo densidade (Tabela 1).

Houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados para densidade do solo apenas para as camadas amostradas de

0–0,10 m. Na camada de 0–0,05 m com excessão de T4 todos os tratamentos diferiram do tratamento controle (T1), o qual apresentou a maior média para o atributo avaliado. No entanto, quando comparados os tratamentos com aplicação de LE e o tratamento T1 (testemunha), que não teve aplicação de LE, mas que, foi submetido a todas as práticas de preparo convencional de solo realizados nos tratamentos com LE, não se constatou diferença significativa entre os tratamentos com aplicação de lodo de esgoto e o tratamento testemunha.

Nesse sentido, a aplicação do material orgânico no solo não apresentou influência sobre a densidade do solo amostrado, já que os valores obtidos para tal atributo pelos tratamentos T3 e T5 são diferentes estatisticamente e inferior apenas ao valor obtido para T1, que não foi submetido às práticas de preparo de solo.

As menores densidades constatadas para esses tratamentos podem estar relacionadas mais com o preparo do solo do que propriamente com a incorporação do lodo de esgoto. Situação semelhante foi observada por Andrade *et al.* (2005) que, determinando o efeito da aplicação em cobertura de doses de um lodo de esgoto alcalino após cinco anos, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com eucalipto, relataram que não foram encontradas diferenças significativas entre

os tratamentos para a densidade do solo do experimento até a profundidade de 0,60 m.

Ricci *et al.* (2010) estudando o uso de lodo de esgoto em um solo decapitado para recuperação de seus atributos físicos, relataram não ter encontrado diferença entre os tratamentos compostos com lodo de esgoto e a testemunha. Ainda de acordo com esses autores, os efeitos observados na densidade para a camada superficial de 0-0,20 m, provavelmente ocorreram em função do preparo do solo com subsolagem e operações com grades realizadas durante a incorporação do composto. Fato este, que se assemelha ao ocorrido no presente trabalho.

Para a camada de 0,05-0,10 m, verificaram-se diferenças estatísticas entre o tratamento controle (T1) e os demais tratamentos (Tabela 1). Dos tratamentos com aplicação do composto lodo de esgoto independente da dosagem, T3 e T4 diferiram da testemunha (T2), porém, estes apresentaram valores para densidades maiores do que o observado para a testemunha.

Já o tratamento com maior dosagem de lodo de esgoto aplicado obteve a menor densidade de $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ entre todos os tratamentos, sem no entanto, diferir da testemunha. Estes resultados assemelham-se aos relatados por Boeira & Souza (2007), que avaliando a eficiência da aplicação de lodo de esgoto sobre os

atributos físicos, não verificaram diferenças entre tratamentos com aplicação de lodo e a testemunha. Reforçando a hipótese de que, os menores valores para densidade foram provavelmente em função das práticas de preparo de solo que, promoveram o revolvimento do solo e rearranjo das partículas. Observações semelhantes foram feitas por Colodro (2006) e Kitamura *et al.* (2008).

Segundo Skorupa *et al.* (2006) solos que apresentam alta densidade, restringem ou limitam fisicamente o crescimento das raízes. Desse modo, o limite crítico para o desenvolvimento do sistema radicular é de $1,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ para solos com textura média segundo Reinert *et al.* (2008). Nesse sentido, a avaliação da densidade, permite conhecer o grau de compactação do solo. Com isso, há uma estreita relação desta avaliação com os benefícios proporcionados pela aplicação de lodo de esgoto nos solos.

Em geral, menores densidades foram observadas nas camadas mais superficiais de 0,0-0,20 m. Densidades menores nas camadas superficial foram encontrados também por Reinert *et al.* (2008) e por Genro Junior *et al.* (2004). Fato este, que pode estar relacionado com maior teor de matéria orgânica nas camadas mais superficiais. Além de que, a presença de

plantas de eucaliptos pode ter favorecido na diminuição da densidade nas camadas mais superficiais. Segundo Reinert *et al.* (2008) em estudos sobre os limites críticos da densidade para o crescimento do

sistema radicular de plantas de cobertura, verificaram que os sistemas radiculares favoreceram a diminuição da densidade na camada mais superficial de 0 – 0,20 m.

Tabela 1. Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) e análise de regressão com modelo da equação e significância para a densidade e porosidade total, avaliados nas camadas de solo amostradas (m), em função da aplicação de diferentes dosagens de lodo de esgoto no solo.

Tratamentos	Camadas (m)			
	0 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,40
	Densidade do solo (Mg m ⁻³)			
T1	1,67a	1,73a	1,76	1,71
T2	1,36b	1,50c	1,62	1,68
T3	1,46b	1,63b	1,65	1,74
T4	1,51ab	1,60b	1,62	1,71
T5	1,41b	1,46c	1,61	1,72
DMS	0,183	0,094	0,184	0,150
Teste F	8,82**	26,90**	2,35 ^{ns}	0,49 ^{ns}
CV (%)	5,49	2,64	4,95	3,91
Modelo Equação	Q	Q	-	-
Teste F	7,17*	35,41**	-	-
	Porosidade Total (m ³ m ⁻³)			
T1	0,350b	0,345b	0,345	0,367
T2	0,455a	0,425a	0,387	0,390
T3	0,450a		0,382	0,367
T4	0,402ab	0,385ab	0,362	0,365
T5	0,435ab	0,365ab	0,382	0,372
		0,390ab		
DMS	0,085	0,073	0,053	0,038
Teste F	5,20*	3,37*	2,31 ^{ns}	1,40 ^{ns}
CV (%)	9,09	8,54	6,32	4,62

Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: T1 = controle, sem aplicação de lodo de esgoto (LE), sem preparo do solo e plantas; T2 = testemunha, sem aplicação de LE, mas com preparo do solo e plantas; T3 = aplicação de 8 Mg ha⁻¹ de LE; T4 = aplicação de 16 Mg ha⁻¹ de LE e T5 = aplicação de 24 Mg ha⁻¹ de LE.

Verificou-se que a densidade observada nas duas camadas mais superficiais de solo amostradas adequou-se em uma resposta com função quadrática (Tabela 3). Constatou-se um aumento na densidade a partir da testemunha, sem aplicação de lodo de esgoto até o tratamento com aplicação de 16 Mg ha^{-1} , com posterior diminuição no valor da densidade pela aplicação da maior dose de lodo de esgoto de 24 Mg ha^{-1} . Para ambas as camadas analisadas não se verificaram diferenças entre a menor e a maior dose aplicada.

A porosidade total diferiu entre as camadas mais superficiais, amostradas de 0–0,10 m, quanto aos tratamentos com aplicação de lodo de esgoto (Tabela 1). Verificou-se que para ambas as camadas com diferenças estatísticas amostradas, os tratamentos com lodo de esgoto independente da dosagem aplicada não diferiu da testemunha (T2).

Na camada de 0–0,05 m, além da testemunha, o tratamento T3 foi o único com aplicação com lodo de esgoto que diferiu do tratamento controle. Em relação à camada de 0,05–0,10 m, todos os tratamentos com lodo de esgoto não diferiu do tratamento controle que por sua vez, diferiu da testemunha. Nesse sentido, o uso de lodo de esgoto não contribui para o aumento da porosidade do solo e, o aumento da porosidade constatada em T3

na camada mais superficial pode ter sido em decorrência das práticas de subsolagem realizadas no preparo do solo. Resultados semelhantes foram relatados por Melo *et al.* (2004) e Ricci *et al.* (2010).

Nas camadas de 0,10–0,20 m e 0,20–0,40 m, a porosidade total do solo não demonstrou diferenças significativas para os tratamentos com diferentes doses de lodo e nem desses em relação aos tratamentos controle e testemunha (Tabela 1).

De acordo com Furrer & Stauffer (1983) a adição de lodo de esgoto pode não alterar a porosidade total, independente da condição original do solo. Por sua vez, Navas *et al.* (1998) obtiveram incremento da porosidade total de $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, em tratamentos com aplicação de 320 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto. Assim, uma das hipóteses para o resultado encontrado no presente trabalho, seja a quantidade de lodo de esgoto necessário para promover aumento na porosidade total do solo.

A porosidade é uma propriedade importante que deve ser analisada na avaliação da qualidade física do solo. Nesse sentido, Bertol (1989) afirmou que os macroporos são os primeiros e mais afetados pelo processo de compactação dos solos. Ainda segundo o autor, macroporosidade se correlaciona negativamente com a densidade nos

sistemas de uso do solo, ou seja, com o aumento da densidade há uma redução da macroporosidade. Baver *et al.* (1972) propôs que valores de macroporosidade compreendidos abaixo de 10% são

considerados como críticos para o desenvolvimento do sistema radicular dos vegetais, circulação de ar e água no solo, definindo esse valor como limite crítico para tal atributo.

Tabela 2. Teste de comparação de médias, teste F, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV%) e análise de regressão com modelo da equação e significância para macro e microporosidade, avaliados nas camadas de solo amostradas (m), em função da aplicação de diferentes dosagens de lodo de esgoto no solo.

Tratamentos	Camadas (m)			
	0 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,40
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			
T1	0,077b	0,067c	0,067	0,060
T2	0,190a	0,165a	0,095	0,070
T3	0,130ab	0,117abc	0,082	0,057
T4	0,135ab	0,097b	0,092	0,067
T5	0,167a	0,142ab	0,085	0,057
DMS	0,078	0,053	0,048	0,040
Teste F	5,95**	10,08**	1,02 ^{ns}	0,42 ^{ns}
CV (%)	25,00	20,30	25,31	28,96
Modelo Equação	Q	Q	-	-
Teste F	11,40**	11,31**	-	-
	Microporosidade (m ³ m ⁻³)			
T1	0,277	0,275	0,280	0,310
T2	0,267	0,275	0,292	0,322
T3	0,320	0,282	0,302	0,310
T4	0,270	0,270	0,267	0,295
T5	0,275	0,267	0,295	0,312
DMS	0,083	0,052	0,039	0,036
Teste F	1,35 ^{ns}	0,24 ^{ns}	2,50 ^{ns}	1,47 ^{ns}
CV (%)	13,18	8,53	6,08	5,24

Médias seguidas por mesma letra na coluna, para diferentes tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** e * : significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey, respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: T1 = controle, sem aplicação de lodo de esgoto (LE), sem preparo do solo e plantas; T2 = testemunha, sem aplicação de LE, mas com preparo do solo e plantas; T3 = aplicação de 8 Mg ha⁻¹ de LE; T4 = aplicação de 16 Mg ha⁻¹ de LE e T5 = aplicação de 24 Mg ha⁻¹ de LE.

Nas camadas de 0–0,05 m e 0,05–0,10 m, houve diferenças entre os tratamentos adotados. Na camada mais superficial de 0–0,05 m, o tratamento T5 com maior quantidade de lodo de esgoto aplicado não diferiu da testemunha, no

entanto, ambos diferiram do controle (T1), para o qual se constatou o menor valor de macroporosidade 0,077 m³ m⁻³, considerado como crítico de acordo com os critérios de Baver *et al.* (1972) (Tabela 2). Na camada amostrada de 0,05–0,10 m,

resultados semelhantes à camada anterior foram constatados. Com aplicação de maior quantidade de lodo de esgoto assemelhando a testemunha e ambos diferindo do controle.

Esses resultados diferem dos relatados por Ricci *et al.* (2010), Melo *et al.* (2004), Kitamura *et al.* (2008), que verificaram diferenças entre as dosagens de lodo de esgoto aplicado ao solo. Esses mesmo autores apontam um aumento da macroporosidade em função das doses crescentes de lodo de esgoto aplicado ao solo. Mesmo não havendo diferenças significativas entre os tratamentos com aplicação de lodo de esgoto, no presente trabalho, verifica-se uma tendência no aumento da macroporosidade em função de maiores quantidades de lodo aplicado.

O ajuste matemático dos valores observados nas camadas de solo de 0–0,05 m e 0,05–0,10 m foi adequado, se ajustando em uma função quadrática (Tabela 3). Em ambos os casos, não se constatou aumento da macroporosidade pela aplicação de 8 e 16 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto a partir do tratamento sem aplicação de lodo. No entanto, a partir da aplicação da dosagem de 24 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, constatou-se aumento da macroporosidade, promovida pelo incremento do material orgânico aplicado ao solo, proporcionando as maiores médias para esse atributo físico avaliado.

Assim como verificado para os atributos físicos densidade e porosidade total do solo nas camadas de 0,10–0,20 m e 0,20–0,40 m não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos adotados para o atributo macroporosidade do solo (Tabela 2). Observou-se que para essas camadas, os valores de macroporosidade obtidos encontram-se abaixo do valor crítico para o atributo segundo Baver *et al.* (1972), demonstrando que nessas camadas, o solo apresenta maiores dificuldades quanto à infiltração e drenagem da água, além da circulação de ar, devido ao grau de compactação a que o solo está submetido.

A microporosidade do solo é responsável pela capacidade de retenção de água e partículas sólidas, enquanto a macroporosidade influencia diretamente sobre a capacidade de infiltração, drenagem do solo e sua capacidade de aeração (Hillel, 1998).

Tabela 3. Análise de regressão para os diferentes tratamentos com aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto no solo (Mg ha^{-1}) para os atributos físicos densidade do solo e macroporosidade, com respectivos modelos de equação de regressão, coeficientes de determinação (R^2) e significância.

Camadas (m)	Tratamentos (Mg ha^{-1})				Equação	R^2 (%)
	0	8	16	24		
Densidade do solo (Mg m^{-3})						
0,00 – 0,05	1,36b	1,46a b	1,51a	1,41a b	$1,35+0,021.x-0,00077.x^2^*$	96,16
0,05 – 0,10	1,50b	1,63a	1,60a	1,46b	$1,497+0,0245.x-0,0011.x^2^{**}$	99,51
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)						
0,00 – 0,05	0,19a	0,13b	0,14a b	0,17a b	$0,188-0,0094.x+0,0004.x^2^{**}$	97,08
0,05 – 0,10	0,17a	0,12a b	0,10b	0,14a b	$0,166-0,0097.x+0,0004.x^2^{**}$	97,29

Médias seguidas por mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação à microporosidade do solo, não houve diferenças significativas em nenhuma das camadas de solo avaliada em função dos diferentes tratamentos com aplicação de lodo de esgoto e, nem desses em relação à testemunha e controle (Tabela 2). Em relação à microporosidade, Jorge *et al.* (1991) também não encontraram diferenças na microporosidade de um Latossolo Vermelho com a aplicação de $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de lodo de esgoto, durante quatro anos de estudos. Sort & Alcañiz (1999), também não encontraram diferenças em relação à microporosidade de um Latossolo ao final de quatro anos de estudos com aplicação de 400 Mg ha^{-1} . Entretanto, os resultados apresentados no presente trabalho, diferem dos relatados por Ricci *et al.* (2010) para a camada de

0,20–0,40 m, que constataram alterações na microporosidade do solo pela aplicação de dosagens de lodo de esgoto.

A ausência de resposta do solo pela aplicação de lodo de esgoto em algumas de suas propriedades físicas pode acontecer e já foi também descrita em alguns trabalhos encontrados na literatura, citando os de Kitamura *et al.* (2008) e Camilotti *et al.* (2006).

4. CONCLUSÃO

A aplicação de lodo de esgoto não promoveu alterações significativas nos atributos físicos avaliados no solo após dois anos de sua aplicação e incorporação.

As práticas de preparo do solo antes da aplicação de lodo de esgoto se apresentaram mais eficazes nas alterações dos atributos físicos avaliados no solo em

relação ao uso do lodo de esgoto para períodos curtos de avaliação.

O uso de lodo de esgoto na recuperação de solo degradado é uma alternativa para áreas que se encontram em estado de degradação, por meio do uso de espécies florestais na revegetação desses solos.

5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. D.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 803-816, 2005.
- ALVES, W. L.; MELO, W. J.; FERREIRA, M. E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 729-736, 1999.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W.R. **Soil structure: classification and genesis**. In: Baver, L. D.; Gardner, W. H.; Gardner, W.R. *Soil Physics*. New York, John Wiley, v. 4, p. 130-177. 1972.
- BERTOL, I. Degradação física do solo sob a cultura do alho. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 47-50, 1989.
- BOEIRA, R. C; SOUZA, M. D. Estoques de carbono orgânico e nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 581-590, 2007.
- CAMILOTTI, F.; ANDREOLI, I.; MARQUES, M. O. Atributos físicos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 738-747, 2006.
- CHANG, A. C.; HYUN, H.; PAGE, A. L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb? **Journal of Environmental Quality**, **Standford**, v. 26, p. 11-19, 1997.
- COLODRO, G. Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto. 2006. 82p. **Tese** (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- DEBOSZ, K.; PETERSEN, S. O.; KURE, L. K.; AMBUS, P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied and Soil and Ecology**, **Amsterdam**, v.19, n. 3, p. 237-248, 2002.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. "Defining and assessing soil quality": In *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: **SSSA**, v. 5, p. 3-21, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.
- FURRER, O. J.; STAUFFER, W. Influence of sewage sludge application on physical properties of soils and its contribution to the humus balance. In: THE INFLUENCE of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. Dordrecht: **D. Reidel**, 1983. p. 65-74.
- GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 3, p. 477-484, 2004.
- GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. Campinas, 2000. 90 p. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998.
- JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n. 3, p. 237-240, 1991.
- KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; GUSTAVO, L.; GONZALEZ, A. S. Recuperação de um solo degradado com aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 405-416, 2008.
- MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2001.
- MEDEIROS, G. A.; DANIEL, L. A.; LUCARELLI, J. R. de F.; REIS, F. A. G. V. Influência do sistema de preparo e manejo de um Latossolo Vermelho nas suas propriedades físico-hídricas. **Geociências**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 453-465, 2009.
- MELO, V. P. de; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M. de; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 67-72, 2004.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. de C. T. de; MELFI, A. J.; MELO, W. J de; MARQUES, M. O. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2001. p. 289-363.
- NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. Influence of sewage sludge

- application on physical and chemical properties of Gypsisols. *Geoderma*, Amsterdam, v. 87, n. 1-2, p. 123-135, 1998.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.
- RICCI, A, B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JÚNIOR, D. R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I – Atributos físicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 535-542, 2010.
- 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**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 487-495, 2002.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D.; FEITOZA, L. Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para o milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 4p. CD-ROM.
- SKORUPA, L. A. Uso de lodo de esgoto em plantações florestais e na recuperação de áreas degradadas. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – Relatório Final, 2006.
- SORT, X.; ALCANIZ, J. M. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, n. 4, p. 337-345, 1999.
- SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.
- TOPP, G. C.; ZEBTCHUK, W. The determination of soil water desorption curves for soil cores. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 59, n. 1, p. 19-26, 1979.
- WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. (Ed.) **Environmental soil physics**, Academic Press, p. 655-675, 1998.