

INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO DO SOLO SOBRE A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA PARA UM SOLO ARGILOSO¹

G. A. de MEDEIROS²; M. PERINI³; J. R. F. LUCARELLI⁴ & L. A. DANIEL⁵

1. Trabalho desenvolvido junto à disciplina de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP: “Mecanização no Uso e Manejo do Solo”, sob responsabilidade do Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel.
 2. Eng^o Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - CREUPI. E-mail: gerson_medeiros@creupi.br
 3. Eng^o Agrônomo.
 4. Eng^o Agrônomo, Mestre em Engenharia Agrícola, Profissional do Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. e-mail: luca@agr.unicamp.br
 5. Eng^o Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor e Pesquisador do NEPA/FATEC/Sorocaba do Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. E-mail: daniel.fatec@terra.com.br.
- Aceito para publicação em: 12/12/2002.

RESUMO

A condutividade hidráulica saturada é um parâmetro do solo de interesse para estudos ambientais relacionados à dispersão de solutos e balanço hídrico do solo. Para fins de simulação e planejamento, esse parâmetro tem sido relacionado a atributos físicos do solo de informação mais largamente disponível, como densidade e textura. Uma avaliação da condutividade hidráulica (kfs) saturada foi conduzida em Latossolo vermelho, de textura muito argilosa, submetido a diferentes níveis de compactação, no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 1998. Os níveis de compactação corresponderam a uma faixa de densidade do solo, variando de 1,0 a 1,4 kg.dm⁻³, e as medições de kfs, realizadas com permeâmetro de carga constante. As observações de condutividade hidráulica saturada foram posteriormente comparadas com resultados simulados através de sub-rotina do programa EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator) (Williams et al., 1984). Os resultados encontrados mostraram que o modelo superestimou a condutividade hidráulica saturada dos tratamentos com densidade do solo acima de 1,2 kg.dm⁻³, mas, para densidades do solo abaixo deste limite, nas condições do solo estudado, o modelo teve bom desempenho, porém há a necessidade de reavaliação e testes da rotina utilizada pelo programa para as condições de solos tropicais.

Palavras-chave: condutividade hidráulica saturada, latossolo, EPIC.

ABSTRACT

INFLUENCE OF SOIL COMPACTION ON SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY TO A CLAY SOIL

The saturated hydraulic conductivity (kfs) is soil parameter very important to environmental purpose including solute transport and water balance. To simulation and planning, this parameter is related to soil physical parameter easily available as density and texture. kfs was evaluated to a clay oxysoil, under different compactation level, at Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) at Universidade Estadual de Campinas, State of São Paulo, Brasil, in 1998. The soil level compactation corresponding to bulk densities treatments ranging from 1,0 to 1,4 g.cm⁻³ and the kfs measurements were realized using head level constant

permeameter. The observed values of saturated conductivity were compared with simulated values through EPIC model (Erosion/Productivity Impact Calculator) (Williams et al., 1984). The results showed that the model over predicted the saturated conductivity to the most compacted treatments with a bulk density higher than 1,2 g.cm⁻³, but to bulk densities values around and lower this limit the model had a good performance, however is necessary evaluate and test the model to tropical soil conditions.

Key words: saturated hydraulic conductivity, oxysoil, EPIC.

INTRODUÇÃO

Um dos desafios no planejamento agrícola e ambiental é o de simular e avaliar o impacto da mudança da cobertura vegetal ou do manejo do solo sobre uma série de fenômenos como a perda de sedimentos e água em bacias hidrográficas e áreas agrícolas.

Modelos matemáticos têm sido utilizados para avaliar esses impactos por meio da simulação do efeito do manejo agrícola e de fatores relacionados a clima, solo e planta sobre a perda de sedimentos e nutrientes de terras agriculturáveis, sendo um dos mais difundidos o EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) (Williams et al., 1984).

O modelo EPIC foi originalmente desenvolvido para classificar o efeito da erosão do solo sobre a produtividade das principais culturas nos Estados Unidos. Desde então, tem sido expandido e refinado para permitir a simulação de muitos processos importantes em manejo agrícola e de interesse ambiental (Sharpley & Williams, 1990). EPIC é um modelo de simulação contínua que pode ser usado para determinar o efeito de estratégias de manejo sobre produção agrícola e recursos de água e solo em áreas de até 100 ha, pois as componentes clima, solos, e sistemas de manejo são assumidas homogêneas.

Recentemente, maior desenvolvimento do modelo EPIC tem focalizado sobre os problemas envolvendo qualidade da água e efeitos das mudanças de CO₂ no clima global. Como exemplo desse desenvolvimento, tem-se a componente relacionada ao destino de pesticidas do modelo GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Systems) (Leonard et al., 1987), submodelos de volatilização e nitrificação, uma nova componente baseada fisicamente na erosão do vento, tecnologia opcional do Natural Resources

Conservation Service (NRCS) para estimar vazão de enchente, equações de produção de sedimento desenvolvidas mais recentemente e mecanismos para simular efeitos de CO₂ sobre crescimento da cultura e uso da água. Com estas mudanças, o modelo tem sido renomeado para Environmental Policy Integrated Climate. (Williams et al., 1996)

Por incorporar uma série de procedimentos de simulação matemática com base fortemente empírica, esses modelos e suas componentes necessitam ser avaliados para condições diferentes daquelas para as quais foram desenvolvidos.

Uma das componentes simuladas pelo modelo EPIC refere-se à condutividade hidráulica saturada (k_{fs}).

A condutividade hidráulica (k_{fs}) é um parâmetro hidrológico do solo que representa a medida da capacidade do solo em transmitir água sob condições saturadas, sendo um valor constante para uma determinada posição no campo, em um dado tempo, e um parâmetro-chave para todos os aspectos de movimento de água e soluto no solo (Amoozegar & Warrick, 1986), tendo várias aplicações em diversas áreas da engenharia, como a agrônômica, a agrícola, a civil e a ambiental, além da geologia.

Esse parâmetro é afetado tanto por características do solo, como a porosidade total, a distribuição do tamanho dos poros, a tortuosidade, em resumo a geometria dos poros do solo e sua textura, quanto por características do fluido, como a densidade e viscosidade (Hillel, 1998).

Diferentes métodos são relatados na literatura para a determinação da condutividade hidráulica saturada, podendo ser divididos em métodos de laboratório, destacando-se os permeâmetros de carga constante ou variável (Embrapa, 1999), e os chamados métodos de campo, como o permeâmetro de Guelph (Reynolds & Elrich, 1986), permeâmetro de disco (Amoozegar & Warrick, 1986), etc.

Essas metodologias demandam tempo e custos elevados para a determinação de k_{fs}, necessitando de mão-de-obra especializada e estrutura de laboratórios. Além disso, é um parâmetro difícil de se obter, pois é altamente dependente das condições de solo, tais como: compactação, agregados, macroporos, tamanho da amostra, ar retido no solo, sendo, conseqüentemente, altamente variável.

Por estes motivos, a condutividade hidráulica saturada e outros parâmetros físicos e hídricos do solo têm sido parametrizados em função de atributos de informação mais disponíveis como a sua textura, a densidade do solo, etc. (Arruda et al., 1987; Giarola et al., 2002; Ahuja & Ma, 2002; Bernoux et al., 1998; Tietje & Tapkenhinrichs, 1992; Sharpley & Williams, 1990), norteando o desenvolvimento das chamadas funções de pedotransferência (Nielsen et al., 1996).

No modelo EPIC, a condutividade hidráulica saturada é parametrizada em função da textura e densidade do solo, incorporando rotinas que levam em conta o efeito de um dos principais impactos ambientais do manejo agrícola: a compactação do solo, a qual limita o crescimento de plantas e movimento de água no solo (Jones, 1983).

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o efeito da compactação do solo sobre a condutividade hidráulica saturada de um Latossolo vermelho, comparando os resultados observados experimentalmente com aqueles simulados pelo modelo EPIC, para as condições do ensaio.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola, na Universidade Estadual de Campinas, em Campinas - SP. O solo utilizado foi coletado na área do Campo Experimental da Feagri, sendo classificado como Latossolo roxo distrófico, textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (Oliveira & Rotta, 1979). Na atual classificação brasileira de solos, corresponde ao Latossolo vermelho, segundo Embrapa (1999).

A textura e a densidade de partículas foram determinadas no Laboratório de Solos da FEAGRI. Quantificou-se o teor de argila pelo método da pipeta, separou-se a fração de areia por meio de tamisamento e, por diferença, o teor de silte, após a dispersão da terra fina seca ao ar, com NaOH a 0,1 N, e agitação mecânica (Camargo et al., 1986). O procedimento adotado para a determinação da densidade de partículas é descrito em Embrapa (1997). Os resultados obtidos de análise granulométrica são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de análise física do Latossolo vermelho, em Campinas – SP, 1998.

Propriedade	Teor
Areia (%)	27
Silte (%)	20
Argila (%)	53
Densidade de partículas (kg dm ⁻³)	2,72

O solo coletado foi peneirado em peneira de 2 mm e submetido à compactação em minilísimetros de 0,30 m de diâmetro interno e 0,30 m de altura.

Procedeu-se à compactação do solo, inserindo-se uma placa de madeira de mesmo diâmetro do lisímetro (0,30 m) em seu interior, ficando a uma altura de 0,10 m em relação à sua base. A quantidade de solo seco necessária para formar uma camada compactada com 0,10 m de altura foi calculada para os tratamentos de densidade do solo inicialmente adotados e correspondendo a 1,0 kg dm⁻³, 1,2 kg dm⁻³ e 1,4 kg dm⁻³, com três repetições por tratamento.

O solo foi inserido em camadas de aproximadamente 0,01 m e compactado com outra placa de madeira de mesmo diâmetro do lisímetro, colocada sobre a camada e golpeada com uma marreta de borracha. Para os valores mais elevados de densidade, foi necessário umedecer o solo.

Após a compactação, retirou-se a placa de madeira da base da camada compactada e preencheu-se o espaço sob ela com o mesmo solo da área do teste.

Portanto, a camada compactada possuía 0,10 m de espessura, estando apoiada sobre uma camada de solo com uma densidade de aproximadamente 1,0 kg dm⁻³ (Figura 1).

Determinou-se a condutividade hidráulica saturada, utilizando-se de um permeâmetro de carga constante (Figura 1), calculando-se esse parâmetro pela lei de Darcy:

$$Q = k(\theta) * \frac{\partial H}{\partial z} \quad (1)$$

em que Q é a vazão em mm.h⁻¹, k(θ) é a condutividade hidráulica em mm.h⁻¹, e $\frac{\partial H}{\partial z}$ é o gradiente hidráulico.

Durante o ensaio, manteve-se o nível d'água constante sobre a superfície do solo, perfazendo sempre um período não inferior a 3 horas, correspondendo a uma carga hidráulica de 0,18 m sobre a camada compactada, como pode ser visualizado na Figura 1.

Encerrado o teste da condutividade hidráulica, procedeu-se à determinação da densidade do solo na camada compactada por meio da cravação de anéis volumétricos de 100 cm³, em três repetições por lisímetro. Foi possível, portanto, obter valores de condutividade hidráulica saturada para uma gama de valores de densidade do solo, variando de 1,0 a 1,4 kg.dm⁻³, em um total de nove repetições.

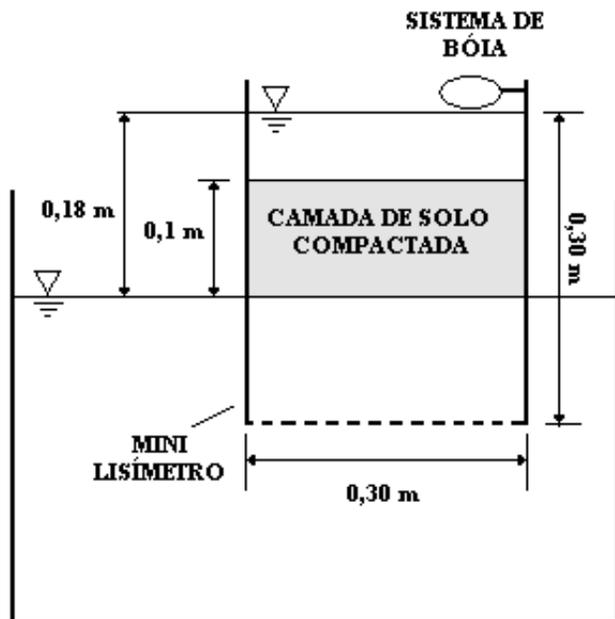


Figura 1. Esquema do permeâmetro de carga constante utilizado no ensaio de condutividade hidráulica saturada, em Campinas – SP, 1998.

Simulou-se a condutividade hidráulica saturada por meio da abordagem matemática apresentada em Williams (1995). O seguinte equacionamento foi utilizado para o cálculo de kfs:

$$kfs = \frac{12,7 \cdot (100 - CLA_{\ell}) \cdot (SS_{\ell})}{100 - CLA_{\ell} + (11,45 - 0,097 \cdot (100 - CLA_{\ell}))} \quad (2)$$

em que kfs é a condutividade hidráulica saturada (mm h⁻¹), CLA é a porcentagem de argila na camada ℓ , e SS é o fator de restrição do solo.

As seguintes equações são usadas para o cálculo do fator de restrição (SS) (Williams, 1995):

$$SS_{\ell} = \frac{BD_{\ell}}{BD_{\ell} + \text{EXP}[bt_1 + bt_2 \cdot (BD_{\ell})]} \quad (3)$$

em que BD é a densidade do solo (t m⁻³) ajustado para o conteúdo de água no solo, e bt₁ e bt₂ são parâmetros dependentes da textura do solo. Os valores de bt₁ e bt₂ são obtidos da resolução simultânea da equação 3 pela substituição das condições de contorno por estresse.

O limite inferior, em que essencialmente nenhum stress ocorre, é dado pela equação (Jones, 1983):

$$BDL = 1,15 + 0,00445 \cdot SAN \quad (4)$$

em que BDL é a densidade do solo próxima ao limite inferior (SS = 1) para uma porcentagem de areia particular, SAN. O limite superior é dado pela equação:

$$BDU = 1,5 + 0,005 \cdot SAN \quad (5)$$

em que BDU é a densidade do solo perto do limite superior (SS ≈ 0,2) para uma porcentagem particular de areia, SAN. As equações para estimar bt₁ e bt₂ são:

$$bt_2 = \frac{\ln(0,0112 \cdot BDL) - \ln(8 \cdot BDU)}{BDL - BDU} \quad (6)$$

$$bt_1 = \ln(0,0112 \cdot BDL) - (bt_2) \cdot (BDL) \quad (7)$$

As equações 6 e 7 asseguram que a equação 3 fornece valores de SS de 1,0 e 0,2 para BD = BDL e BD = BDU.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de condutividade hidráulica saturada simulados por meio das equações 2, 3, 4, 5, 6 e 7 são apresentados na Tabela 2, junto com os parâmetros calculados nessas equações para os diferentes tratamentos de densidade do solo avaliados. Nessa mesma tabela, incluem-se os respectivos valores de kfs determinados por meio do ensaio com permeâmetro de carga constante.

Na Figura 2, estão plotados os valores de condutividade hidráulica saturada, observados e simulados para os tratamentos de compactação do solo avaliados. Pode-se observar que houve boa concordância dos resultados na faixa de valores de densidade do solo, variando de 1,07 a 1,19 kg.dm⁻³, quando se observou um valor médio de kfs de 12,2 mm h⁻¹ e um coeficiente de variação (CV) de 21%.

Para essa mesma faixa de valores de densidade do solo, o modelo EPIC simulou um kfs médio de 11,3 mm h⁻¹. Nesse nível de compactação, o coeficiente de SS foi praticamente igual a 1,0; indicando que não há restrição ao movimento de água nas condições do solo utilizado no ensaio. Deve-se ressaltar que esse valor de densidade corresponde ao encontrado na camada arada do solo da Feagri/UNICAMP (Lucarelli et al., 1997).

Tabela 2. Condutividade hidráulica saturada observada (kfs obs) e simulada por meio da abordagem utilizada no modelo EPIC (kfs sim), para um Latossolo vermelho, submetido a diferentes níveis de compactação, em Campinas – SP, 1998.

Densidade	BDL	BDU	bt1	bt2	SS	kfs sim.	kfs obs
kg dm ⁻³	kg dm ⁻³	kg dm ⁻³				mm h ⁻¹	mm h ⁻¹
1,14	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,999	11,1	10,70
1,07	1,27	1,64	18,770	-28,117	1,000	11,1	10,20
1,11	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,999	11,1	16,50
1,19	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,997	11,0	11,00
1,15	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,999	11,1	12,50
1,32	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,974	10,8	5,90
1,43	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,837	9,3	0,05
1,47	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,713	7,9	0,05
1,46	1,27	1,64	18,770	-28,117	0,749	8,3	0,03

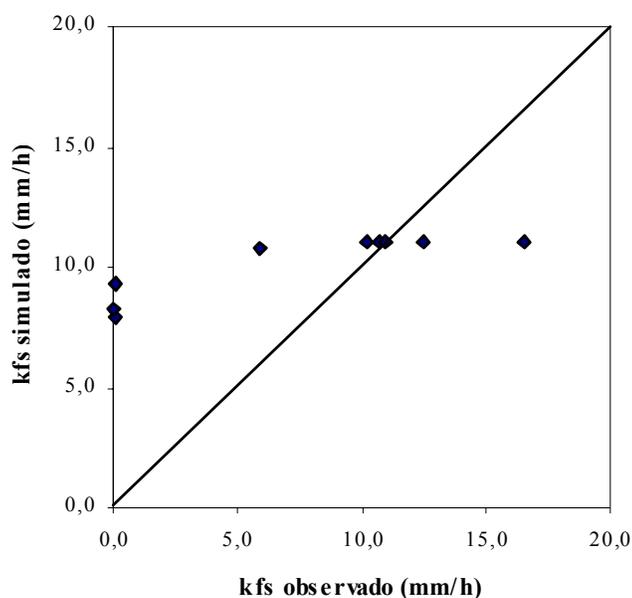


Figura 2. Comparação entre os resultados observados de kfs e aqueles simulados pelo modelo EPIC, para um Latossolo vermelho, em Campinas - SP, 1998.

Os valores de kfs determinados pela abordagem matemática adotada no EPIC, até $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, estão próximos à faixa recomendada por alguns autores para solos americanos de textura argilosa (Ahuja & Ma, 2002), porém estão bem abaixo do levantado por diversos autores para condições de campo, como visto em Lucarelli (1996), Maia (2001) e Medeiros (2002), que determinaram a condutividade hidráulica saturada na área de onde foi retirado o solo utilizado para o ensaio do presente trabalho.

Um dos motivos mais prováveis é que nas condições do presente ensaio, trabalhou-se com uma amostra deformada e peneirada, o que deve ter levado a uma redução na porosidade em relação àquela observada no campo.

Acima do nível de compactação correspondente à densidade de $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, observou-se uma redução de, praticamente, 50% no valor de kfs, quando a densidade do solo foi elevada a $1,32 \text{ kg dm}^{-3}$. Observou-se uma condutividade hidráulica saturada em torno de $5,9 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto o modelo simulou $10,7 \text{ mm h}^{-1}$.

Essa diferença relativa, entre kfs observado e simulado, aumentou significativamente quando a densidade do solo foi elevada para valores em torno de $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$. A média observada registrou $0,04 \text{ mm h}^{-1}$; já o valor simulado para essas condições atingiu $6,8 \text{ mm h}^{-1}$, representando uma diferença relativa de 1600%.

Conseqüentemente, o modelo não foi adequado para simular a condutividade hidráulica saturada para condições de solo argiloso e compactado acima do limite de $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, necessitando de ajustes. Na Tabela 2, o valor de SS apresentou uma redução para somente 0,75 a 0,84, bem aquém daquilo observado. Esse fato sugere que uma melhor investigação das relações para a estimativa da condutividade hidráulica saturada, visando à modelagem matemática, devem ser conduzidas para os solos tropicais agrícolas, em que as condições de infiltrabilidade tem-se mostrado mais favoráveis em relação àsquelas recomendadas para solos americanos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, ou seja, ensaio realizado em amostra deformada, o modelo EPIC simulou adequadamente a condutividade hidráulica saturada do solo até um limite de densidade de $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, correspondente à densidade encontrada na camada arada do solo da área onde foi conduzido o experimento, e indicando a sua adequabilidade como função de pedotransferência.

O modelo mostrou-se inadequado para estimar as restrições provocadas pela compactação do solo sobre a

condutividade hidráulica saturada e movimento de água no solo, pois superestimou kfs para os tratamentos com densidade superior a 1,2 kg dm⁻³ e, nesse caso, funções de pedotransferências, endereçando para o efeito de compactação deveriam ser desenvolvidas.

LITERATURA CITADA

ARRUDA, F.B., ZULLO Jr, J., OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para cálculo de água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, p. 11-15, 1987.

AMOOZEGAR, A., WARRICK, A.W. Hydraulic conductivity of saturated soils: field methods. In: KLUTHE, A. (ed.) **Methods of soil analysis: part 1. Physical and mineralogical methods**. 2.ed., Madison, WI: American Society of Agronom, Inc., Soil Science Society of América, Inc., 1986. 926p. p.735-770.

AHUJA, L.R., MA, L. Parametrization of agricultural system models: current approaches and future needs. In: AHUJA, L.R., MA, L., HOWELL, T.A. (ed.) **Agricultural system models in field research and technology transfer**. 1.ed., Washington, DC: CRC Press, 2002. Chapter 14.

BERNOUX, M., ARROUAYS, D., CERRI, C., VOLKOFF, B., JOLIVET, C. Bulk densities of Brazilian Amazon soil related to other soil properties. **Soil Science Society of American Journal**, v.62, p.743-749, 1998.

CAMARGO, O. A. de, MONIZ, A. C., JORGE, J. A., VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas**. Campinas, SP : Instituto Agrônômico, 1986. 94 p. (Boletim, 106)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – CNPS. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997. 212p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York, Academic Press, 1998. 771p.

JONES. C. A. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 47, p. 1208-1211, 1983.

LEONARD, R. A., KNISEL, W. G., STILL, D. A. GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Systems. **Transactions of the ASAE**, v. 30, n. 5, p. 1403-1418, set-out 1987.

LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LUCARELLI, J. R. F., DANIEL, L. A, ESPÍNDOLA, C. R., VEIRA, R. V., CAPUTI, C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na compactação, infiltração e perda de solo. In: XIII Congresso Latino Americano de

Ciência do Solo. **Anais...**, Águas de Lindóia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

MAIA, J. C. S. **Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo**. 1999. 158 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um Latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2002. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NIELSEN, D. R., KUTILEK, M., PARLANGE, M. B. Surface soil water content regimes: opportunities in soil science. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.184, p.35-55, 1996.

OLIVEIRA, J. B. & ROTTA, C. L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadricula de Campinas**. Rio de Janeiro, IBGE, 169p. 1979.

REYNOLDS, W. D., ELRICK, D. E. A method for simultaneous in situ measurements in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**. v.6, p.84-95, 1986.

SHARPLEY, A. N. & WILLIAMS, J. R. **EPIC-Erosion/Productivity impact calculator: 1. Model Documentation**. U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin n. 1768. 235 p.

TIETJE, O., TAPKENHINRICH, M. Evaluation of pedotransfer functions. **Soil Science Society of American Journal**, v.57, p.1088-1095, 1992.

WILLIAMS, J., NEARING, M., NICKS, A., SKIDMORE, E., VALENTIN, C., KING, K., SAVABI, R. Using soil erosion models for global change studies. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n.5, p. 381-985, set-out 1996.

WILLIAMS, J. R., JONES, C. A., DYKE, P. T. A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 27, p. 129-144, 1984.

WILLIAMS, J. R. The EPIC model. In: **Computer models of Watershed Hydrology**. Singh, Vijay P. (ed.), Water Resources Publications, Highland Ranch, CO, USA, p. 909-1000.

