

11

Atributos Físicos e Hídricos em Solo Tratado com Lodo de Esgoto

José Ronaldo de Macedo; Manoel Dornelas de Souza; Klaus Reichardt e Osny Oliveira Santos Bacchi

Introdução

Resultados de pesquisa sobre os efeitos do lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo, já existem na literatura pertinente. Eles mostram que esses efeitos são causados, principalmente, pela grande quantidade de matéria orgânica nele presente (Bernardes, 1982). Após a incorporação de lodo de esgoto, as propriedades físicas como: densidade, porosidade, capacidade de retenção de água, estabilidade dos agregados, compactação superficial (selamento), resistência à penetração, infiltração da água, condutividade hidráulica e capacidade térmica do solo, podem sofrer alterações favoráveis ou não (Epstein, 1975; Moraes, 1990; Logan & Harrison, 1995; Logan et al., 1996; Marciano, 1999; Bettiol & Camargo, 2000).

Alguns autores (Cegarra (1983), Gupta et al. (1977), Martens & Frankenberger (1992), Navas et al., (1998) e Aggelides & Londra (2000)) verificaram uma diminuição da densidade em função do conteúdo de matéria orgânica, após aplicação de lodo de esgoto, em solos com classes texturais distintas, sendo que nos de textura arenosa, o efeito foi mais pronunciado. Outros autores ainda [Mbagwu & Piccolo (1990) e Martens & Frankenberger (1992)] observaram que, além da diminuição na densidade, houve, ainda, uma elevação na estabilidade dos agregados do solo em água.

Martens & Frankenberger (1992) sugeriram que a diminuição da densidade do solo, sobre as aplicações orgânicas iniciais, foi resultado do efeito da diluição dos materiais orgânicos adicionados com menor densidade

do que o da fração mineral. O efeito da diluição, provavelmente, tem influência na diminuição da densidade do solo em virtude da inclusão de grandes quantidades de corretivos orgânicos nas amostras indeformadas. Porém, adições posteriores de matéria orgânica não induziram grandes decréscimos na densidade do solo, fato que pode ser conseqüência da maior rapidez na taxa de decomposição de certos resíduos orgânicos. Foi verificado, ainda, que a decomposição da matéria orgânica foi, notavelmente, menor na primeira aplicação do que na segunda. A diminuição da incorporação orgânica no solo resultou em maiores diferenças medidas entre os tratamentos orgânicos. Isso pode ter ocorrido em função do clima frio, durante os meses de inverno, baixando a decomposição microbiológica dos corretivos e permitindo, assim, uma maior permanência no solo. Ainda, de acordo com eles, foi observado que todos os materiais orgânicos agem positivamente no decréscimo da densidade do solo, incluindo o lodo de esgoto.

A adição de lodo de esgoto melhora a agregação e incrementa a porosidade total do solo (Cegarra, 1983; Navas et al., 1998; Aggelides & Londra, 2000), ainda que a agregação diminua com o tempo à medida em que a matéria orgânica do solo se mineraliza. A matéria orgânica do lodo de esgoto, juntamente com as partículas do solo, liga-se formando agregados, exercendo um efeito significativo na estrutura do solo, reduzindo a sua densidade e incrementando a porosidade e a distribuição de poros (Gupta et al., 1977). Como conseqüência, ocorre o aumento das taxas de infiltração e reduções das perdas de água e de solo por escorrimento superficial.

Quanto às propriedades de transmissão da água, Kumar et al. (1985) afirmaram que, se o solo, a princípio, já possui propriedades favoráveis ao rápido caminhamento da água, seja por apresentar uma boa estrutura, seja por possuir uma textura arenosa, não haverá incrementos significativos naquelas. Os mesmos autores, trabalhando com solo arenoso, encontraram reduções marcantes no coeficiente de penetração, na infiltração horizontal acumulada e na condutividade hidráulica do solo saturado $K(\theta)$, em função de adições de materiais orgânicos. A máxima redução da $K(\theta)$ foi verificada na aplicação do lodo industrial (93%), sendo, também, elevada para os

outros resíduos (82% para esterco de curral, 78% para adubo verde e 62% para lodo de esgoto).

Wong & Ho (1991) concluíram que a capacidade de retenção de água aumenta conforme a dose de lodo de esgoto, graças a diminuição na densidade do solo e ao aumento da porosidade. A condutividade hidráulica do solo saturado $K(q)$, que também está relacionada com sua porosidade, aumenta com a adição de matéria orgânica (MO). O aumento na $K(q)$ deve-se ao aumento no tamanho dos poros e também ocorre estabilização das paredes dos poros ocasionada pelos cátions polivalentes, do lodo de esgoto, tornando-as mais resistentes ao movimento da água. Esta ação estabilizante diminui quando a mineralização ocorre. No final, há o colapso dos vazios e a $K(q)$ diminui.

Muitas vezes, elevadas taxas de adição de lodo, ou outro material orgânico, são necessárias para induzir mudanças estatisticamente significativas na condutividade hidráulica do solo saturado (Jacobowitz & Steenhuis, 1984; Wei et al., 1985). Logan et al. (1996), mesmo aplicando 25% (à base de massa) de lodo de esgoto, puro ou tratado com o resíduo gorduroso "Olestra", não obtiveram efeitos significativos sobre a $K(q)$, independentemente da textura do solo. Já outros autores (Epstein, 1975; Gupta et al. 1977; Chang et al, 1983; Wei et al., 1985 e Marciano, 1999) obtiveram valores maiores para $K(q)$ nas parcelas tratadas com lodo, em comparação com as parcelas testemunhas, numa ampla faixa de textura.

Por outro lado, Wong & Ho (1991) observaram uma diminuição no conteúdo de água no solo com a aplicação crescente de lodo. A explicação para esse fato é que a adição de lodo aumentou a porosidade total do solo, principalmente dos macroporos que não são os espaços vazios responsáveis pelo estoque de água e por isso, ocorreu a redução da capacidade de retenção de água. Este fato, porém, beneficiaria o crescimento das plantas pelo incremento da aeração do solo e redução do risco de inundação, demonstrando que a interpretação dos , bem como sua importância, devem ser específicos a cada situação.

Metodologia

As metodologias de coletas e análises das amostras de solo do ano agrícola de 2001/2002 estão descritos em Klute (1986) e em Embrapa (1997). Todas as amostras foram coletadas após a colheita do milho.

As doses de lodo de esgoto utilizadas estão apresentadas no capítulo 1, sendo que no presente estudo foi amostrado solo de quatro safras.

Densidade do solo

A densidade do solo (ρ_s) é, por definição, a razão entre a massa dos sólidos (m_s) e o volume total (V_T) da amostra indeformada. Para determiná-la, amostras indeformadas de solo foram coletadas com anel de Kopeck, com borda bixelada, e volume interno de 50 cm^3 , segundo Lemos & Santos (1996). A coleta ocorreu em três etapas: na primeira etapa coletaram-se 5 amostras de solo por parcela experimental, na profundidade de 3 – 8 cm, logo abaixo da camada com selamento superficial. Na segunda e terceira etapas, coletaram-se 3 amostras por parcela experimental na camada superficial do solo (profundidade de 0 a 5 cm) e nove amostras de solo sob mata natural. Nas amostras determinaram-se a densidade do solo, sendo que as referentes às duas últimas coletas houve a determinação da densidade do solo na área do selamento superficial (via tomografia computadorizada e via transmissão de raios gama), a porosidade, a curva de retenção de água (CRA) e a condutividade hidráulica do solo saturado.

Densidade do solo via anel volumétrico

A densidade do solo ρ_s (kgdm^{-3}) foi obtida dividindo-se a massa da amostra indeformada (m_a) pelo volume ocupado (V_T) (equação 1). A ρ_s considerada foi a média de 15 e 9 amostras, respectivamente da primeira e das duas últimas coletas.

$$\rho_s = m_a / V_T \quad (1)$$

Porosidade total

A porosidade total do solo (α) representa uma medida do espaço poroso, ou seja, é um índice que quantifica a fração do volume do solo ocupada pelos poros, que pode ser determinada por meio da quantificação da percentagem de saturação da amostra em volume, conforme Embrapa (1997) (Equação 2).

$$\alpha = \frac{V_p}{V} = \frac{V_{ag} + V_{ar}}{V} = \frac{V - V_s}{V} \rightarrow (m^3 m^{-3}) \quad (2)$$

Com a definição de densidades de partículas e do solo, é possível se obter a seguinte expressão para o cálculo da porosidade, denominada calculada (Equação 3).

$$\alpha = (1 - \rho_s / \rho) \quad (3)$$

Macro e microporosidade

Foram determinadas pelo método da mesa de tensão. As amostras saturadas foram pesadas e colocadas na mesa com potencial de 0,006 MPa. Após o equilíbrio, as amostras foram pesadas, antes e depois de ir a estufa a 105°C. Considerando-se a densidade da água igual a 1, o volume ocupado pela mesma é igual, em número, a sua massa, então:

$$(m_{\text{água}} \times 100) / V_{\text{anel}} = \text{porosidade de interesse} \quad (4)$$

Ou seja, utilizando-se a massa de água encontrada entre a saturação e o equilíbrio a 0,006 MPa, tem-se a macroporosidade, e com a massa de água encontrada entre o equilíbrio e o peso seco tem-se a microporosidade.

Curva de retenção de água no solo

As amostras de solo, inicialmente saturadas por 48 horas, foram colocadas em contato com a superfície da placa porosa, também saturada. Em seguida, o conjunto (amostras e placa) foi disposto no interior da câmara e submetido a uma determinada pressão, maior que a atmosférica, promovendo a expulsão de uma fração do volume de água do solo, cuja energia de retenção foi menor do que a pressão aplicada. Após a completa expulsão da água, atingiu-se uma nova situação de equilíbrio, que, submetida à pressão (h) aplicada e registrada em um manômetro, representou o valor do potencial mátrico ψ_m associado à água retida no solo. Nas amostras coletadas, conforme o item anterior, foram determinados os seguintes potenciais: 0,01; 0,033; 0,1 MPa.

Para se determinar a água retida no potencial de 0,006 e 0,01 MPa foi utilizada a mesa de tensão, e nos potenciais maiores empregou-se o método da “panela de pressão” de Richards, utilizando a placa de cerâmica de 0,1 MPa, conforme descrito em Hillel et al. (1972) e Kiehl (1979).

Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica $K(q)$ do solo saturado com carga constante (Green et al., 1986 e Embrapa, 1997) foi determinada no laboratório do Departamento de Física de Solos do CENA/USP. Foram realizadas 118 determinações, correspondentes a três repetições de cada uma das 36 parcelas experimentais, mais nove amostras de solo sob mata nativa. Essas determinações foram feitas nos anéis de Kopeck.

Taxa de infiltração de água no solo

Foram realizados 39 testes de infiltração, *in situ*, no ano agrícola de 2001/2002 (quarto plantio), (Embrapa, 1997). Os testes foram efetuados no centro de cada parcela experimental, numa área de 1 m², delimitada com folhas de flandes. No centro de cada uma dessas áreas foi instalado um tubo de acesso para acompanhamento do umedecimento do solo. Adicionalmente, foram efetuados três testes de infiltração numa área sob mata nativa próxima

ao experimento, de modo a se obter uma referência do solo sem qualquer tipo de manejo. As leituras com a sonda de nêutrons foram realizadas antes e após cada teste de infiltração. Após os testes de infiltração, essas áreas foram cobertas com plástico preto e, diariamente, foram feitas leituras com a sonda durante dez dias e, depois, semanalmente, durante seis semanas.

Resultados e discussão

Os dados da Tabela 1 expressam os valores médios de densidade dos solos obtidos após o quarto cultivo, pelos métodos do anel volumétrico, de atenuação de raios gama e de tomografia computadorizada. As observações referentes à densidade do solo via, anel volumétrico, corresponderam à média de nove anéis, por tratamento. Já os dados obtidos com a transmissão de raios gama corresponderam a média de nove anéis por profundidade (0,3, 0,5 e 1,2 cm). Finalmente, os dados de tomografia computadorizada corresponderam a média de três amostras por tratamento.

Tabela 1. Densidades médias de solo obtidas por meio de três diferentes métodos, em função da aplicação de doses de lodo de esgoto de Franca e de adubação mineral.

Tratamento	T ABS	NPK	1 N	2 N	4 N	8 N
Método	----- kg dm ⁻³ -----					
Anel Volumétrico	1,04	1,09	1,02	1,05	1,07	1,01
Raios Gama	1,14	1,08	1,08	1,09	1,15	1,12
Tomografia computadorizada	1,10	1,00	1,05	1,02	1,02	1,09

As doses de lodo foram calculadas tendo como base o teor de nitrogênio nos mesmos, de forma a suprir a necessidade de N do milho em 1, 2, 4 e 8 vezes, além dos tratamentos testemunha sem aplicação de lodo (TABS) e fertilização mineral(NPK) recomendada para o milho.

Os valores médios da densidade do solo não diferiram em relação aos três métodos utilizados. De fato, esses valores médios situaram-se em torno de 1,07 kg dm⁻³, variando de 1,00 a 1,15 kg dm⁻³ (Tabela 1).

Os resultados obtidos são contraditórios em relação aqueles encontrados na literatura pertinente, que afirmam que a adição de matéria orgânica no solo diminui a densidade do solo (Gupta et al., 1977; Mbagwu & Piccolo, 1990; Martens & Frankenberger, 1992).

Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais da Agricultura

Após a quarta aplicação consecutiva, os resultados da densidade do solo (Tabela 2) mostraram que a aplicação de lodos, proveniente das duas Estações de Tratamentos de Esgotos (ETEs), não promoveu alterações significativas neste atributo físico, o que se contrapõe a maior parte da literatura científica sobre o assunto. Este fato deve ser entendido como um efeito prejudicial, tanto do preparo do solo (aração + gradagem), quanto da incorporação do lodo de esgoto com a enxada rotativa, que conseguem neutralizar possíveis benefícios com a aplicação da matéria orgânica oriunda do lodo. Os resultados descritos na literatura sobre os efeitos da aplicação de resíduos orgânicos no solo, relatam que a aplicação de matéria orgânica ao solo promove uma melhoria de sua estrutura e, como conseqüência, uma redução da densidade (Gupta et al., 1977; Cegarra, 1983; Marten & Frankenberger, 1992; Navas et al., 1998; Aggelides & Londra, 2000).

Cameron (1997) ponderou que os efeitos do lodo no solo podem ser benéficos ou não, principalmente devido a sua composição e que, neste caso, sua aplicação não seria sustentável.

Anjos et al. (1994) e Pagliai & Vignozzi (1998) mencionaram que as operações de preparo do solo afetam diretamente a densidade e a porosidade, ocasionando diferenciações com relação a sua condição natural.

Tabela 2. Efeito dos lodos de esgoto das ETEs de Franca (F) e Barueri (B) sobre atributos físicos do solo após quatro aplicações.

	BTAB	BNPK	B1N	B2N	B4N	B8N
Densidade do Solo (Kg dm ⁻³)	1,16	1,12	1,21	1,17	1,21	1,11
Porosidade total (%)	63	61	62	59	60	62
Microporosidade(%)	25	26	23	25	26	26
Macroporosidade(%)	38	35	39	33	34	36
	FTAB	FNPK	F1N	F2N	F4N	F8N
Densidade do Solo (Kg dm ⁻³)	1,19	1,19	1,21	1,17	1,15	1,10
Porosidade total(%)	62	62	61	62	62	64
Microporosidade (%)	24	24	25	26	25	27
Macroporosidade(%)	38	38	36	36	37	37

As doses de lodo foram calculadas tendo como base o teor de nitrogênio nos mesmos, de forma a suprir a necessidade de N do milho em 1, 2, 4 e 8 vezes, além dos tratamentos testemunha sem aplicação de lodo (TAb) e fertilização mineral(NPK) recomendada para o milho.

Atributos Físicos e Hídricos em Solo Tratado com Lodo de Esgoto

Observa-se uma tendência de diminuição da densidade do solo com o aumento da dose de lodo proveniente da ETE de Franca. Porém, em função dos resultados obtidos não diferirem estatisticamente, não se pode afirmar, ainda, que esse efeito seja devido à aplicação do lodo.

Os valores de porosidades totais foram altos, em torno dos 60%, normais para os Latossolos, porém não foram encontradas diferenças significativas entre os diferentes tratamentos. Resultados semelhantes também foram obtidos para a micro e macroporosidade (Tabela 2). A princípio, não se observou influência da aplicação do lodo, nem do preparo do solo, nesses atributos. A aração, a gradagem e a enxada rotativa estão pulverizando o solo em superfície e isto pode ter mascarado possíveis benefícios da adição do lodo.

Após as análises de densidade do solo, as mesmas amostras foram submetidas à análise de condutividade hidráulica com solo saturado (kq). Os resultados evidenciaram que há uma redução, entre os valores encontrados nas amostras da mata com relação ao solo onde foi executado os estudos (Fig. 1). Essa redução situou-se em torno de 50 %, indicando os efeitos negativos das práticas de manejo utilizadas, o que corrobora com os resultados obtidos por Kumar et al.(1985).

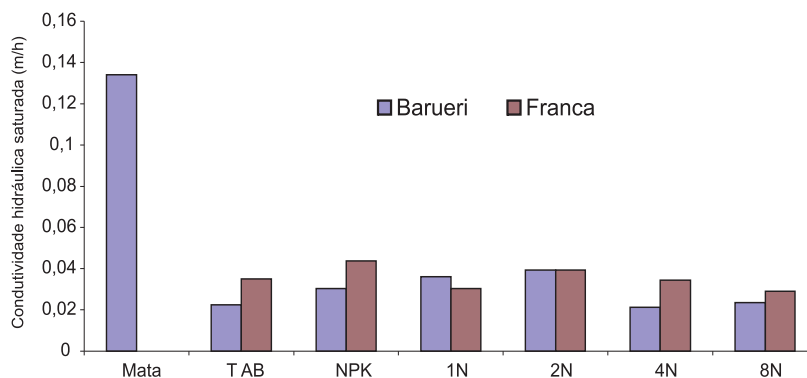


Fig. 1. Condutividade hidráulica do solo saturado nos tratamentos com lodo de esgoto em comparação ao solo sob mata nativa. (As doses de lodo foram calculadas tendo como base o teor de nitrogênio nos mesmos, de forma a suprir a necessidade de N do milho em 1, 2, 4 e 8 vezes, além dos tratamentos testemunha sem aplicação de lodo (TAb) e fertilização mineral(NPK) recomendada para o milho).

Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais da Agricultura

Comparando os dados resultantes apenas aos tratamentos, observou-se uma tendência de incremento da $k(q)$ com o aumento da dose de lodo. Este fato poderia ser devido à presença de rachaduras (“cracks”) na superfície das amostras com selamento superficial, pelo aumento da superfície específica, o que provocaria um fluxo preferencial por essas ranhuras ou rachaduras.

Finalmente, os dados da Tabela 3 indicam não haver diferenças significativas entre a porosidade total, macroporosidade, microporosidade, velocidades de infiltração inicial e final e densidade do solo. Em relação à origem dos lodos de esgoto, as análises estatísticas demonstraram existir diferenças significativas entre eles, mas somente em relação à densidade do solo. Entretanto, verificou-se uma tendência de incremento, tanto da macroporosidade, quanto da porosidade total e das taxas de infiltração de água no solo com o aumento da dose de lodo. Pode ser observado também, para o lodo de Franca, decréscimo da densidade do solo e da microporosidade das amostras na camada de 3 a 8 cm. Este último fato sugere que, o curto período de tempo do experimento (3 anos), provavelmente, não foi suficiente para detectar alterações dos atributos físicos do solo. Mesmo assim, os resultados aqui apresentados são concordantes com os obtidos por Gupta et al. (1997); Mbagwu & Piccolo (1990); e Martens & Frankenberg Jr. (1992) que relataram variações dos atributos físicos e hidrológicos com a adição de resíduos orgânicos.

Tabela 3. Relação entre atributos físicos e hídricos de amostras de solos subsuperficiais (profundidade de 3 a 8 cm) nos dois tipos de lodo.

FT AB	F NPK	F 1N	F 2N	F 4N	F 8N	BT AB	B NPK	B 1N	B 2N	B 4N	B 8N
Densidade do Solo (kg dm⁻³)											
1,30	1,29	1,17	1,14	1,13	1,13	1,20	1,19	1,18	1,16	1,08	1,12
Macroporosidade (%)											
23,19	23,70	26,62	28,71	27,97	27,88	27,76	27,37	28,01	27,79	30,99	26,39
Microporosidade (%)											
30,56	29,49	28,33	27,94	27,82	29,13	30,43	29,92	26,11	30,45	27,77	31,28
Porosidade Total (%)											
53,76	53,20	54,95	56,65	55,78	57,00	58,19	57,29	54,12	58,24	58,76	57,67
Taxa de Infiltração Inicial (mm h⁻¹)											
21,36	21,81	16,10	31,29	34,26	42,60	35,52	37,91	51,16	37,00	41,45	25,24
Taxa de Infiltração Final (mm h⁻¹)											
8,05	7,65	9,36	9,08	7,25	7,88	7,48	8,17	4,63	7,48	4,63	3,43

As doses de lodo foram calculadas tendo como base o teor de nitrogênio nos mesmos, de forma a suprir a necessidade de N do milho em 1,2, 4 e 8 vezes, além dos tratamentos testemunha sem aplicação de lodo (TAb) e fertilização mineral (NPK) recomendada para o milho.

Considerações finais

A exposição da superfície do solo com lodo incorporado ao solo e chuva tem levado à formação de crosta, com conseqüente aparecimento de rachaduras superficiais, o que pode incrementar a condutividade hidráulica do solo por fluxo preferencial, além de prejudicar a germinação de sementes.

Os lodos de esgoto utilizados apresentaram um comportamento diferenciado, afetando distintamente os atributos físicos e hidrológicos do solo, sugerindo que se persistir a mesma tendência ao longo do tempo, deverão ser efetuados estudos das características de cada lodo, de modo a determinar o fator ou os fatores inerentes aos resíduos que são responsáveis pelas diferentes respostas.

Referências

AGGELIDES, S.M.; LONDRA, P.A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. **Bioresource Technology**, v.71, p.253-259, 2000.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LAITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos diferentes sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.139-145, 1994.

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

CEGARRA, J. Utilização e manejo de lodos de águas residuales urbanas con fines agrícolas: solos ecuatoriales, materia orgánica do solo. **Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia do Solo**, v.12, n.1, p.151-173, 1983.

CHANG, A.C.; PAGE, A.L.; VARNEKE, J.E. Soil conditioning effects of municipal sludge compost. **Journal of Environmental Engineering**, v.109, p.574-583, 1983.

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

EPSTEIN, E. Effects of sewage sludge on some soil physical properties. **Journal of Environment Quality**, v.4, p.139-142, 1975.

EPSTEIN, E.; TAEOR, J.M.; CHANEE, R.L. Effects of sewage sludge compost applied to soil on some physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.422-426, 1976.

GREEN, R.E.; AHUJA, L.R.; CHONG, S.K. Hydraulic conductivity, diffusivity, and sorptivity of unsaturated soils: field methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Part 1 – Physical and mineralogical methods. Madison: SSSA, 1986. cap.30, p.771-798. (SSSA Book Series, 5).

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, p.601-605, 1977.

HILLEL, D.A.; KRENTOS, V.K.; STILIANOV, E. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics *in situ*. **Soil Science**, v.114, p.395-400, 1972.

JACOBOWITZ, L.A.; STTENHUIS, T.S. Compost impact on soil moisture and temperature. **Biocycle**, v.25, p.56-60, 1984.

KHALEEL, R.; REDDE, K.R.; OVERCASH, M.R. Changes in soil physical properties due to waste applications: a review. **Journal of Environmental Quality**, v.10, p.133-141, 1981.

KHIEL, E.J. **Manual de edafologia**. Relações solo-planta. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis** - part 1: Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison: ASA; SSSA, 1986. 1188p. (Agronomy Series, 9).

KRIBAA, M.; HALLAIRE, V.; CURMI, P.; LAHMAR, R. Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.43-53, 2001.

KUMAR, S.; MALIK, R.S.; DAHIEA, I.S. Influence of different organic wastes upon water retention, transmission and contact characteristics of a sandy soil. **Australian Journal of Soil Research**, v.23, p.131-136, 1985.

LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: SBCS; EMBRAPA-CNPS, 1996. 84p.

LOGAN, T.J.; HARRISON, B.J. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-Virosoil) and their effects on soil physical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.24, p.153-164, 1995.

LOGAN, T.J.; HARRISON, B.J.; McAVOE, D.C.; GREFF, J.A. Effects of olestra in sewage sludge on soil physical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.153-161, 1996.

MARCIANO, C.R. **Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho Amarelo**. 1999. 93p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARTENS, D.A.; FRANKENBERGER Jr., W.T. Modification of infiltration rates in a organic-amended irrigated soil. **Agronomy Journal**, v.84, p.707-717, 1992.

MATA, J.D.; GONÇALVES, A.C.A.; VIEIRA, S.R. Spatial variability of soil macroporosity in irrigated area before soil preparation and after crop harvest using two preparation systems. **Acta Scientiarum**, v.20, p.307-312, 1998.

MBAGWU, J.S.C.; PICCOLO, A. Some physical properties of structural aggregates separated from organic waste-amended soils. **Biological Wastes**, v.33, p.107-121, 1990.

MIELKE, L.N.; WILHELM, W.W. Comparison of soil physical characteristics in long-term tillage winter wheat-fallow tillage experiments. **Soil and Tillage Research**, v.49, p.29-35, 1988.

MORAES, S.P. **Utilização do composto de lixo em solo agrícola**. 1990. 104p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. **Geoderma**, v.87, p.123-135, 1998.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. Use of manure for soil improvement. In: WALLACE, A.; TERRE, R.E. (Ed.). **Handbook of soil conditions: substances that enhance the physical properties of soil**. New York: Marcel Dekker, 1998. cap.4, p.119-139.

WEI, Q.F.; LOWERE, B.; PETERSON, A.E. Effect of sludge application on physical properties of a silt clay loam soil. **Journal of Environmental Quality**, v.14, p.178-180, 1985.

WONG, J.W.C.; HO, G.E. Effects of gypsum and sewage sludge amendment on physical properties of fine bauxite refining residue. **Soil Science**, v.152, n.5, p.326-332, 1991.