

# NOTA

## ESTABILIDADE DE AGREGADOS E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM LATOSSOLOS ADUBADOS POR CINCO ANOS COM BIOSSÓLIDO<sup>(1)</sup>

Zigomar Menezes de Souza<sup>(2)</sup>, Amauri Nelson Beutler<sup>(2)</sup>,  
Valéria Peruca Melo<sup>(3)</sup> & Wanderley José de Melo<sup>(4)</sup>

### RESUMO

O bioossólido tem sido utilizado para fins agrícolas como fonte de nutrientes e condicionante dos atributos físicos do solo. Objetivou-se avaliar o efeito do bioossólido na estabilidade de agregados e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd) e um Latossolo Vermelho eutroférico argiloso (LVef), em Jaboticabal (SP). Utilizaram-se as doses de 0,0, 25,0, 47,5 e 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca de bioossólido que foi incorporado com grade até 0,1 m, antes da semeadura do milho. As amostras foram coletadas no quinto ano, após a colheita do milho, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 m para determinação da composição granulométrica, matéria orgânica e estabilidade de agregados. A resistência do solo à penetração e umidade do solo foram determinadas até à profundidade de 0,4 m. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com cinco repetições. O diâmetro médio geométrico dos agregados foi maior na camada de 0,0-0,1 m e a partir da aplicação de 47,5 Mg ha<sup>-1</sup> de bioossólido nos dois solos. A aplicação de bioossólido não influenciou na resistência do solo à penetração, tampouco na umidade nos dois solos.

**Termos de indexação:** atributos físicos, matéria orgânica, lodo de esgoto.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em março de 2003 e aprovado em novembro de 2004.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, CEP 14870 000 Jaboticabal (SP). Bolsista da FAPESP. E-mail: amaurib@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Doutoranda do Departamento de Tecnologia, FCAV/UNESP. Bolsista da FAPESP. E-mail: vpmelo@bol.com.br

<sup>(4)</sup> Professor Titular de Bioquímica do Departamento de Tecnologia, UNESP. E-mail: wjmelo@fcav.unesp.br

**SUMMARY:** *AGGREGATE STABILITY AND RESISTANCE TO PENETRATION IN OXISOLS FERTILIZED FOR FIVE YEARS WITH BIOSSOLID*

*Biossolid has been used in agriculture as nutrient source and to improve soil physical attributes. The effect of biossolid on the aggregate stability and soil penetration resistance of a medium texture Oxisol (LVd) and clayey Oxisol (LVef) in Jaboticabal (SP) were evaluated. Dry biossolid mass was applied with a harrow at rates of 0.0, 25.0, 47.5, 50.0 Mg ha<sup>-1</sup>, incorporated at 0.1 m depth before sowing the maize. Samples were collected in the fifth year after the maize harvest from the 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3 m layers to determinate the texture, organic matter and aggregate stability. The soil penetration resistance and soil moisture were determined down to a depth of 0.4 m. The complete random block design was used in five replications. The mean geometric aggregate diameter was greatest in the 0.0-0.1 m layer and at biossolid applications above 47.5 Mg ha<sup>-1</sup> in both soils. The application of 50.0 Mg ha<sup>-1</sup> biossolid did not significantly modify the soil resistance to penetration or the soil moisture in both soils.*

*Index terms: physical attributes, organic matter, sewage sludge, biossolid.*

## INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um subproduto das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) de cidades e indústrias, o qual, após devidamente tratado e seco, é denominado biossólido (Melo et al., 2001). Este é um resíduo de grandes utilidades para fins agrícolas, quer como condicionante das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em virtude de seu conteúdo de material orgânico, quer como fonte de nutrientes para as plantas cultivadas, em virtude de sua composição química (Melo et al., 1994).

Em solos tropicais, onde a matéria orgânica desempenha papel de fundamental importância, a utilização de biossólido torna-se uma alternativa viável para a elevação dos teores de matéria orgânica. Entretanto, dada a presença de metais pesados neste material, deve-se evitar a utilização de doses excessivas, as quais são calculadas de acordo com teor inicial de metais pesados no solo; quantidade total adicionada de metais pesados; carga total cumulativa de elementos metálicos; toxidez desses elementos para as plantas; valores limites de concentração de metais pesados nos solos; interação entre os elementos e características dos solos; e sensibilidade da planta (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

Na literatura, encontram-se vários trabalhos que evidenciam o efeito benéfico da matéria orgânica na estabilidade de agregados (Wei et al., 1985; Jorge et al., 1991; Hadas et al. 1994; Campos et al., 1995; Albiach, 1997; Martinez-Mena et al., 1998; Beutler et al., 2001; Grandy et al., 2002; Whalen & Chang, 2002) e na resistência do solo à penetração (Kumar et al., 1985; Smith et al., 1997). A aplicação de biossólido, além de aumentar o teor de matéria orgânica, pode aumentar a agregação e alterar a proporção de agregados estáveis em água (Jorge et

al., 1991). Epstein (1975) verificou maior estabilidade de agregados em solo que recebeu adição de lodo de esgoto, enquanto Jorge et al. (1991), estudando a adição de lodo de esgoto em Latossolo Vermelho, verificaram aumento da agregação do solo em relação à testemunha. Aggelides & Londra (2000) observaram redução da resistência à penetração com aplicação de lodo de esgoto e lixo urbano.

A grande produção de biossólido nos centros urbanos levou pesquisadores a intensificarem os estudos para utilização desses resíduos para fins agrícolas. Entretanto, poucos estudos têm sido realizados recentemente sobre a influência do biossólido nos atributos físicos do solo, principalmente sobre a resistência do solo à penetração (Aggelides & Londra, 2000).

Este estudo teve o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de biossólido durante cinco anos na estabilidade de agregados e na resistência à penetração de dois Latossolos cultivados com milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho distrófico típico textura média A moderado caulinitico (LVd) e em um Latossolo Vermelho eutroférico típico textura argilosa A moderado caulinitico-oxidico (LVef) (Quadro 1), localizados na fazenda de ensino e pesquisa da FCAV/UNESP de Jaboticabal (SP). A área do experimento está localizada entre as coordenadas 21° 04' e 21° 21' de latitude Sul e 48° 08' e 48° 26' de longitude Oeste. O clima é o mesotérmico de inverno seco (Cwa) pelo critério de classificação climática de Köppen.

Utilizaram-se as seguintes doses de massa seca de biossólido (Quadro 2), obtidos na Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Barueri (SP), administrada pela SABESP: 0,0; 25,0; 47,5 e 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> aplicadas manualmente na superfície e incorporadas até 0,1 m de profundidade com grade, antes da semeadura do milho. No tratamento de 25,0 e 50,0 Mg ha<sup>-1</sup>, foram aplicados 5,0 e 10,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de biossólido e, no tratamento de 47,5 Mg ha<sup>-1</sup>, foram aplicados 2,5 Mg ha<sup>-1</sup>, durante três anos, e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup>, nos dois últimos anos. O milho foi semeado anualmente no espaçamento de 0,9 m e adubado de acordo com as recomendações técnicas para a cultura.

As amostras de solo foram coletadas em abril de 2002, no quinto ano do experimento, após a colheita do milho, nas camadas de 0,0–0,1; 0,1–0,2 e 0,2–0,3 m. As amostras deformadas foram passadas em peneira de 2 mm para determinação da composição granulométrica por meio da dispersão com água e NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação lenta (16 h), tendo sido a argila obtida pelo método da pipeta, segundo Embrapa (1997). O C orgânico foi obtido por oxidação (Embrapa, 1997) e a MO, multiplicando-se o C orgânico pelo fator 1,724. As amostras indeformadas foram secas ao ar e passadas na peneira de 7,93 mm para determinação da estabilidade de agregados após pré-umedecimento com álcool, segundo método da Embrapa (1997), utilizando as peneiras com abertura de malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,125 mm e agitação lenta por 15 min.

A resistência do solo à penetração foi determinada nas camadas de 0,0–0,1; 0,1–0,2; 0,2–0,3 e 0,3–0,4 m, na entrelinha da cultura, com o penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planalsucar- Stolf) (Stolf et al., 1983), com ângulo de cone de 30 °, sendo os cálculos realizados, segundo Stolf (1991). A umidade do solo foi determinada, nas mesmas camadas, em amostras retiradas com trado holandês, as quais foram secas em estufa a ± 105 °C durante 24 h, segundo método da Embrapa (1997).

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro doses de biossólido e cinco repetições, tendo cada parcela a dimensão de 54 m<sup>2</sup>. Realizou-se a análise de variância, e, quando significativa, aplicou-se o teste de Tukey a 5 %, para comparação das médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do biossólido varia de acordo com o local de origem, ou seja, se de uma área tipicamente residencial ou tipicamente industrial, tendo como principais vantagens os elevados teores de MO (40–60 %), macro e micronutrientes, os quais exercem papel fundamental na produção agrícola (Melo et al., 2001). O biossólido utilizado no experimento apresentou teores de metais pesados dentro dos valores permitidos pela legislação, inclusive Cd, Pb e Ni.

**Quadro 1. Caracterização granulométrica em diferentes camadas no Latossolo Vermelho distrófico típico e Latossolo Vermelho eutroférico típico**

Atributo físico	Camada (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	g kg <sup>-1</sup>					
	Latossolo Vermelho distrófico típico			Latossolo Vermelho eutroférico típico		
Areia grossa	389	349	356	90	86	77
Areia fina	298	311	296	128	125	125
Silte	68	62	63	297	281	273
Argila	245	278	285	485	508	525

**Quadro 2. Caracterização química do biossólido da Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri (SP)**

Macronutriente					Micronutriente			
N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Pb
g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
36,54	17,15	1,62	26,95	3,68	248	20.294	2.717	219

A adição de biossólido proporcionou incrementos significativos nos conteúdos de MO na camada de 0,0 a 0,1 m no LVd e LVef (Quadro 3), condizente com a incorporação nesta profundidade, confirmando os estudos de Wei et al. (1985) e Albiach et al. (2001). Neste sentido, Melo (2002) não verificou diferenças significativas após três anos de aplicação das mesmas doses de biossólido. Nas camadas de 0,1 a 0,3 m, não houve diferença nos teores de MO entre tratamentos e profundidades.

O maior teor de MO com aplicação de biossólido na camada de 0,0–0,1 m resultou em maior estabilidade de agregados nos dois solos, verificados pelo diâmetro médio geométrico (DMG) e agregados > 2 mm (Quadro 4), concordando com os estudos de Wei et al. (1985), os quais verificaram que a utilização de lodo de esgoto aumentou o teor de MO, a estabilidade de agregados e o índice de agregação. A maior agregação atribuída ao aumento no teor de MO deve-se ao fato de ela apresentar grande superfície específica e capacidade de troca de cátions, possibilitando maior número de ligações eletrostáticas entre esta e as partículas de solo. Além disso, a sua decomposição por microrganismos resulta na formação de inúmeros compostos importantes na cimentação e estabilização dos agregados (Angers, 1992). Esse efeito pronunciado da MO na agregação é demonstrado, ao verificar-se maior estabilidade de agregados, quando da aplicação anual do biossólido em superfície e incorporação na camada de 0,0–0,1 m, uma vez que o revolvimento causado com a grade tem o efeito de fragmentar os agregados do solo.

O DMG foi superior na camada de 0,0–0,1 m nos dois solos, a partir da dose de 47,5 Mg ha<sup>-1</sup>, de biossólido, sendo inferior ao obtido na dose de 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> (Quadro 4). Na dose de 25,0 Mg ha<sup>-1</sup>, não houve diferença significativa, quando comparado com a testemunha. Jorge et al. (1991), utilizando 10,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de lodo de esgoto com e sem calcário em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso

cultivado com milho, verificaram o aumento do índice de agregação após quatro anos. Neste contexto, Albiach (1997) verificou maior estabilidade de agregados com a aplicação de 24,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de lodo de esgoto durante cinco anos, enquanto, Logan & Harrison (1995) verificaram maior agregação após um ano de aplicação de lodo de esgoto. O maior DMG na dose de 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> deveu-se possivelmente à adição gradual de 10,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de biossólido, comparado à dose de 47,5 Mg ha<sup>-1</sup> que recebeu altas doses apenas nos dois últimos anos de cultivo.

O aumento da agregação, inclusive no LVef, com a aplicação de biossólido é destacável, uma vez que o LVef apresentou maior estabilidade natural de agregados decorrente do maior teor de MO e, ainda, segundo Ferreira et al. (1999), dos óxidos de Fe e Al que conferem a formação de uma microestrutura estável a esse solo. Assim, segundo Jorge et al. (1991), é previsível que apenas uma grande variação nos fatores de formação dos agregados, em especial o incremento nos teores de MO, poderia ter um efeito apreciável na estabilidade de agregados. Maior agregação com a aplicação de lodo de esgoto em Latossolos oxidícos também foi observada por Epstein (1975) e Jorge et al. (1991).

Nos dois solos, observou-se maior agregação na camada de 0,0–0,1 m em relação à de 0,1–0,2 m e 0,2–0,3 m, tendo sido verificado no LVef maior DMG com a aplicação de biossólido nas camadas de 0,1–0,2 e 0,2–0,3 m. Isto não foi observado no LVd, possivelmente em razão do alto coeficiente de variação dos resultados (28,72 %) em relação ao LVef (7,99 %), fato que não permitiu obter diferenças estatísticas entre as camadas no LVd. Além disso, segundo Melo et al. (2004), o LVef apresentou maior porosidade comparado ao LVd, o que, segundo Ferreira et al. (1999), facilitou a percolação de água e lixiviação de íons em profundidade, os quais atuavam na agregação do solo, aumentando, assim, a agregação em camadas mais profundas.

**Quadro 3. Conteúdo de matéria orgânica no solo para diferentes doses de biossólido e camadas no Latossolo Vermelho distrófico típico e Latossolo Vermelho eutroférico típico**

Dose de biossólido	Camada (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
Mg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					
	Latossolo Vermelho distrófico típico			Latossolo Vermelho eutroférico típico		
0,0	16,60 Ca	13,40 Ab	11,20 Ab	28,40 Ca	21,00 Ab	18,80 Ab
25,0	20,40 Ba	13,20 Ab	11,00 Ab	31,00 Ba	22,00 Ab	20,40 Ab
47,5	27,00 Aa	12,80 Ab	10,80 Ab	38,00 Aa	21,20 Ab	19,00 Ab
50,0	26,40 Aa	13,20 Ab	11,40 Ab	36,60 Aa	22,40 Ab	20,40 Ab
C.V. (%)	9,38			8,28		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, para a mesma variável e solo, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

**Quadro 4. Diâmetro médio geométrico (DMG), agregados maiores que 2 mm e menores que 1 mm para diferentes doses de biossólido e camadas no Latossolo Vermelho distrófico típico e Latossolo Vermelho eutroférico típico**

Dose de biossólido	Camada (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
Mg ha <sup>-1</sup>	Latossolo Vermelho distrófico típico			Latossolo Vermelho eutroférico típico		
	Diâmetro médio geométrico, mm					
0,0	1,16 Ca	0,42 Ab	0,42 Ab	2,12 Ca	0,84 Bb	0,70 Bb
25,0	1,38 Ca	0,44 Ab	0,48 Ab	2,21 BCa	0,86 Bb	0,89 Ab
47,5	2,02 Ba	0,55 Ab	0,49 Ab	2,41 Ba	1,19 Ab	0,97 Ab
50,0	2,59 Aa	0,60 Ab	0,55 Ab	3,29 Aa	1,24 Ab	1,09 Ab
C.V. (%)		28,72			7,99	
	Agregados > 2 mm, %					
0,0	40,75 Ca	6,77 Ab	7,10 Ab	62,00 Ba	28,85 Ab	15,30 Cb
25,0	50,71 BCa	8,84 Ab	8,68 Ab	64,42 Ba	25,91 Ab	23,95 BCb
47,5	65,88 ABa	11,28 Ab	9,91 Ab	55,79 Ba	32,69 Ab	27,85 ABb
50,0	73,64 Aa	14,78 Ab	10,68 Ab	80,79 Aa	35,13 Ab	31,85 Ab
C.V. (%)		28,51			10,49	
	Agregados < 1 mm, %					
0,0	49,03 Ab	80,31 Aa	81,17 Aa	25,85 Ab	54,45 Aa	61,09 Aa
25,0	39,01 Ab	75,04 Aa	78,07 Aa	23,47 Ab	51,97 Aa	54,97 Ba
47,5	28,89 Bb	71,41 Aa	76,26 Aa	21,70 Ac	44,74 Bb	52,35 Ba
50,0	20,62 Bb	70,23 Aa	73,41 Aa	12,29 Bc	42,18 Bb	48,81 Ba
C.V. (%)		12,42			6,74	

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, para a mesma variável e solo, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

Na classe de agregados maiores que 2 mm, foram encontrados valores superiores na camada de 0,0–0,1 m a partir da dose de 47,5 e 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> de biossólido, no LVd e LVef, respectivamente, confirmando os estudos de Jorge et al. (1991), que verificaram valores superiores de agregados > 2 mm com aplicação de 10,0 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto durante quatro anos em Latossolo Vermelho argiloso. Na camada de 0,1–0,3 m, não houve incremento significativo na classe de agregados > 2 mm com a aplicação de biossólido, com exceção da camada de 0,2–0,3 m no LVef.

Observaram-se, para a classe de agregados < 1 mm, valores inferiores na camada de 0,0–0,1 m do LVd e, a partir da dose de 47,5 e 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> de biossólido no LVef, confirmando os estudos de Jorge et al. (1991). No LVef, ocorreu efeito benéfico do biossólido na agregação, com menor percentagem de agregados na classe < 1 mm a partir de 47,5 Mg ha<sup>-1</sup>, não verificado no LVd.

Para a resistência do solo à penetração e umidade do solo, a análise de variância não mostrou interação entre as doses de biossólido e a profundidade nos dois solos. A aplicação de até 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> de biossólido não alterou significativamente a

resistência do solo à penetração e a umidade nos dois solos (Quadro 5). Já Aggelides & Londra (2000) verificaram menor resistência do solo à penetração a partir da aplicação de 78,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de uma mistura de 62 % de lixo doméstico, 21 % de lodo de esgoto e 17 % de serragem a 0,15 m de profundidade em um solo argiloso. Neste sentido, Smith et al. (1997) não observaram diferença nos valores de resistência à penetração, quando os solos apresentavam mais de 300 g kg<sup>-1</sup> de argila de acordo com a variação de 1,6 a 57,7 g kg<sup>-1</sup> do teor de MO, sendo verificada a influência desta em solos arenosos.

O menor valor de resistência do solo à penetração foi observado na camada de 0,0–0,1 m, graças ao revolvimento anual do solo nesta profundidade, o qual proporciona uma descompactação dessa camada (Quadro 5). A MO não teve efeito, uma vez que teve a amplitude das variações semelhante entre os tratamentos e não alterou significativamente os valores de resistência à penetração.

Verificou-se incremento da umidade e resistência do solo à penetração (Quadro 5), bem como redução do teor de MO com a profundidade (Quadro 3). Este resultado confirma os estudos de Beutler et al.

**Quadro 5. Resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica em diferentes doses de biossólido e camadas no Latossolo Vermelho distrófico típico e Latossolo Vermelho eutroférico típico**

Dose de biossólido	Camada (m)							
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4
Mg ha <sup>-1</sup>	Latossolo Vermelho distrófico típico				Latossolo Vermelho eutroférico típico			
	Resistência do solo à penetração, MPa							
0,0	1,58 Ac	2,58 Aa	2,39 Aab	2,39 Ab	1,68 Ab	2,57 Aa	2,76 Aa	2,87 Aa
25,0	1,48 Ac	2,46 Aa	2,29 Aab	2,10 Ab	1,96 Ab	3,30 Aa	3,68 Aa	3,64 Aa
47,5	1,59 Ac	2,42 Aa	2,20 Aab	1,78 Ab	1,50 Ab	2,57 Aa	2,63 Aa	2,73 Aa
50,0	1,22 Ac	2,32 Aa	2,20 Aab	1,97 Ab	1,28 Ab	2,83 Aa	3,39 Aa	3,19 Aa
	Umidade gravimétrica, dag kg <sup>-1</sup>							
0,0	12,71 Ac	13,83 Abc	14,70 Ab	15,56 Aa	24,29 Ac	25,73 Abc	26,24 Aba	26,91 Aa
25,0	14,65 Ac	14,81 Abc	15,37 Ab	16,54 Aa	25,40 Ac	25,69 Abc	26,22 Aba	26,64 Aa
47,5	14,14 Ac	14,23 Abc	14,97 Ab	16,43 Aa	25,68 Ac	26,07 Abc	26,30 Aba	27,29 Aa
50,0	13,93 Ac	14,63 Abc	15,51 Ab	16,50 Aa	26,41 Ac	26,36 Abc	27,01 Aba	27,13 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, para a mesma variável e solo, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

(2002), que notaram maior influência da densidade do solo na retenção de água em relação à MO.

## CONCLUSÕES

1. A aplicação de 50 Mg ha<sup>-1</sup> de biossólido de lodo de esgoto aumentou a agregação do solo na camada de 0,0–0,1 m, onde foi incorporada.

2. A aplicação de biossólido não influenciou sobre a resistência do solo à penetração, tampouco sobre a umidade nos dois solos.

## LITERATURA CITADA

- AGGELIDES, S.M. & LONDRA, P.A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Biores. Technol.*, 71:253-259, 2000.
- ALBIACH, R. Estudio de varios índices de actividad biológica del suelo en relación a diferentes aportaciones de enmiendas orgánicas. Valencia, University of Valencia Publishing Service, 1997. 190 p.
- ALBIACH, R.; CANET, R.; POMARES, F. & INGELMO, F. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Biores. Technol.*, 77:109-114, 2001.
- ANGERS, D.A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1244-1249, 1992.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:829-834, 2002.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, I.A. & CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:129-136, 2001.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLodi, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:121-126, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- EPSTEIN, E. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. *Environ. Qual.*, 4:139-142, 1975.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999.
- GRANDY, A.S.; PORTER, G.A. & ERICH, M.S. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1311-1319, 2002.
- HADAS, A.; RAWITZ, E.; ETKIN, H. & MARGOLIN, M. Short-term variations of soil physical properties as function of the amount and C/N ratio of decomposing cotton residues. I. Soil aggregation and aggregate tensile strength. *Soil Till. Res.*, 32:183-198, 1994.

- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:237-240, 1991.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Flórida, CRC Press, 1992. 365p.
- KUMAR, S.; MALLIK, R.S. & DAHIYA, I.S. Influence of different wastes upon water retention, transmission and contact characteristics of sandy soil. *Aust. J. Soil Res.*, 23:131-136, 1985.
- LOGAN, T.J. & HARRISON, B.J. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-Viro soil) and their effects on soil physical properties. *J. Environ. Qual.*, 24:153-164, 1995.
- MARTINEZ-MENA, M.; WILLIAMS, A.G.; TERNAN, J.L. & FITZJOHN, C. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment. *Soil Till. Res.*, 48:71-80, 1998.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A. & LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:449-455, 1994.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O. & MELO, V.P. O uso agrícola e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T., ed. *Biossólido na agricultura*. São Paulo, SABESP, 2001. p.289-363.
- MELO, V.P. Propriedades químicas e disponibilidade de metais pesados para a cultura do milho em dois Latossolos que receberam a adição de biossólido. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2002. 134p. (Tese de Mestrado)
- MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F. & MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:67-72, 2004.
- 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*, 78:93-111, 1997.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:229-235, 1991.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Série penetrômetro de impacto - Boletim, 1)
- WEI, Q.F.; LOWERY, B. & PERTERSON, A.E. Effect of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. *J. Environ. Qual.*, 14:178-180, 1985.
- WHALEN, J.K. & CHANG, C. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1637-1647, 2002.