



## Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico degradado em resposta à aplicação de biossólidos

Flávio C. Dalchiavon<sup>1</sup>, Edjair A. Dal Bem<sup>2</sup>, Marcelo F. P. Souza<sup>2</sup>,  
Rubens Ribeiro<sup>3</sup>, Marlene C. Alves<sup>4</sup> & Gilberto Colodro<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Mato Grosso, Campus Campo Novo do Parecis, MT 235 Km 12; s/n, Zona Rural, CEP 78360-000, Campo Novo do Parecis-MT, Brasil. Caixa Postal 100. E-mail: flavio.dalchiavon@cnp.ifmt.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Passeio Monção, 213, CEP:15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil. E-mail: edjairflorestal@hotmail.com; celonando@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas, Avenida Ranulpho Marques Leal, 3484, Distrito Industrial, CEP 79620-080, Três Lagoas-MS, Brasil. Caixa Postal 210. E-mail: verdelho.verdelho@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Avenida Brasil, 56, Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil. Caixa Postal 31. E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

<sup>5</sup> Instituto Federal Goiano, Rodovia Sulgoiana, Km 1, Zona Rural, CEP 75901-970, Rio Verde-GO, Brasil. E-mail: gilbertocolodro@bol.com.br

### RESUMO

O lodo de esgoto, resíduo com elevados teores de matéria orgânica e de rápida decomposição, aliado à serragem de madeira rica em carbono e de decomposição mais lenta, é um componente adequado ao estudo de áreas degradadas. Com a finalidade de testar as interações desses resíduos na recuperação de um solo degradado em Selvíria, MS, foram utilizadas, em fevereiro de 2009, quatro doses de lodo de esgoto (0, 8, 16 e 24 t ha<sup>-1</sup>, a base seca) e quatro doses de serragem de madeira (0, 8, 16 e 24 t ha<sup>-1</sup>, a base seca), num delineamento experimental em blocos casualizados com fatorial 4 x 4 + 1, com quatro repetições. Utilizaram-se, como indicadores dos efeitos, a resistência mecânica à penetração, a umidade gravimétrica e a densidade do solo nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Foi observado efeito significativo entre os fatores (lodo de esgoto e serragem de madeira) e o tratamento controle para resistência mecânica à penetração nas três profundidades de solo pesquisadas, para a umidade gravimétrica na camada intermediária e para a densidade do solo na superfície e na camada intermediária. Considerando o tipo de solo e o curto período de estudo (24 meses) a utilização dos resíduos orgânicos apresentou melhorias físicas do solo em relação ao controle; entretanto, é necessário estudá-los durante um período maior.

**Palavras-chave:** indicadores de qualidade do solo, resíduos orgânicos, biossólidos

### *Physical attributes of a Typic Acrustox degraded soil in response to the application of biosolids*

### ABSTRACT

Sewage sludge, waste with high organic matter content and rapid decomposition, combined with sawdust, rich in carbon and slow decomposition, are suitable components for the study of degraded areas. In order to test the interactions of these residues in the recovery of a degraded soil in Selvíria – MS, four doses of sewage sludge (0, 8, 16 and 24 t ha<sup>-1</sup>, dry basis) and four doses of sawdust particles (0, 8, 16 and 24 t ha<sup>-1</sup>, dry basis) were tested in February 2009, in a completely randomized block design (4 x 4 + 1 factorial), with four replications. As indicators of the effects, the penetration resistance, gravimetric moisture and soil bulk density (0-0.10, 0.10-0.20; 0.20-0.40 m) were used. Significant effects were observed for the factors (sewage sludge and sawdust) and control treatment for penetration resistance in the soil depths studied, for gravimetric moisture in the intermediate layer and for the soil density in the surface and intermediate layers. Considering the type of soil and the short period of study (24 months), the use of organic wastes presented improvement in physical properties of soil in relation to control. However, it is necessary to study them for a longer period.

**Key words:** soil quality indicators, organic wastes, biosolids

## Introdução

Grande parte das principais áreas degradadas pela atuação antrópica decorre da inadequação das práticas de estabelecimento de mineração e de áreas remanescentes da construção de usinas hidrelétricas. Pela utilização indevida da paisagem e dos ecossistemas envolvidos, a degradação progride alterando as características físicas, químicas e biológicas dos solos. O manejo adequado deve prever o enriquecimento e a manutenção, pelo maior tempo possível, da matéria orgânica no solo, o que pode ser conseguido com a aplicação de certos resíduos orgânicos (Colodro & Espíndola, 2006).

O lodo de esgoto, resultante do tratamento de águas residuárias, é um dos grandes problemas ambientais urbanos da atualidade; das formas de disposição final existentes para este resíduo a reciclagem agrícola tem-se mostrado, em nível mundial, como solução adequada do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, por viabilizar a reciclagem de nutrientes e promover melhorias físicas no ambiente (Silva et al., 2011). O lodo de esgoto pode receber tratamento aeróbico ou anaeróbico, sendo rico em matéria orgânica; as condições de estabilização, desidratação e desinfecção do lodo de esgoto para fins agrícolas, são atingidas por compostagem ou pela calagem (Andreoli, 1997).

Alguns atributos físicos têm sido frequentemente utilizados como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo, como a resistência mecânica à penetração do solo, por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e de fácil e rápida determinação. Estudos realizados por Colodro & Espíndola (2006) e Alves et al. (2007) mostraram que houve melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, quando se utilizou lodo de esgoto para sua recuperação.

Por outro lado, Souza et al. (2005) verificaram, trabalhando com doses de lodo de esgoto de até 50 t ha<sup>-1</sup>, que a aplicação deste resíduo não influenciou na resistência mecânica à penetração nem na umidade gravimétrica de um Latossolo Vermelho após cinco anos de aplicação, assim como Backes (2008) que, estudando a aplicação e o efeito residual do lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho distrófico, observou que não houve influência das doses utilizadas (0, 10, 20, 30 e 40 t ha<sup>-1</sup>, base seca) na resistência mecânica à penetração até a profundidade de 0,40 m.

Assim, tendo em vista que o tempo de degradação da matéria orgânica contida no lodo de esgoto determinará seu efeito nas propriedades do solo e se considerando que Melo et al. (2001) observaram um tempo de degradação muito curto da matéria orgânica do lodo de esgoto quando comparado ao de outros materiais orgânicos, espera-se, então, que sua utilização, juntamente com outro resíduo orgânico, com maiores teores de carbono e de decomposição mais lenta (como a serragem de madeira) equilibre a relação C/N desse composto e promova melhorias nas propriedades do solo, por um período maior de tempo (Sedyama et al., 2009). Aggelides & Londra (2000) constataram que a resistência à penetração do solo diminuiu em função do aumento da porosidade e da agregação do solo a partir da aplicação de 78,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de uma mistura composta contendo 62% de lixo doméstico, 21% de lodo de esgoto e 17% de serragem de madeira a 0,15 m de profundidade em um solo argiloso.

A serragem de madeira é o principal subproduto da cadeia madeiro-moveleiro, em que 49,7% desse resíduo chegam a ser descartados sem nenhum aproveitamento (Sablowski et al., 2007) demonstrando seu grande potencial dada a sua ampla disponibilidade para utilizações diversas, como o uso agrícola; em suma, na recuperação de áreas degradadas.

Considerando o exposto, objetivou-se, no presente trabalho, verificar o efeito da utilização de lodo de esgoto e de serragem de madeira na recuperação de uma área degradada pela retirada excessiva de solo para a construção de uma usina hidrelétrica.

## Material e Métodos

A área experimental está localizada no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, na 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 se apresenta degradada pela retirada, há 41 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 ha de solo decapitado. O solo original da área de estudo era referido por Latossolo Vermelho Escuro textura média (Colodro & Espíndola, 2006), passando a designar-se, pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), Latossolo Vermelho distrófico, textura média.

Foi utilizado um delineamento experimental em blocos casualizados, num esquema fatorial do tipo 4 x 4 + 1, com 4 repetições, totalizando 68 parcelas; cada parcela ocupou uma área de 480 m<sup>2</sup> (20 x 24 m) perfazendo o total de 32 640 m<sup>2</sup> nas 17 parcelas. Dentro de cada bloco as parcelas foram espaçadas 6 m, assim como entre os blocos, totalizando uma área experimental de 4,0 ha. O experimento se constitui de 16 tratamentos, mais o controle, definidos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Definição dos tratamentos adotados no experimento

| Tratamentos     | Descrição   |
|-----------------|---|
| T0 (controle)   | sem plantas, sem resíduos e sem preparo do solo                         |
| T1 (testemunha) | com plantas e sem resíduo   |
| T2              | com plantas + 8 t ha <sup>-1</sup> de SE*                               |
| T3              | com plantas + 16 t ha <sup>-1</sup> de SE                               |
| T4              | com plantas + 24 t ha <sup>-1</sup> de SE                               |
| T5              | com plantas + 8 t ha <sup>-1</sup> de LE**                              |
| T6              | com plantas + 8 t ha <sup>-1</sup> de LE + 8 t ha <sup>-1</sup> de SE   |
| T7              | com plantas + 8 t ha <sup>-1</sup> de LE + 16 t ha <sup>-1</sup> de SE  |
| T8              | com plantas + 8 t ha <sup>-1</sup> de LE + 24 t ha <sup>-1</sup> de SE  |
| T9              | com plantas + 16 t ha <sup>-1</sup> de LE                               |
| T10             | com plantas + 16 t ha <sup>-1</sup> de LE + 8 t ha <sup>-1</sup> de SE  |
| T11             | com plantas + 16 t ha <sup>-1</sup> de LE + 16 t ha <sup>-1</sup> de SE |
| T12             | com plantas + 16 t ha <sup>-1</sup> de LE + 24 t ha <sup>-1</sup> de SE |
| T13             | com plantas + 24 t ha <sup>-1</sup> de LE                               |
| T14             | com plantas + 24 t ha <sup>-1</sup> de LE + 8 t ha <sup>-1</sup> de SE  |
| T15             | com plantas + 24 t ha <sup>-1</sup> de LE + 16 t ha <sup>-1</sup> de SE |
| T16             | com plantas + 24 t ha <sup>-1</sup> de LE + 24 t ha <sup>-1</sup> de SE |

\*SE – Serragem de madeira; \*\*LE – lodo de esgoto na base seca

Para o preparo do solo das parcelas (exceto o controle), foram realizadas duas subsolagens subsequentes, 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 e da serragem de madeira foi distribuída em sulcos de plantio (20%) em fevereiro de 2009 e o restante (80%) em superfície, em dezembro de 2009, visando ao 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 x 2,0 m, totalizando 60 plantas por parcela e 4080 plantas no experimento todo.

Obteve-se o lodo de esgoto na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Sanear-Saneamento de Araçatuba S/A, no município de Araçatuba, Estado de São Paulo. O tratamento produzido pela ETE Sanear-Saneamento 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%; possui altos teores de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, conforme apresentado na Tabela 2, determinada pelo Instituto Agrônomo (IAC). Os teores de metais pesados se apresentam com valores bem inferiores aos limites estabelecidos pelas principais agências de fiscalização ambiental. A serragem de madeira foi obtida a

**Tabela 2.** Composição química do lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto da Sanear-Saneamento de Araçatuba S/A – SP

| Característica <sup>(1)</sup> | Unidade <sup>(2)</sup> | Teor   | Cetesb | IAP  | USEPA |
|-------------------------------|------------------------|--------|--------|------|-------|
| pH (in natura)                |                        | 7,1    |        |      |       |
| Umidade                       | (% m m <sup>-1</sup> ) | 65,7   |        |      |       |
| Sólidos voláteis              | (% m m <sup>-1</sup> ) | 71,5   |        |      |       |
| Carbono orgânico              | (g kg <sup>-1</sup> )  | 406,06 |        |      |       |
| Nitrogênio amoniacal          | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 8875   |        |      |       |
| Nitrogênio nitrato-nitrito    | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 105,7  |        |      |       |
| Nitrogênio total              | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 57054  |        |      |       |
| Alumínio                      | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 4968   |        |      |       |
| Arsênio                       | (mg kg <sup>-1</sup> ) | ND     | 75     | -    | 41    |
| Boro                          | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 10,7   |        |      |       |
| Cádmio                        | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 1,6    | 85     | 20   | 39    |
| Cálcio                        | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 3894   |        |      |       |
| Chumbo                        | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 28,7   | 840    | 750  | 300   |
| Cobre                         | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 159,8  | 4300   | 1000 | 1500  |
| Cromo total                   | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 20,4   | -      | 1000 | 1200  |
| Enxofre                       | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 3512   |        |      |       |
| Ferro                         | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 7385   |        |      |       |
| Fósforo                       | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 12238  |        |      |       |
| Magnésio                      | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 3290   |        |      |       |
| Manganês                      | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 77,8   |        |      |       |
| Merúrio                       | (mg kg <sup>-1</sup> ) | ND     | 57     | 16   | 17    |
| Molibdênio                    | (mg kg <sup>-1</sup> ) | ND     | 75     | -    | 18    |
| Níquel                        | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 18,1   | 420    | 300  | 420   |
| Potássio                      | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 6957   |        |      |       |
| Selênio                       | (mg kg <sup>-1</sup> ) | ND     | 100    | -    | 36    |
| Sódio                         | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 1255   |        |      |       |
| Zinco                         | (mg kg <sup>-1</sup> ) | 474,4  | 7500   | 2500 | 2800  |

<sup>(1)</sup> Método empregado para metais SW3051, EPA-USA, determinação por ICP-AES;

<sup>(2)</sup> Todos os valores de concentração são dados com base na matéria seca;

ND – Não detectado;

Cetesb - Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (1999). IAP – Instituto Ambiental do Paraná (PR). USEPA - Norma 40 CFR Part 503 (1993) com limites para lodo de qualidade excepcional

**Tabela 3.** Análise inicial de alguns atributos físicos do solo

| Profundidade<br>(m) | Atributo físico <sup>(a)</sup>    |       |       |                              |                       |       |       |
|---------------------|-----------------------------------|-------|-------|------------------------------|-----------------------|-------|-------|
|                     | Porosidade                        |       |       | DS<br>(kg dm <sup>-3</sup> ) | Tamanho de partículas |       |       |
|                     | MA                                | MI    | PT    |                              | Argila                | Areia | Silte |
|                     | (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) |       |       |                              | (g kg <sup>-1</sup> ) |       |       |
| 0-0,10              | 0,085                             | 0,235 | 0,320 | 1,690                        | 305                   | 502   | 151   |
| 0,10-0,20           | 0,080                             | 0,250 | 0,330 | 1,680                        | 270                   | 541   | 188   |
| 0,20-0,40           | 0,070                             | 0,240 | 0,310 | 1,800                        | 189                   | 526   | 285   |

<sup>(a)</sup> MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PT = porosidade total, DS = densidade do solo

partir de árvores de eucalipto, no município de Selvíria (MS), logo após sua obtenção pela indústria madeireira.

Avaliaram-se a resistência mecânica à penetração (RP), três pontos por parcela, a umidade gravimétrica (UG) e a densidade do solo (DS), um ponto por parcela, nas camadas de: 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, coletadas em fevereiro de 2011, 24 meses após a instalação do experimento, e analisadas conforme a Embrapa (1997), cujos procedimentos metodológicos se encontram descritos em Dalchiavon et al. (2011) e Montanari et al. (2012).

Os dados foram submetidos ao teste F sobre a análise da variância, seguidos da análise de regressão utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2002).

## Resultados e Discussão

Nas Tabelas 3 e 4 estão as análises físico-químicas iniciais do solo no qual o experimento foi instalado; os dados evidenciaram que o solo pesquisado se encontrava com valores críticos de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, obtidos pelo método da mesa de tensão denotando alto estado de compactação (Tabela 3) distanciando-se dos valores ideais preconizados por Oliveira & Moniz (1975) e baixa fertilidade química com baixo teor de matéria orgânica, pH de alta acidez, muito baixo teor de fósforo e potássio, médio teor de cálcio, baixo teor de magnésio e baixa saturação por bases (Tabela 4), conforme os limites de interpretação (Rajj et al., 1997), caracterizando a degradação físico-química do solo local.

Tanto isoladamente quanto para a interação entre o lodo de esgoto (LE) e a serragem de madeira (SE), não houve interferência significativa para os atributos estudados (Tabela 5) exceto para a influência do LE, na densidade superficial do solo, demonstrando que os efeitos desse resíduo orgânico somente são observados em longo prazo, fato identificado por Souza et al. (2005) que trabalharam com doses de LE de até 50 t ha<sup>-1</sup>, incorporado na camada de 0-0,10 m em Latossolo Vermelho e verificaram que este resíduo não influenciou a resistência mecânica à penetração (RP) nem a umidade gravimétrica do solo (UG) durante o período de cinco anos após sua aplicação. Resultados semelhantes também foram relatados por Smith et al. (1997) avaliando a RP em silvicultura na África do Sul e Camilotti et al. (2006) cujos trabalhos concluíram que os atributos físicos do solo não foram alterados pela aplicação anual de LE em quatro anos de cultivo de cana-de-açúcar.

Por outro lado, Barbosa et al. (2002) verificaram diminuição da RP na profundidade de 0,10-0,20 m, três anos após a aplicação da dose de 12 t ha<sup>-1</sup> de LE em um Latossolo Vermelho eutroférico; entretanto, os autores relataram que

**Tabela 4.** Análise inicial de alguns atributos químicos para fins de fertilidade do solo

| Profundidade (m) | Atributo químico <sup>(a)</sup> |     |                          |                  |                  |                  |                                  |                  |     | V% (%) |      |
|------------------|---------------------------------|-----|--------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------------------|-----|--------|------|
|                  | MO (g dm <sup>-3</sup> )        | pH  | P (mg dm <sup>-3</sup> ) | Complexo sortivo |                  |                  |                                  |                  | CTC |        |      |
|                  |                                 |     |                          | K <sup>+</sup>   | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> | Al <sup>3+</sup> |     |        | SB   |
| 0-0,10           | 5                               | 4,6 | 1                        | 0,4              | 4                | 2                | 15                               | 1                | 6,4 | 21,4   | 29,9 |
| 0,10-0,20        | 3                               | 4,7 | 2                        | 0,1              | 4                | 2                | 15                               | 1                | 6,1 | 21,1   | 28,9 |
| 0,20-0,30        | 3                               | 4,5 | 2                        | 0,1              | 3                | 2                | 15                               | 1                | 5,1 | 20,1   | 25,4 |

<sup>(a)</sup> MO = matéria orgânica, V% = índice de saturação por bases

**Tabela 5.** Análise de variância e valores médios para resistência mecânica à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG) e densidade do solo (DS)

| FV          | Camada (m)<br>GL | RP (MPa) |           |           | UG (kg kg <sup>-1</sup> ) |           |           | DS (kg dm <sup>-3</sup> ) |           |           |
|-------------|------------------|----------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|
|             |                  | 0-0,10   | 0,10-0,20 | 0,20-0,40 | 0-0,10                    | 0,10-0,20 | 0,20-0,40 | 0-0,10                    | 0,10-0,20 | 0,20-0,40 |
| Valor de F  |                  |          |           |           |                           |           |           |                           |           |           |
| LE          | 3                | 2,6      | 2,4       | 1,4       | 0,8                       | 0,8       | 0,5       | 3,6*                      | 0,3       | 2,0       |
| SE          | 3                | 0,9      | 1,0       | 1,7       | 0,9                       | 0,3       | 1,0       | 0,7                       | 1,6       | 0,4       |
| LE x SE     | 9                | 1,1      | 1,1       | 0,7       | 1,2                       | 0,2       | 2,1       | 0,7                       | 1,1       | 2,0       |
| Fat x Cont  | 1                | 65,2**   | 44,2**    | 6,3*      | 0,3                       | 5,7*      | 1,1       | 17,7**                    | 14,1**    | 0         |
| Tratamentos | 16               | 5,4**    | 4,1**     | 1,3       | 1,0                       | 0,7       | 1,5       | 2,3*                      | 1,9*      | 1,5       |
| Bloco       | 3                | 9,1**    | 6,6**     | 0,2       | 1,2                       | 0,4       | 3,6*      | 4,9**                     | 3,9*      | 2,2       |
| Resíduo     | 48               | -        | -         | -         | -                         | -         | -         | -                         | -         | -         |
| Total       | 67               | -        | -         | -         | -                         | -         | -         | -                         | -         | -         |
| Média geral |                  | 0,933    | 2,110     | 4,638     | 0,153                     | 0,140     | 0,146     | 1,506                     | 1,638     | 1,710     |

\*\* Significativo a 1%; \* Significativo a 5%

LE = Lodo de Esgoto; SE = Serragem de Madeira; Fat = Fatorial; Cont = Controle

essa diferença significativa encontrada pode ter ocorrido em função da aplicação superficial do LE, não influenciando as camadas mais profundas.

Para a interação foi observado somente efeito significativo entre os fatores (LE e SE) e o tratamento controle (T0) para a resistência mecânica à penetração nas três profundidades, umidade gravimétrica na camada 0,10-0,20 m e densidade do solo na superfície e na camada 0,10-0,20m, conforme a Tabela 5. Em relação aos tratamentos a adição do LE e da SE não promoveu alteração significativa nos atributos físicos do solo, não sendo observada diferença entre as quatro doses utilizadas (Tabelas 5 e 6), exceto para a DS, na superfície, apesar de tal diferença ter sido constatada somente entre os tratamentos residuais (LE e SE) e o controle (RP1), além da testemunha (RP2, DS1 e DS2) fato constatado na Tabela 6, ou seja, não

foi verificada diferença significativa entre as doses e fontes orgânicas, concordando com Barbosa et al. (2007) que, ao comparar a testemunha com os tratamentos que receberam o LE caleado, verificaram que a RP e a DS de um Latossolo Vermelho eutroférrico foram significativamente menores ao se lhes aplicar o LE; da mesma forma, Backes (2008) observou, ao analisar a aplicação e o efeito residual do LE em sistemas de produção de tapetes de grama esmeralda em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa, que não houve influência das doses de LE utilizadas (0, 10, 20, 30 e 40 t ha<sup>-1</sup>, base seca) na RP até a profundidade de 0,40 m.

O solo degradado ainda revelou baixo valor (média geral) de RP na primeira camada de solo estudada (RP = 0,933 MPa), mediante classificação apresentada em Dalchiavon et al. (2011) se verifica na Tabela 5; a baixa compactação nessa camada se

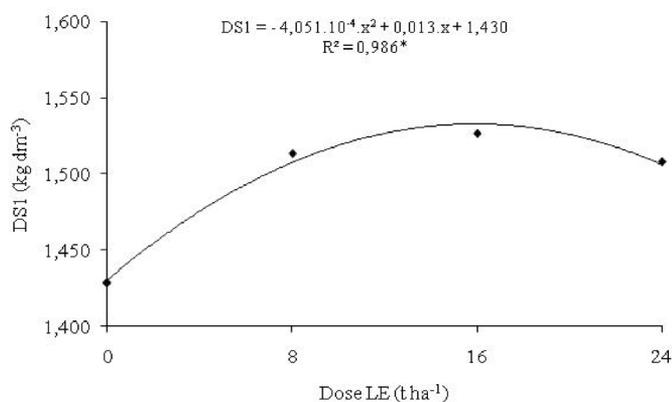
**Tabela 6.** Valores médios dos atributos físicos do solo em função das doses de resíduos orgânicos (lodo de esgoto e serragem de madeira) utilizadas

| Tratamentos | Atributos |             |             |                        |             |             |                        |             |             |
|-------------|-----------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|
|             | RP1       |             |             | UG1                    |             |             | DS1                    |             |             |
|             | 0-0,10 m  | 0,10-0,20 m | 0,20-0,40 m | 0-0,10 m               | 0,10-0,20 m | 0,20-0,40 m | 0-0,10 m               | 0,10-0,20 m | 0,20-0,40 m |
|             | (MPa)     |             |             | (kg kg <sup>-1</sup> ) |             |             | (kg dm <sup>-3</sup> ) |             |             |
| T0          | 2,068 a   | 3,776 a     | 6,701       | 0,126                  | 0,114       | 0,138       | 1,698 a                | 1,759 a     | 1,712       |
| T1          | 0,622 b   | 2,707 ab    | 4,895       | 0,131                  | 0,147       | 0,166       | 1,426 b                | 1,618 ab    | 1,675       |
| T2          | 0,916 b   | 2,408 b     | 5,294       | 0,128                  | 0,142       | 0,127       | 1,470 b                | 1,636 ab    | 1,723       |
| T3          | 0,762 b   | 1,967 b     | 5,063       | 0,135                  | 0,147       | 0,150       | 1,432 b                | 1,577 b     | 1,687       |
| T4          | 0,624 b   | 1,668 b     | 5,659       | 0,135                  | 0,150       | 0,140       | 1,385 b                | 1,672 ab    | 1,806       |
| T5          | 0,684 b   | 1,683 b     | 5,713       | 0,129                  | 0,137       | 0,146       | 1,511 ab               | 1,653 ab    | 1,739       |
| T6          | 0,971 b   | 1,701 b     | 4,027       | 0,136                  | 0,138       | 0,151       | 1,497 b                | 1,633 ab    | 1,748       |
| T7          | 0,718 b   | 1,752 b     | 3,407       | 0,157                  | 0,153       | 0,158       | 1,500 b                | 1,556 b     | 1,709       |
| T8          | 0,809 b   | 1,782 b     | 4,372       | 0,141                  | 0,135       | 0,137       | 1,546 ab               | 1,615 ab    | 1,672       |
| T9          | 1,090 b   | 2,298 b     | 5,254       | 0,157                  | 0,145       | 0,157       | 1,552 ab               | 1,619 ab    | 1,710       |
| T10         | 1,023 b   | 1,772 b     | 3,615       | 0,135                  | 0,137       | 0,141       | 1,546 ab               | 1,583 b     | 1,657       |
| T11         | 1,007 b   | 2,006 b     | 5,042       | 0,148                  | 0,146       | 0,149       | 1,546 ab               | 1,605 b     | 1,693       |
| T12         | 0,705 b   | 1,874 b     | 3,580       | 0,154                  | 0,155       | 0,154       | 1,463 b                | 1,682 ab    | 1,616       |
| T13         | 0,802 b   | 2,103 b     | 4,904       | 0,138                  | 0,140       | 0,137       | 1,498 b                | 1,649 ab    | 1,717       |
| T14         | 0,879 b   | 1,884 b     | 3,580       | 0,143                  | 0,134       | 0,148       | 1,561 ab               | 1,620 ab    | 1,639       |
| T15         | 1,045 b   | 2,185 b     | 4,592       | 0,136                  | 0,134       | 0,133       | 1,521 ab               | 1,673 ab    | 1,806       |
| T16         | 1,134 b   | 2,301 b     | 3,147       | 0,149                  | 0,134       | 0,154       | 1,452 b                | 1,608 b     | 1,755       |
| DMS         | 0,608     | 1,085       | 3,568       | 0,032                  | 0,049       | 0,035       | 0,197                  | 0,146       | 0,193       |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5%

deveu ao considerável conteúdo de água no solo ( $UG1 = 0,153 \text{ kg kg}^{-1}$ ) no momento da avaliação e às operações mecânicas efetuadas durante o preparo do solo e incorporação dos resíduos em superfície; já com referência a RP, na camada intermediária (0,10-0,20 m) e na mais profunda (0,20-0,30 m) do solo, os valores médios verificados no presente estudo são tidos como alto e muito alto, respectivamente, para uma UG média de 0,140 e 0,146  $\text{kg kg}^{-1}$ . O elevado valor médio de RP na camada mais profunda ocorreu em virtude da camada subsuperficial do solo (abaixo de 0,30 m) apresentar concreções e cascalho, uma vez que o processo de retirada de solo para a construção da usina hidrelétrica removeu pelo menos uma camada de 6 metros, chegando muito próximo da região com predominância de material primário. Destaca-se, ainda, que o valor médio da RP na camada superficial para as parcelas com LE e SE foi inferior em 58% ao do controle (Tabela 6) enquanto para a RP na camada intermediária foi 49 e 28% inferior ao controle e à testemunha, respectivamente, evidenciando um importante incremento e efeito desses resíduos em relação ao controle e à testemunha, para os atributos ora mencionados.

Para a DS do solo os valores observados também foram elevados para as três profundidades estudadas (Tabelas 5 e 6), mediante valores ideais preconizados por Oliveira & Moniz (1975) confirmando a compactação do solo. Na Figura 1 está apresentada a regressão da densidade do solo para a camada de 0-0,10 m em função das doses de LE, para a qual foi modelada uma equação polinomial do tipo quadrática, cujo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi 0,986\*; verificou-se, então, que houve diminuição somente da DS para a camada de 0-0,10 m a partir da adição de  $16 \text{ t ha}^{-1}$  de LE, caracterizando o ponto de máximo da função, ou inflexão da parábola, sinalizando que para a maior dose de LE utilizada ( $24 \text{ t ha}^{-1}$ ), a DS foi de  $1,509 \text{ kg dm}^{-3}$ .



**Figura 1.** Equação de regressão da densidade do solo (0-0,10 m) em função das doses de lodo de esgoto aplicadas em um Latossolo Vermelho

Trabalhos desenvolvidos por diversos pesquisadores (Gupta et al., 1977; Cegarra, 1983; Martens & Frankenberger, 1992; Navas et al., 1998; Aggelides & Londra, 2000) apontaram diminuição da densidade do solo em função do aumento do conteúdo de matéria orgânica após aplicação de LE, em solos com classes texturais distintas, que, nos de textura arenosa, o efeito foi mais pronunciado; da mesma forma, Barbosa et al. (2004) encontraram diminuição da densidade, aumento da porosidade total e aeração em Latossolo Vermelho

eutroférico tratado com LE, relacionados ao incremento da matéria orgânica proporcionado pelo tratamento, o que leva a acreditar que tais condições poderiam refletir positivamente na resistência do solo à penetração de vez que esta possui estreita relação com a densidade e porosidade do solo, fato que reforça a importância da utilização de resíduos orgânicos no processo de recuperação de áreas degradadas, vindo ao encontro da necessidade de primar pela sustentabilidade ambiental nos diferentes setores da economia.

## Conclusões

Considerando o tipo de solo e o curto período de estudo (24 meses) após a aplicação do lodo de esgoto e da serragem de madeira e mesmo não se observando efeito significativo dos tratamentos (com exceção do lodo de esgoto na densidade do solo para a camada de 0-0,10 m) sua utilização apresentou pequena melhoria nas condições físicas do solo em relação ao controle.

Há necessidade de se estudar a aplicação desses resíduos por um período maior haja vista que os efeitos esperados são em longo prazo e que os tratamentos demonstraram alguns avanços consideráveis no que diz respeito à recuperação da área degradada.

## Literatura Citada

- Aggelides, S. M.; Londra, P. A. Effects of compost produced from town waster and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology*, v.71, n.1, p.253-259, 2000. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00074-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00074-7)>. 05 Nov. 2012.
- Alves, M. C.; Suzuki, L. G. A.; Suzuki, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.4, p.617-625, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000400002>>. 05 Nov. 2012.
- Andreoli, C. V.; Fernandes, F.; Lara, A. I.; Bonet, B.; Domazak, S. C. A reciclagem agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná. In: *Workshop Sul-Americano Sobre Usos Alternativos de Resíduos de Origem Florestal e Urbana*, 1997, Curitiba. Anais... Curitiba: Embrapa. CNPF/IBAMA/UFPR, 1997. p.83-104.
- Backes, C. Aplicação e efeito residual do lodo de esgoto em sistemas de produção de tapetes de grama esmeralda. Botucatu: FCA/UNESP, 2008. 163p. Tese Doutorado.
- Barbosa, G. M. C.; Tavares Filho, J.; Fonseca, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, v.17, n.1, p.94-101, 2002. <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/AVALIACOESDEPROPRIEDADES.htm>>. 05 Nov. 2012.
- Barbosa, G. M. C.; Tavares Filho, J.; Fonseca, I. C. B. Condutividade hidráulica saturada e não saturada de Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.2, p.403-407, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200019>>. 05 Nov. 2012.

- Barbosa, G. M. C.; Tavares Filho, J.; Fonseca, I. C. B. Efeito do lodo de esgoto em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférrico. *Semina: Ciências Agrárias*, v.28, n.1, p.65-70, 2007. <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2555/2227>>. 05 Nov. 2012.
- Camilotti, F.; Andrioli, I.; Marques, M. O.; Silva, A. R.; Tasso Júnior, L. C.; Nobile, F. O. Atributos físicos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.3, p.738-747, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000300010>>. 05 Nov. 2012.
- Cegarra, J. Utilización y manejo de lodos de aguas residuales urbanas con fines agrícolas: solos ecuatoriales, materia orgánica del solo. *Revista de La Sociedad Colombiana de la Ciencia do Solo*, v.12, n.1, p.151-173, 1983.
- Colodro, G.; Espindola, C. R. Alterações na fertilidade de um Latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.28, n.1, p.1-15, 2006. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v28i1.1137>>. 05 Nov. 2012.
- Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. P.; Nogueira, D. C.; Romano, D.; Abrantes, F. L.; Assis, J. T.; Oliveira, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n.1, p.8-19, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8351>>. 05 Nov. 2012.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.
- Gupta, S. C.; Dowde, R. H.; Larson, W. E. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. *Soil Science Society of America Journal*, v.41, n.3, p.601-605, 1977. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100030035x>>. 05 Nov. 2012.
- Martens, D. A.; Frankenberger Júnior, W. T. Modification of infiltration rates in a organic-amended irrigated soil. *Agronomy Journal*, v.84, n.4, p.707-717, 1992. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400040032x>>. 05 Nov. 2012.
- Melo, W. J.; Marques, M. O.; Melo, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: Tsutiya, M. T.; Comparini, J. B.; Sobrinho, P. A.; Hespanhol, I.; Carvalho, P. C. T.; Melfi, A. J.; Melo, W. J.; Marques, M. O. (Eds.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. Cap.11, p.289-363.
- Montanari, R.; Zambianco, E. C.; Corrêa, A. R.; Pellin, D. M. P.; Carvalho, M. P.; Dalchiavon, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. *Revista Ceres*, v.59, n.1, p.407-410, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000100018>>. 05 Nov. 2012.
- Navas, A.; Bermúdez, F.; Machín J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. *Geoderma*, v.87, n.1, p.123-135, 1998. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00072-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00072-X)>. 05 Nov. 2012.
- Oliveira, J. B.; Moniz, A. C. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Ribeirão Preto, SP. *Bragantia*, v.34, n.1, p.59-114, 1975. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051975000100002>>. 05 Nov. 2012.
- Rajj, B. V.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p.
- Sablowski, A. R. M.; Gonzalez, J. C.; Encinas, J. E. I.; Caldeira-Pires, A.; Gouveia, F. N.; Carneiro, R. Avaliação da cadeia produtiva madeiro-moveleiro no Distrito Federal utilizando a análise de fluxo de substância. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.1, p.38-43, 2007. <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=28>>. 05 Nov. 2012.
- Sediyama, M. A. N.; Santos, M. R.; Salgado, L. T.; Puiatti, M.; Vidigal, S. M. Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.4, p.421-425, 2009. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v4i4a8>>. 05 Nov. 2012.
- Silva, F. A. S.; Azevedo, C. A. V. Versão do programa computacional ASSISTAT para o Sistema Operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.4, n.1, p.71-78, 2002. <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev41/Art410.pdf>>. 05 Nov. 2012.
- Silva, P. R. D.; Landgraf, M. D.; Rezende, M. O. O. Avaliação do potencial agrônomo de vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.4, p.565-571, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i4a909>>. 05 Nov. 2012.
- Smith, C. W.; Johnston, M. A.; Lorentz, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. *Geoderma*, v.78, n.1, p.93-111, 1997. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00029-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00029-3)>. 05 Nov. 2012.
- Souza, Z. M.; Beutler, A. N.; Melo, V. P.; Melo, W. J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.1, p.117-123, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000100013>>. 05 Nov. 2012.