

MOVIMENTO DE ÁGUA E POROSIDADE DOS SOLOS DE UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA NO NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

**CARLA DEISIANE DE OLIVEIRA COSTA¹; MARLENE CRISTINA ALVES² E
ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA³**

1 Professora Colaboradora, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS. carladeisiane@hotmail.com.

2 Professora Titular, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP/FE/IS. mcalves@agr.feis.unesp.br.

3 Professor Assistente, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP/FCA. padua@fca.unesp.br.

1 RESUMO

A falta de planejamento ambiental e a ocupação inadequada dos solos de bacias hidrográficas vêm causando a sua degradação. Este trabalho foi realizado na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, localizada no Município de Ilha Solteira, noroeste do Estado de São Paulo. Esta região apresenta problemas ambientais, como erosão do solo e assoreamento dos rios. A pesquisa teve por objetivo avaliar a influencia da porosidade dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte sob o movimento de água nestes, com o intuito de diagnosticar suscetibilidade aos processos erosivos. Os solos mais representativos da sub-bacia são o Latossolo Vermelho e o Argissolo Vermelho-Amarelo. As análises foram realizadas em amostras de dez locais da sub-bacia, sendo seis localizados no Latossolo e quatro no Argissolo, e em cada local cinco repetições, constando-se respectivamente os seguintes usos: uma área com cultivo de manga, quatro com pastagens e uma com cultura anual, no Latossolo, e duas áreas com pastagens, uma com cultura anual e uma área com vegetação degradada, no Argissolo. O movimento de água nos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte está relacionado à macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Os solos da sub-bacia apresentam suas propriedades físicas sob processo de degradação, principalmente a porosidade e a densidade do solo, o que afeta a dinâmica da água nestes solos, podendo ocasionar com o tempo menor permeabilidade, e conseqüentemente maior suscetibilidade à erosão destes solos.

Palavras-chave: uso e ocupação do solo, permeabilidade do solo, espaço poroso do solo.

**COSTA, C.D.O.; ALVES, M.C.; SOUSA, A.P.
WATER MOVEMENT AND SOIL POROSITY OF A SUBWATERSHED IN
NORTHWESTERN SÃO PAULO STATE**

2 ABSTRACT

Lack of environmental planning and inadequate occupation of soils in watersheds have caused their degradation. This study was conducted in the Jardim Novo Horizonte subwatershed in Ilha Solteira city, northwestern São Paulo state. This region has environmental problems such as soil erosion and river sedimentation. The study aimed at evaluating the effect of soil porosity in the Jardim Novo Horizonte subwatershed on water movement in order to evaluate the susceptibility to erosion processes. The most

representative soils in the subwatershed are classified as Oxisol and Alfisol. Six and four spots, with five replicates each, were evaluated in the first and second soil, respectively, amounting to ten spots along the subwatershed. Soil uses were as follows: one area cropped with mango, four areas cropped with pastures and one area with annual crop in the Oxisol soil; two areas with pastures, one area with annual crop and one area with degraded vegetation in the Alfisol. Water movement in the Jardim Novo Horizonte subwatershed is related with soil macro porosity, total porosity and bulk density. The soils of the subwatershed showed physical properties under a degradation process, mainly porosity and bulk density, which affects water dynamics in these soils. Less permeability and therefore, more susceptibility to erosion of these soils could be the result of this process along the time.

Keywords: soil use and occupation, soil permeability, soil porous space.

3 INTRODUÇÃO

A falta de planejamento ambiental e a ocupação inadequada dos solos de bacias hidrográficas vêm causando a sua degradação, afetando principalmente a qualidade da água. De acordo com Araújo et al. (2010), as atividades humanas não planejadas acelera o processo de degradação do solo, sendo o uso e a ocupação inadequada destes, um dos principais fatores causadores da erosão.

É importante destacar que os fatores integrantes do processo de erosão do solo, servem de indicadores na elaboração de medidas que visem maximizar o uso dos recursos naturais e evitar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos. Esses fatores dependem da natureza dos solos, ou seja, das suas propriedades, e principalmente do manejo, do uso e da ocupação dos mesmos (COSTA, 2010).

A porosidade do solo é uma das propriedades passíveis as tais modificações, sendo um dos principais atributos físicos que deve ser analisado em estudos diagnósticos de suscetibilidade à erosão, por exercer grande influência em outros fenômenos físicos, como a infiltração e a condutividade hidráulica do solo. De acordo com Stefanoski et al. (2013), as práticas de manejo do solo exercem influência em sua estrutura, no tamanho e na quantidade de poros.

Em solos mal manejados, devido a intensificação do seu uso, há diminuição da sua porosidade, ocasionando menor permeabilidade, de acordo com Ribeiro et al. (2007) isso ocorre devido a redução da proporção de poros maiores, o que restringe o fluxo de água. Em trabalho realizado sob diferentes manejos do solo, Gonçalves e Moraes (2012) observaram que a infiltração é influenciada por alterações na porosidade do solo causadas pelas práticas de manejo.

O cultivo do solo altera suas propriedades, de acordo com Alves; Suzuki; Suzuki (2007) as modificações no arranjo das partículas do solo, provoca diminuição no tamanho dos poros, especialmente nos poros maiores, o que leva à redução na área da seção transversal para o fluxo de água, juntamente com o movimento do fluido, afetando com isso o movimento de água no solo.

A infiltração de água no solo é um dos fenômenos físicos mais importantes de um solo, uma vez que a partir deste pode-se estimar a capacidade de escoamento superficial do mesmo (COSTA, 2010). Brandão et al. (2009) afirmam que, a taxa de infiltração de água no solo é um dos fatores que mais influencia o escoamento superficial.

O conhecimento da condutividade hidráulica do solo também é fundamental, uma vez que determina o fluxo de água neste, sendo de grande importância para a quantificação da erosão (COSTA, 2010). Ela reflete a capacidade do mesmo em conduzir água, e de acordo com Rodrigues (2009), é dependente da forma, quantidade, distribuição e continuidade dos poros.

A sub-bacia Jardim Novo Horizonte, localizada no município de Ilha Solteira no noroeste do Estado de São Paulo, apresenta grande importância, pois está localizada nas proximidades da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Essa área territorial tem problemas de degradação ambiental, como processos de erosão do solo e assoreamento dos rios, além da pouca cobertura de vegetação nativa. Essa degradação foi ocasionada pela falta de planejamento ambiental e pelo manejo inadequado dos recursos naturais.

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da porosidade dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte sob o movimento de água nestes, com o intuito de diagnosticar suscetibilidade aos processos erosivos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, cuja foz é a Bacia do Rio Paraná, que está localizada no município de Ilha Solteira, noroeste do Estado de São Paulo, e possui 2.200 ha de área. As coordenadas geográficas são 20° 22' 45" e 20° 25' 48" S, 51° 19' 10" e 51° 22' 7" W e altitude média de 320 metros.

A classificação climática da área de estudo, de acordo com Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As médias anuais são 23°C de temperatura, 1.370 mm de precipitação pluvial e a umidade relativa do ar está entre 70 e 80 % (VANZELA, 2003). A vegetação original da área é de Cerrado.

Quanto aos solos, os mais representativos são: Latossolo Vermelho distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, representando 70 e 30% da área total, respectivamente (QUEIROZ, 2008). Na Tabela 1 está a distribuição de tamanho de partículas das classes de solo da sub-bacia estudada.

Tabela 1. Distribuição de tamanho de partículas das classes de solo da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m.

Uso e ocupação do solo	Camada (m)	Argila	Areia (g kg ⁻¹)	Silte	Classe Textural
Latossolo Vermelho distrófico					
M	0,0 - 0,1	208	684	108	Franco-argilo-arenosa
	0,1 - 0,2	284	623	93	Franco-argilo-arenosa
P ₁	0,0 - 0,1	195	710	95	Franco-arenosa
	0,1 - 0,2	238	666	96	Franco-arenosa
P ₂	0,0 - 0,1	60	873	67	Areia franca
	0,1 - 0,2	89	838	73	Areia franca
P ₃	0,0 - 0,1	183	670	147	Franco-arenosa
	0,1 - 0,2	259	598	143	Franco-argilo-arenosa
P ₄	0,0 - 0,1	167	732	101	Franco-arenosa
	0,1 - 0,2	220	649	131	Franco-argilo-arenosa
CA	0,0 - 0,1	125	791	84	Franco-arenosa
	0,1 - 0,2	148	772	80	Franco-arenosa
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico					
VD	0,0 - 0,1	249	554	197	Franco-argilo-arenosa
	0,1 - 0,2	277	520	203	Franco-argilo-arenosa
P arg ₁	0,0 - 0,1	235	592	173	Franco-argilo-arenosa
	0,1 - 0,2	245	583	172	Franco-argilo-arenosa
CA arg	0,0 - 0,1	339	186	475	Franco-argilo-siltosa
	0,1 - 0,2	362	178	460	Franco-argilo-siltosa
P arg ₂	0,0 - 0,1	172	701	127	Franco-arenosa
	0,1 - 0,2	238	613	149	Franco-argilo-arenosa

M = Cultura da mangueira, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual, VD = Vegetação degradada, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

O uso e ocupação no Latossolo foram: cultura da mangueira (M), quatro locais com pastagens (P₁, P₂, P₃ e P₄) e a cultura anual (CA), com solo preparado para a implantação da cultura do milho. No Argissolo o uso e ocupação foram: dois locais com pastagens (P arg₁ e P arg₂), a cultura anual (CA arg), também com solo preparado para a implantação da cultura do milho e a área com vegetação degradada (VD) que se encontra em uma área de transição entre o Argissolo e o Latossolo, porém apresentando características predominantes do Argissolo. A descrição do uso e ocupação do solo encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição do uso e ocupação do solo da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira-SP.

Usos e ocupações dos solos	Características
Cultura perene	Área que está sendo cultivada com a cultura da mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.) há doze anos.
Cultura anual	Área que vem sendo cultivada há vinte anos com milho (<i>Zea mays</i> L.) em preparo convencional (arado de discos e grade niveladora).
Pastagem	Área com braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf) plantada há oito anos, em estado de degradação, principalmente as cultivadas no Latossolo.
Vegetação degradada	Área degradada com vegetação remanescente, apresentando dossel irregular de árvores e arbustos, predominância de espécies nos estágios iniciais de sucessão e alguns indivíduos remanescentes de espécies nos estágios finais de sucessão.

As áreas com pastagens, tanto no Latossolo como no Argissolo, possuem o mesmo tempo de implantação (8 anos) e são todas cultivadas com a mesma espécie (*Brachiaria decumbens* Stapf), o que difere uma da outra é a granulometria e as características do solo, pois existem áreas bem compactadas, principalmente no Latossolo, dentre elas citam-se as pastagens (P₁), (P₂) e (P₃). A sub-bacia Jardim Novo Horizonte está ocupada em 50% do total de sua área por pastagens, o que justifica a maior quantidade de locais amostrados neste uso e ocupação do solo.

Para a determinação da infiltração de água e da condutividade hidráulica do solo saturado na superfície do solo foi utilizado o mini infiltrômetro de disco, sendo o processo de infiltração descrito por um modelo proposto por Zhang (1997):

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (1)$$

Sendo:

t – Tempo, em s;

C₁ e C₂ – Parâmetros relacionados à condutividade hidráulica K(h₀) do solo, em cm s⁻¹, e à sorvidade do solo S(h₀), em cm s^{-0,5}, respectivamente;

I – Infiltração acumulada, em cm.

A condutividade hidráulica saturada foi determinada a partir de dados de infiltração acumulada, utilizando-se a relação dada por:

$$k = \frac{C_1}{A} \quad (2)$$

Sendo:

C₁ – Constante obtida no gráfico de infiltração acumulada;

A – Valor relacionado a um parâmetro de Van Genuchten (1980), para determinado tipo de solo e de sucção utilizada no infiltrômetro de disco durante o processo de infiltração.

Nas profundidades de 0,10 e 0,20 m foi utilizado o permeâmetro de Guelph. Mediu-se a taxa constante de infiltração e calculou-se a condutividade hidráulica do solo saturado segundo Reynolds e Elrick (1985). Após realizadas as medições, os dados foram analisados segundo modelos matemáticos propostos por Vieira (1988):

$$Q = \left\{ \left(\frac{2\pi H^2}{c} \right) + \pi a^2 \right\} k_{fs} + \left(\frac{2\pi H}{c} \right) + \psi_m \quad (3)$$

Sendo:

Q – É o fluxo constante, em cm³ cm⁻³;

H – É a carga hidráulica utilizada, em cm;

C – É o fator de geometria, em cm cm⁻¹;

a – É o raio do orifício onde as medições foram feitas, em cm;

K_{fs} – É a condutividade hidráulica do solo saturado, em cm s⁻¹;

ψ_m – É o potencial matricial do fluxo, em cm² s⁻¹.

O método empregado para a determinação da porosidade total e densidade do solo foi o do “anel volumétrico”, para a microporosidade o da “mesa de tensão”, e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).

Os resultados foram submetidos à análise conjunta e teste estatístico de Tukey para as comparações de médias a 5 % de probabilidade. Cada uso e ocupação do solo, ou seja, cada local coletado corresponde a um tratamento, cujo delineamento realizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições, correspondendo aos pontos de coleta.

A análise dos resultados foi realizada para cada classe de solo, sendo utilizado o programa computacional SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997). Para diminuir a amplitude das variâncias e do coeficiente de variação, foi realizada transformação raiz

quadrada dos dados de macroporosidade, taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, a macroporosidade apresentou diferença significativa no Latossolo para as duas camadas estudadas, e no Argissolo somente para a camada de 0,0 a 0,10 m. (Tabela 3).

Tabela 3. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m.

Uso e ocupação do solo	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Densidade do solo
	----- (m ³ m ⁻³) -----			(kg dm ⁻³)
Camada 0,0 a 0,10 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
M	0,08 AB*	0,26 A	0,34 AB	1,59 A
P ₁	0,07 AB*	0,26 A	0,33 AB	1,62 A
P ₂	0,04 B*	0,30 A	0,34 AB	1,61 A
P ₃	0,05 B*	0,26 A	0,31 B	1,68 A
P ₄	0,10 AB*	0,30 A	0,40 A	1,49 A
CA	0,15 A*	0,24 A	0,41 A	1,57 A
CV (%)	25,78	15,59	10,79	7,07
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
VD	0,09 BC*	0,34 A	0,44 B	1,45 A
P arg ₁	0,11 AB*	0,32 A	0,43 B	1,46 A
CA arg	0,17 A*	0,42 A	0,59 A	1,13 B
P arg ₂	0,04 C*	0,35 A	0,39 B	1,48 A
CV (%)	20,39	20,06	17,72	11,28
Camada 0,10 a 0,20 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
M	0,09 AB*	0,26 A	0,34 A	1,55 A
P ₁	0,06 AB*	0,25 A	0,31 A	1,67 A
P ₂	0,04 B*	0,28 A	0,32 A	1,65 A
P ₃	0,09 AB*	0,25 A	0,33 A	1,64 A
P ₄	0,08 AB*	0,28 A	0,36 A	1,56 A
CA	0,11 A*	0,27 A	0,38 A	1,62 A
CV (%)	24,57	18,32	13,89	6,40
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
VD	0,08 A*	0,34 AB	0,42 A	1,51 A
P arg ₁	0,12 A*	0,31 B	0,43 A	1,46 A
CA arg	0,09 A*	0,46 A	0,55 A	1,28 A
P arg ₂	0,06 A*	0,36 AB	0,42 A	1,50 A
CV (%)	23,61	19,23	21,54	13,86

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

M = Cultura da mangueira, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual, VD = Vegetação degradada, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Tal fato está correlacionado às características pedológicas das duas classes de solos. No Latossolo o perfil é mais homogêneo e profundo, não havendo muita variação nos teores de argila (RESENDE et al., 2007), e geralmente apresenta maior macroporosidade, devido além, da sua textura ser mais arenosa, ao tipo de estrutura deste solo, sendo esta propriedade influenciada pelo uso e ocupação do solo, por isso apresentando diferenças em ambas as

camadas. Já o Argissolo sofre esta influência somente na camada superficial, pois este, ao contrário do Latossolo, não é homogêneo, havendo de acordo com Resende et al. (2007) um gradiente textural entre o horizonte A e B, o que resulta em maior teor de argila no horizonte B, sendo as camadas abaixo da superfície mais argilosas, portanto com maior microporosidade, que não é influenciada pela cobertura do solo.

Os solos com textura arenosa apresentam partículas predominantemente grandes, apresentando tendência em formar agregados em uma disposição piramidal, por isso estes solos possuem maior quantidade de macroporos (TROEH; THOMPSON, 2007).

No Latossolo os menores valores de microporosidade foram observados para as pastagens (Tabela 3), e isso ocorreu devido ao estado de compactação dos solos desta área, o que diminui a presença de poros maiores. Ao contrário, a cultura anual apresentou os maiores valores, e tal fato está relacionado ao preparo do solo que havia sido realizado recentemente, proporcionando temporariamente maior presença de poros grandes. No Argissolo os valores estão próximos, nas duas camadas avaliadas, e isso ocorre devido às características pedológicas deste solo, como menor quantidade de macroporos, já salientada anteriormente.

Para a microporosidade, houve diferença significativa somente para a camada de 0,10 a 0,20 m no Argissolo (Tabela 3), observando para este solo maiores valores independentemente do uso e ocupação do solo, nas duas camadas avaliadas, devido aos maiores teores de argila contida neste solo (Tabela 1).

A microporosidade está diretamente relacionada à textura do solo que é uma característica pedológica e não sofre influência do uso e ocupação do mesmo, sendo esta associada diretamente ao material de origem deste solo, Vendruscolo et al. (2011) também observaram para solos argilosos maior proporção de microporos. Reinert e Reichert (2006) afirmam que a microporosidade é altamente influenciada pela textura do solo.

A porosidade total apresentou diferença significativa somente para a camada de 0,0 a 0,10 m nas duas classes de solos (Tabela 3), sendo observados os maiores valores para as culturas anuais nos dois solos, fato associado ao preparo do solo realizado dias antes da coleta, o que proporcionou uma maior porosidade temporária do solo.

De acordo com Gilles et al. (2009), o método convencional de preparo do solo, caracterizado por resultar em toda a extensão da superfície do solo trabalhada e elevado grau de fragmentação do solo mobilizado, deixa a superfície deste, descoberta e solta, condição que com o tempo desfavorece a conservação do solo.

Para a densidade dos solos, verificou-se que houve diferença significativa somente para o Argissolo na camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 3), e que os valores desta são menores para este solo. O contrário é observado para o Latossolo, cujos valores de densidade do solo são maiores, principalmente para as áreas cultivadas com pastagem, devido ao estado de degradação e conseqüente compactação das mesmas.

Este fato está também relacionado às características pedológicas, pois geralmente os solos com maiores teores de argila apresentam menores valores de densidade do solo, de acordo com Reichardt (1996), os valores normais de densidade para solos arenosos podem variar de 1,4 a 1,8 kg dm⁻³, enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos entre 0,9 a 1,6 kg dm⁻³, portanto naturalmente o Latossolo apresenta maiores valores de densidade do solo. Para Reinert e Reichert (2006) valores de densidade do solo associados ao estado de compactação, situam-se em torno de 1,65 kg dm⁻³ para solos arenosos e 1,45 kg dm⁻³ para solos argilosos. Os solos estudados se enquadram entre textura franco-arenosa e franco-argilo-arenosa, portanto, os solos estudados estão próximos ao risco de compactação, sendo a área mais crítica a cultivada com a pastagem (P₃) no Latossolo com 1,68 kg dm⁻³ (Tabela 3).

Os valores de taxa constante de infiltração, para a superfície do solo, apresentaram diferenças significativas nas duas classes de solos (Tabela 4), caracterizando a influência do uso e ocupação do solo sobre a porosidade deste na camada superficial, e consequentemente, a infiltração de água, independente da classe de solo.

Tabela 4. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, para a superfície.

Uso e ocupação do solo	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)	Condutividade hidráulica do solo saturado (cm h ⁻¹)
Latossolo Vermelho distrófico		
M	11,81 C*	1,69 B*
P ₁	14,00 C*	2,47 B*
P ₂	42,77 B*	12,90 A*
P ₃	17,77 C*	2,95 B*
P ₄	21,91 BC*	3,47 B*
CA	81,27 A*	18,41 A*
CV (%)	20,36	26,23
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico		
VD	15,68 B*	2,11 A*
P arg ₁	13,77 B*	2,39 A*
CA arg	54,86 A*	4,47 A*
P arg ₂	20,91 B*	3,89 A*
CV (%)	30,70	37,84

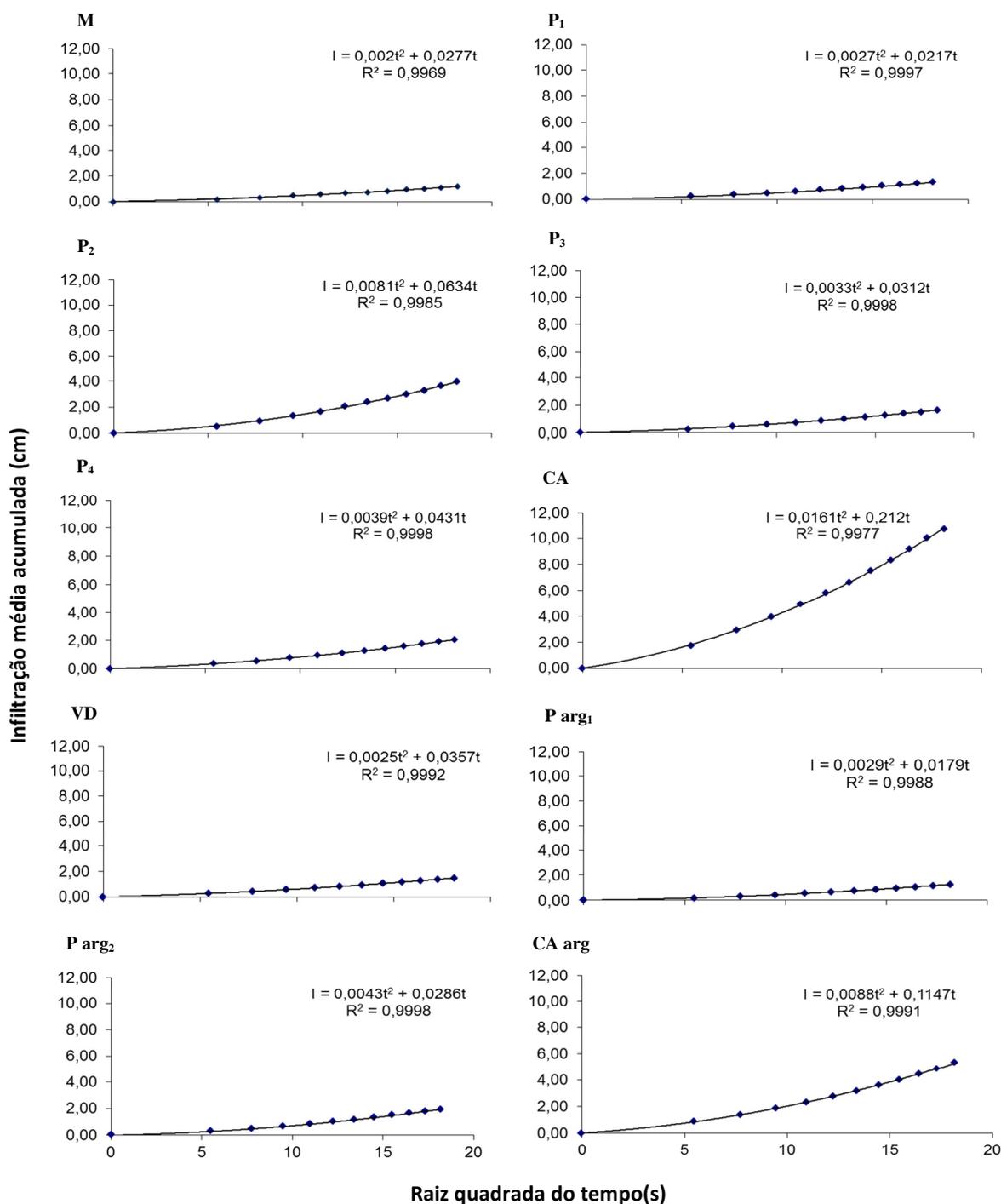
Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

M = Cultura da mangueira, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual, VD = Vegetação degradada, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Para a condutividade hidráulica do solo saturado houve diferença significativa somente para o Latossolo (Tabela 4), o que caracteriza a influência do uso e ocupação do solo para este atributo somente para esta classe de solo, devido às características pedológicas do mesmo, como perfil mais homogêneo, textura mais arenosa e estrutura destes solos, apresentando maior permeabilidade.

Com relação à infiltração média acumulada, na Figura 1 estão apresentados os gráficos dos resultados. Os valores da correlação R², estão próximos de 1, o que mostra um bom ajuste da curva aos pontos experimentais, ou seja, ocorreu uma boa estimativa dos parâmetros hídricos pelo modelo utilizado. Antonino et al. (2001) utilizando o permeâmetro de disco também encontraram valores de correlação R² próximos de 1. Observa-se que, para um mesmo tempo de infiltração, esta é maior para o Latossolo, apesar dos baixos valores de macroporosidade e porosidade total, os maiores valores de densidade do solo, e a compactação observada em algumas áreas, devido às características pedológicas desta classe de solo, por serem solos bastante permeáveis, e isso se deve além, da textura mais arenosa, à sua estrutura granular. Além disso, este fato também pode estar associado à forma e a continuidade dos poros.

Figura 1. Infiltração média acumulada (cm) em função da raiz quadrada do tempo (s), para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, sendo os usos no Latossolo – Cultura da mangueira (M), Pastagens (P₁, P₂, P₃ e P₄) e Cultura anual (CA), e no Argissolo – Vegetação degradada (VD), Pastagens (P arg₁, P arg₂) e Cultura anual (CA arg).



Além de quantificar o volume de poros é importante saber sobre a forma e a continuidade destes, pois se podem encontrar valores de porosidade inferiores ao adequado

para o desenvolvimento das plantas, e devido a uma boa conectividade entre os poros, esta situação não ser restritiva, havendo boa condução de água e gases no solo (COSTA, 2013).

Assim como para a infiltração acumulada, o maior valor de taxa constante de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado foi observado para as culturas anuais nos dois solos, como já comentado, devido às medidas terem sido realizadas logo após preparo convencional do solo. Quando se prepara o solo, a permeabilidade deste para as camadas superficiais tende a aumentar temporariamente, em razão da quebra da estrutura desta camada. Observa-se também para este uso, maiores valores de macroporosidade. Normalmente, o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade, e conseqüentemente do movimento de água no solo.

As áreas com pastagens apresentaram um dos menores valores de macroporosidade e os maiores valores de densidade do solo para as duas camadas, sendo maiores para as pastagens (P₃), (P₁) e (P₂) no Latossolo (Tabela 3), mostrando que estas são áreas bem compactadas, refletindo da menor macroporosidade das mesmas, devido ao pastoreio contínuo de animais.

Benito, Guimarães e Pasini (2008) estudando diferentes sistemas de manejo sobre os atributos de um Latossolo, também observaram maiores valores de densidade do solo para a pastagem. De acordo com Ceconi et al. (2007), em sistema de pastoreio contínuo além de favorecer a compactação do solo, há diminuição da qualidade das pastagens neste sistema, pois os animais percorrem maiores distâncias em busca de alimento e, conseqüentemente, o pastoreio é maximizado, aumentando a densidade do solo.

O menor valor de taxa constante de infiltração na superfície no Latossolo foi observado para o solo sob cultivo de manga (M) não diferindo estatisticamente da pastagem (P₁), provavelmente devido o solo de esta área estar compactado, apresentando densidade do solo igual a 1,59 kg dm⁻³ (Tabela 3). Para o Argissolo o menor valor de taxa constante de infiltração na superfície foi observado para a pastagem (P_{arg1}), não diferindo estatisticamente da área com vegetação degradada (VD), que também apresentou um valor baixo de taxa constante de infiltração, e isso ocorreu também devido a compactação do solo nestas áreas, assim como o observado para o Latossolo. A área com vegetação degradada é remanescente, situação que explica este fato, pois não é comum solos em áreas de mata apresentar compactação. Alves, Suzuki; Suzuki (2007) também observaram menores valores de taxa constante de infiltração em áreas compactadas.

Foi observado o mesmo para a condutividade hidráulica do solo, sendo os menores valores observados para a cultura da mangueira (M) no Latossolo e para a área com vegetação degradada (VD) no Argissolo. Não é normal área de floresta apresentar condutividade hidráulica menor que plantio convencional, isso se explica devido a dois fatos já salientados, o preparo convencional recém realizado que induziu melhores condições de permeabilidade do solo, e a área degradada com fragmento de mata ser remanescente. Estes fatos estão relacionados ao espaço poroso destes solos, pois a condutividade hidráulica está diretamente relacionada aos processos dinâmicos nos vazios do solo, Ribeiro et al. (2007), também observou que a condutividade hidráulica do solo variou conforme a distribuição e o tamanho dos poros dos solos.

Foram observados menores valores de infiltração acumulada, taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado para o Argissolo, devido ao maior conteúdo de silte e de argila presente neste solo (Tabela 1), fato relacionado às propriedades desta classe de solo como horizonte com gradiente textural e maior microporosidade, como já mencionado. Antonino et al. (2001) utilizando um permeâmetro de disco observaram para um mesmo tempo de infiltração, que as lâminas de água infiltradas foram inferiores no solo com

maior conteúdo de argila. Vedrusculo et al. (2011) também observaram menor taxa de infiltração de água no perfil do solo mais argiloso.

Há uma relação entre textura e microporosidade, solos mais argilosos possuem maiores valores de microporosidade. De acordo com Costa (2013), o movimento de água no solo ocorre nos macroporos, por isso solos com maior microporosidade tendem a apresentar menor permeabilidade, devido a isso, o Argissolo apresentou menor movimento de água no solo, e isso ocorreu devido às características pedológicas e não em relação ao uso e ocupação do solo. Além disso, de acordo com Resende et al. (2007), esta diferença no teor de argila entre o horizonte A e B, geralmente implica em uma diferença de permeabilidade, e esta irá diminuir em profundidade.

Por outro lado, solos com maiores teores de areia geralmente apresentam maior quantidade de macroporos, estando estes totalmente cheios de água, sendo todos os poros condutores, e conseqüentemente, proporcionando maior permeabilidade. O solo sob pastagem (P₂) no Latossolo apresentou o maior conteúdo de areia em relação aos demais (Tabela 1), porém, para as duas camadas estudadas, o menor valor de macroporosidade (Tabela 3).

A compactação do solo causa a redução da macroporosidade, apesar disso, a pastagem (P₂) apresentou o segundo maior valor de infiltração e o maior valor de condutividade hidráulica (Tabela 4), não diferindo estatisticamente da cultura anual (CA) que foi revolvida, o que pode estar relacionado além do maior conteúdo de areia, a maior continuidade dos poros.

Apesar de serem observados para o Latossolo, os maiores valores de infiltração acumulada, taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, foram observados para este, os maiores valores de densidade do solo nas duas camadas, e os menores valores de porosidade total.

De acordo com Alves; Suzuki; Suzuki (2007) que avaliaram as propriedades físicas de um Latossolo e um Argissolo, constataram que no Latossolo, os limites críticos de aeração são alcançados com menor grau de compactação do que no Argissolo. Apesar do estado de compactação dos solos, os Latossolos naturalmente são mais permeáveis que os Argissolos, devido às características texturais e estruturais do mesmo.

Observa-se que as melhores condições de permeabilidade foram para as culturas anuais, devido ao revolvimento e quebra da estrutura do solo, sendo uma melhoria temporária, já que as análises foram realizadas alguns dias após o preparo do solo. Com isso, observa-se a degradação das propriedades físicas dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, pois apesar de apresentarem boa permeabilidade, algumas áreas estão compactadas, fato que pode ocasionar prejuízos na permeabilidade destas com o tempo, principalmente nas áreas cultivadas com pastagens no Latossolo, ocasionando maior suscetibilidade à erosão nestas áreas.

Com relação aos valores de taxa constante de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado para as profundidades de 0,10 e 0,20 m (Tabela 5), observa-se que não houve diferença significativa, os valores são baixos e próximos em todos os usos, e nas duas classes de solos.

Tabela 5. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m.

Uso e ocupação do solo	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)		Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)	
	0,10 m	0,20 m	0,10 m	0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico				
M	0,07 A*	0,01 A*	0,14 A*	0,02 A*
P ₁	0,07 A*	0,13 A*	0,05 A*	0,14 A*
P ₂	0,36 A*	0,30 A*	0,22 A*	0,19 A*
P ₃	0,12 A*	0,15 A*	0,10 A*	0,10 A*
P ₄	0,25 A*	0,21 A*	0,36 A*	0,27 A*
CA	0,95 A*	0,12 A*	0,70 A*	0,13 A*
CV (%)	78,36	59,40	87,80	59,04
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
VD	0,22 A*	0,13 A*	0,09 A*	0,07 A*
P arg ₁	0,04 A*	0,16 A*	0,14 A*	0,25 A*
CA arg	0,35 A*	0,17 A*	0,05 A*	0,24 A*
P arg ₂	0,16 A*	0,03 A*	0,22 A*	0,06 A*
CV (%)	50,94	66,17	69,15	65,14

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

M = Cultura da mangueira, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual, VD = Vegetação degradada, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Foram observados menores valores quando comparados com os obtidos na superfície do solo, com o aumento da profundidade, há aumento dos conteúdos de argila, contribuindo para os menores valores observados para tais profundidades. Além disso, estes menores valores, também pode estar associado à compactação dos solos, pois para a maioria dos usos nas duas classes de solos observa-se que os valores de densidade do solo na camada de 0,10 a 0,20 m foram maiores (Tabela 3). Sendo observados maiores valores para o Latossolo nas áreas de cultura anual (CA) e das pastagens (P₁), (P₂) e (P₃).

A cultura anual (CA) provavelmente apresentou maior densidade do solo para esta camada devido ao efeito causado pelo preparo convencional, ocasionando compactação subsuperficial para estas áreas devido à utilização de máquinas e implementos no preparo do solo, o que também foi observado por Ceconi et al. (2007).

Observa-se para estas profundidades altos valores de coeficiente de variação para a taxa constante de infiltração e para a condutividade hidráulica do solo saturado (Tabela 5), estes resultados concordam com os obtidos por Scherpinski et al. (2010) e Silva et al. (2006). Isso se deve especialmente à alta variabilidade espacial dos solos, típicos das propriedades de movimentação tridimensional da água, de acordo com Scherpinski et al. (2010), o movimento de água nos solos depende do espaço poroso, e este parâmetro varia bastante de solo para solo, e também, para o mesmo solo em função das variações estruturais, o que explica os altos valores observados para o coeficiente de variação.

Silva et al. (2006) observaram para um Latossolo, coeficiente de variação igual a 128,42% e 83,01% para taxa constante de infiltração, e 123,03% e 105,65% para a condutividade hidráulica do solo saturado, para as profundidades de 0,10 e 0,20 m, respectivamente. Scherpinski et al. (2010) observaram valores de 90,83% para a taxa constante de infiltração e 110,24% para a condutividade hidráulica do solo saturado para a profundidade de 0,15 m em um Latossolo.

O movimento de água nos solos está relacionado à macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Diante disso, devido à degradação destas propriedades, e consequente compactação dos solos, nas áreas cultivadas com pastagens, cultivo de mangueira e vegetação degradada, há menor movimento de água nos solos para estas áreas. Além disso, as áreas com culturas anuais que apresentaram boa permeabilidade na camada superficial foi devido ao preparo convencional recente, o que proporcionou melhores condições temporárias.

Portanto, os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte apresentam propriedades físicas do solo sob processo de degradação, sendo importante salientar que apesar dos solos apresentarem boa permeabilidade, se não forem tomadas medidas para melhoria destas propriedades, com o tempo afetará a dinâmica da água nestes solos.

6 CONCLUSÕES

O movimento de água nos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte está relacionado à macroporosidade, porosidade total e densidade do solo.

Os solos da sub-bacia apresentam suas propriedades físicas sob processo de degradação, principalmente a porosidade e a densidade do solo, o que afeta a dinâmica da água nestes solos, podendo ocasionar com o tempo menor permeabilidade, e consequentemente maior suscetibilidade à erosão destes solos.

7 REFERÊNCIAS

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**, Viçosa, MG, v. 31, p. 617-625, 2007.

ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; SOUZA, E. S.; MACIEL NETTO, A.; CARNEIRO, C. J. G.; MONTENEGRO, A. A. A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, p. 247-253, 2001.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 320 p.

BENITO, N. P.; GUIMARÃES, M. F.; PASINI, A. Caracterização de sistemas de manejo em latossolo vermelho utilizando parâmetros biológicos, físicos e químicos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, p. 473-484, 2008.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 120 p.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F. Influência do uso do solo nas propriedades físicas na microbacia hidrográfica do Lageado Biguá, Alecrim-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD ROM.

COSTA, C. D. O. **Escoamento superficial e risco de erosão do solo na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Município de Ilha Solteira-SP**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

COSTA, C. D. O. **Perdas de solo e deposição de sedimentos em duas sub-bacias hidrográficas no entorno da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP**. 2013. 151f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, G. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

GOLÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, v. 17, p. 337-345, 2012.

QUEIROZ, H. A. **Caracterização fisiográfica e de alguns atributos físicos e químicos dos solos da microbacia Jardim Novo Horizonte, em Ilha Solteira, SP**. Ilha Solteira, 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e energia nos ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ, 1996. 160 p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal, 2006. 18 p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, v. 140, p. 292-302, 1985.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5.ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

RODRIGUES, S. **Permeabilidade ao ar em latossolo vermelho sob plantio direto e preparo convencional**. Piracicaba, 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS: system for elementary statistical analysis**. 2.ed. Cary, 1997. 905 p.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M. A.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração de água no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 7-13, 2010.

SILVA, M. M.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. P.; FERNANDES, F. C. S. Impacto do manejo nos atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho sob cerrado, no município de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 13-22, 2006.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6.ed. São Paulo: Andrei, 2007. 718 p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VANZELA, L. S. Caracterização da microbacia do cinturão verde de Ilha Solteira – para fins de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003. 1CD ROM.

VENDRUSCOLO, J.; RIBEIRO, T. S.; MESQUITA, F. O.; ALVES, A. S.; SANTOS, G. A. Propriedades físicas de um Latossolo e Argissolo comparados a quatro tipos de solos na Paraíba, Brasil. **Revista Verde**, v. 6, p. 204-212, 2011.

VIEIRA, S. R. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: WIERANGA, P.J.; BACHELET, D. **Of flow and transport models for the unsaturated zone**. Las Cruces: New Mexico State University, 1988. p. 471-483.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society American Journal**, v. 61, p. 1024-1030, 1997.