



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

Vieira, Márcio Luis; Klein, Vilson Antonio  
PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A  
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO  
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1271-1280  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061006>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# **PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO<sup>(1)</sup>**

**Márcio Luis Vieira<sup>(2)</sup> & Vilson Antonio Klein<sup>(3)</sup>**

## **RESUMO**

Uma das práticas mecânicas que podem ser adotadas também em solos sob plantio direto (PD) é a escarificação, que tem por objetivos reduzir a densidade do solo e a sua resistência mecânica à penetração das raízes e aumentar a permeabilidade do solo. O efeito dessas alterações sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas e o rendimento de grãos é dependente das condições climáticas vigentes. Em condições de umidade do solo ideal, as limitações físicas tendem a não se manifestar com muita intensidade. Este trabalho teve por objetivo estudar as alterações nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico típico, conduzido sob PD e submetido à descompactação por escarificação. Avaliaram-se a densidade do solo, a densidade máxima e umidade ótima de compactação, a densidade relativa, a infiltração da água e a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) e não-saturado ( $K\theta$ ), por meio de tensiometria a campo. Os resultados indicaram que a área com escarificação (PDE) apresentou infiltração de água e  $K_0$  superiores aos do PD, demonstrando ser uma alternativa para conservação do solo e da água, com efeitos que permaneceram por mais de um ano. A densidade do solo não apresentou diferenças entre os manejos, e o PDE mostrou menor densidade relativa. Conclui-se que a escarificação em solos sob PD tem efeitos por até 24 meses e melhora as condições para conservação do solo e da água.

**Termos de indexação:** compactação, conservação do solo e água, plantio direto.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado em Agronomia do primeiro autor apresentada à FAMV/UPF. Financiado pela FAPERGS para publicação em junho de 2006 e aprovado em julho de 2007.

# SUMMARY: HYDRO-PHYSICAL PROPERTIES OF AN OXISOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

*Chiseling is one of the mechanical practices that can be used in no-tillage (NT) soils in order to reduce soil bulk density, resistance to root penetration, and to increase water permeability. The effect of these changes on plant growth and consequently on grain yield depends on climatic conditions. In soils with ideal moisture conditions, the physical limitations tend to be less noticeable. This study aimed to analyze the changes in the physical and hydric properties of a chiseled Oxisol under NT system. The following soil parameters were assessed: bulk density, maximum dry density and optimum moisture content, relative density, water infiltration, and hydraulic conductivity of saturated ( $K_0$ ) and unsaturated soils ( $K_e$ ) through field tensiometry. The water infiltration and  $K_0$  in the chiseled soils were higher than in those of NT soils. The chiseling effects lasted for over one year, and this practice may be recommended for soil and water conservation. Bulk density did not differ significantly between the management systems. It was concluded that the effects of chiseling on NT soils can last for two years and can improve conditions for soil and water conservation.*

*Index terms: soil compaction, soil and water conservation, no-tillage.*

## INTRODUÇÃO

Dos componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na sua estrutura. Além das modificações na porosidade e densidade, o manejo provoca alterações na estrutura do solo, que afetam a retenção de água e a resistência mecânica, entre outros efeitos. Atualmente, no Brasil, como no resto do mundo, há grande preocupação com o aumento das áreas agrícolas com problemas de compactação, o que se deve em grande parte às operações mecanizadas realizadas sem considerar a umidade ideal do solo.

A compactação do solo é considerada por Freitas (1994) a maior limitação à alta produtividade das culturas em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento de raízes, diminui a capacidade de infiltração de água no solo e reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada para ser explorada pelas raízes. Destaca-se ainda que, por depender de vários fatores, como a variabilidade temporal da umidade do solo na zona do crescimento das raízes, o efeito da compactação na produção das culturas é difícil de ser quantificado.

O sistema plantio direto, no qual a semeadura é realizada em solo coberto por palha e, portanto, com o mínimo de revolvimento da camada superficial do solo, tende a minimizar a formação de camadas compactadas no solo; apesar disso, a utilização continuada do plantio direto pode resultar em aumento da densidade do solo. As operações agrícolas, quando realizadas fora da condição de umidade do solo ideal, provocam aumento da sua área compactada, o que

A infiltração é o processo da condução de água no sentido vertical descendente. A capacidade de infiltração de água no solo é afetada pela umidade inicial, porosidade e textura, condutividade hidráulica, dentre outros. Com o transcorrer do tempo, a capacidade de infiltração vai diminuindo, até atingir uma taxa constante de infiltração, que é denominada de máxima condutividade hidráulica da água no solo (Klein, 1998). O fluxo da água em solo saturado, na região do sistema radicular das plantas, é muito pouco estudado. No entanto, o conhecimento de fundamental importância para o entendimento dos processos de infiltração, redistribuição e suprimento de água às plantas (Klein, 1998). As propriedades físicas do solo, como a textura e a estrutura, determinam o fluxo de água no solo. Nesse sentido, Ellies et al. (1997) de importância da funcionalidade do sistema radicular do solo, englobando propriedades como: quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros. Todas essas propriedades do espaço poroso influenciam a condutividade, podem ser representadas pelo termo único "geometria porosa dos solos" (Libardi, 1997).

A condutividade hidráulica ( $K$ ) do solo não pode ser descrita como uma função  $K(\theta)$ , e sim como uma função da umidade volumétrica do solo, que traduz o fluxo de água em dada umidade. A condutividade hidráulica que esse fluxo pode representar para a região das plantas é, ainda, mais importante e foi estudada por Jong Van Lier & Libardi (1997), que observaram que uma raiz individual de uma planta é capaz de retirar água do solo a uma distância de 10 cm no intervalo de alguns dias. Esses resultados concordam com os de Hulugale & Willats (1997), que observaram que uma raiz individual de uma planta é capaz de retirar água do solo a uma distância de 10 cm no intervalo de alguns dias. Esses resultados concordam com os de Hulugale & Willats (1997), que observaram que uma raiz individual de uma planta é capaz de retirar água do solo a uma distância de 10 cm no intervalo de alguns dias.

crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que esta é a primeira limitante.

Segundo Sharma & Uehara (1968), a condutividade hidráulica, para Latossolos, decresce rapidamente quando pequenas tensões são aplicadas. Próximo à saturação, a condutividade foi de aproximadamente  $150 \text{ mm h}^{-1}$ ; com 10 kPa de tensão, foi reduzida para  $0,1 \text{ mm h}^{-1}$ . Othmer et al. (1991) atribuem isso à agregação desse solo, que proporciona distribuição bimodal do diâmetro dos seus poros, os quais são classificados como poros interagregados e intra-agregados. Nessa condição, os poros interagregados são facilmente esvaziados, fazendo decrescer rapidamente a condutividade, e os poros intra-agregados esvaziam-se mais lentamente, proporcionando assim condutividade menor. O comportamento da condutividade hidráulica, em solos com estrutura microagregada, próximo à saturação é diferente daquela de outros solos argilosos sem estrutura microagregada (Radulovich et al., 1992; Chen et al., 1993). Nesses solos, na faixa de umidade de domínio dos macroporos, a função  $K(\theta)$  é governada pelo potencial gravitacional, enquanto na faixa de umidade abaixo da capacidade de campo (poros intra-agregados) o potencial mátrico passa prevalecer, valendo para essa condição a clássica teoria, baseada na equação de Richards.

Estudando as mudanças nas características físicas do solo sob diferentes manejos, Blevins et al. (1984) concluíram que a condutividade hidráulica do solo não-saturado, em uma faixa de baixas tensões, foi maior para solos sob plantio direto do que em sistema de cultivo convencional. Em contraposição, Roth et al. (1988), estudando propriedades físicas e hídricas do solo em diferentes manejos, constataram que em potenciais abaixo de -20 kPa o plantio direto apresentou menores valores de condutividade hidráulica do que o manejo convencional, enquanto, acima deste potencial mátrico, apresentou valores superiores, o que, segundo os autores, é muito importante no contexto da determinação de água disponível às plantas. Essa aparente contradição pode ser explicada em função de alguns fatores, entre os quais a variação de manejos adotados dentro do plantio direto – uns com maior atividade biológica no solo, outros utilizando culturas com sistema radicular mais agressivo e profundo – e a própria variação das características físicas do solo.

Avaliando a condutividade hidráulica em Latossolo Roxo Roxo ácrico, submetido ao plantio direto com ou sem irrigação, comparando com o solo de mata em condição natural, Klein & Libardi (2002) concluíram que a condutividade hidráulica é diminuída por meio de alterações na estrutura do solo, como o aumento da densidade, a redução da porosidade total e a alteração da distribuição do diâmetro dos poros. A utilização de implementos de preparo do solo, como

destacam o incremento na capacidade de armazenamento de água, que uma escarificação pode ocasionar em um plantio direto.

A escarificação é apontada como uma ferramenta para proporcionar a descompactação do solo, não se sabe a duração de seus efeitos e de que forma atuam ao longo do tempo sobre o movimento da água no solo. O objetivo deste trabalho foi verificar a distribuição residual da escarificação em um solo sob plantio direto, sobre as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico típico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Centro de Pesquisa Agropecuária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Passo Fundo, no município de Passo Fundo, uma região com altitude média de 700 m e clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo Cfa 1 (subtropical chuvoso) e com coordenadas  $28^{\circ} 12' \text{ S}$  e  $51^{\circ} 55' \text{ W}$ . O solo da área experimental pertence à Unidade de Mapeamento Passo Fundo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico relevo ondulado e sobre basalto, com composição média de  $450 \text{ g kg}^{-1}$  de areia,  $210 \text{ g kg}^{-1}$  de silte e  $350 \text{ g kg}^{-1}$  de argila.

A área vinha sendo conduzida sob sistema de plantio direto contínuo por um período de oito anos. Em maio de 2003, realizou-se a escarificação da área, utilizando-se um escarificador modelo Matic, equipado com cinco hastes de corte parabólico, discos de corte e rolo destorcedor, nivelador, a uma profundidade média de 25 cm, a área existia azevém, o qual foi estabelecido a ressemeadura natural.

O delineamento experimental utilizou-se de faixas, com parcelas subdivididas e cinco repetições, sendo o sistema plantio direto (PD) e sistema de plantio direto escarificado (PDE) as parcelas principais e subparcelas constituídas das profundidades de amostragem de 2,5; 7,5; 12,5; 17,5; 22,5; e 27,5 cm, considerando o plano horizontal, que divide a amostra em duas partes iguais.

As amostras com estrutura preservada foram utilizadas na determinação da densidade dos solos coletadas nas mesmas profundidades, com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland, usando cilindro de aço inoxidável com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Juntamente, retiraram-se amostras com estrutura não-preserveda, para determinação da densidade máxima e umidade ótima de compactação (Proctor). A determinação da densidade do solo foi realizada conforme método descrito pela Embrapa.

Na determinação da densidade máxima

camadas, cada uma recebendo 25 golpes de um soquete de 2,5 kg, caindo de uma altura de 30,5 cm, semelhante ao preconizado por Nogueira (1998), correspondendo a uma energia de 560 kPa. Para obter a curva de compactação, o solo foi compactado em sete ou oito umidades, com intervalos de cerca de 1,5 % de umidade gravimétrica. Após cada compactação, foram retiradas três amostras do corpo cilíndrico formado (base, meio e topo), para determinação da umidade. Em ambos os manejos realizou-se apenas uma repetição para cada profundidade amostrada.

Com base nos valores de umidade gravimétrica e densidade do solo correspondentes, estimou-se a densidade máxima (Equação 1) e a umidade ótima de compactação (Equação 2) de cada uma das amostras de cada profundidade. Os resultados da densidade em função da umidade gravimétrica ( $U_g$ ) do solo foram ajustados, minimizando-se a soma dos quadrados dos desvios, obtendo-se uma equação polinomial de segundo grau.

$$\text{Densidade máxima} = \frac{-(b^2 - 4ac)}{4a} \quad (1)$$

$$U_g \text{ ótima} = \frac{b}{2a} \quad (2)$$

em que  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros empíricos do ajuste da equação polinomial de segundo grau.

Para determinação da densidade relativa (DR) (Klein, 2006), dividiu-se a densidade do solo no campo pela densidade máxima do solo para todas as profundidades, obtida por meio do ensaio de Proctor normal, utilizando a equação (3).

$$DR = \frac{\text{Densidade do solo}}{\text{Densidade máxima do solo}} \quad (3)$$

A determinação da taxa de infiltração da água do solo foi realizada 24 meses após a escarificação, utilizando o método de inundação com cilindros concêntricos equipados com bóia, até obtenção da taxa constante de infiltração, conforme descrito por Klein (1998). Os resultados foram ajustados à equação de Kostiakov.

Também após 24 meses da escarificação, foram coletadas amostras de solo com aproximadamente 300,41 cm<sup>3</sup> (7,5 cm de diâmetro e 6,8 cm de altura), com as quais foi determinada a condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório, conforme método proposto pela Embrapa (1997), utilizando-se um permeâmetro de carga constante, por meio da equação 4. Na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório foram utilizadas quatro camadas (0 a 7,5; 7,6 a 15; 15,1 a 22,5; e 22,6 a 30 cm) e três repetições.

$$K = \frac{q \times L}{A \times H \times t} \quad (4)$$

em que  $K$  = condutividade hidráulica (cm h<sup>-1</sup>);  $q$  =

Para determinação do potencial mátrico foram utilizados tensiômetros com manômetro de mercúrio no campo. Antes da construção dos tensiômetros, as cápsulas porosas foram submetidas aos testes de condutância e pressão de borbulhamento, selecionando-se as que apresentavam condutância maior que 1.10<sup>-5</sup> cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, seguindo recomendação de Cassel & Klute (1986), e pressão de borbulhamento superior a 100 kPa. Depois de terminada a construção dos tensiômetros, efetuou-se novamente o teste de pressão de borbulhamento para verificar vazamentos, conforme método proposto por Klute (1997). Para determinação da condutividade hidráulica do solo não-saturado ( $K_\theta$ ), seis baterias (três tratamentos) de sete tensiômetros foram instaladas no campo 24 meses após a escarificação. As cápsulas porosas dos tensiômetros foram instaladas nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm.

Utilizou-se o método do perfil instantâneo proposto por Hillel (1970); para delimitar as parcelas foram utilizadas folhas de flandres de 0,05 mm de espessura, 0,35 m de altura e 13 m de comprimento, amarradas nas extremidades por meio de grampos e obtendo-se um círculo com 3 m de diâmetro e aproximadamente 10 m<sup>2</sup> de área inundada. Abriu-se um sulco circular, com 0,2 m de profundidade, para a introdução da folha de flandres. Após fechamento do círculo iniciou-se a inundação das parcelas. Durante a infiltração, para evitar a evaporação de água, cobriu-se a parcela com lonas de plástico e com isopor junto aos tensiômetros.

No  $t = 0$  de redistribuição de água iniciaram-se as leituras diárias dos tensiômetros, sempre às 7h da manhã, antes de o sol esquentar o plástico. Durante os testes dos tensiômetros e dos espagueteiros, o qual é utilizado para acarretar erros nas determinações. As leituras foram efetuadas durante um período de aproximadamente 21 dias. Com os valores de potencial mátrico obtidos por meio das leituras dos tensiômetros e as leituras de retenção, gráficos de armazenagem da água em função da profundidade e do tempo para cada profundidade e manejo foram confeccionados, e os dados, ajustados a uma equação do tipo potencial (Equação 5).

$$h_z = at^b$$

em que  $h_z$ : armazenagem de água no solo (mm);  $z$ : profundidade  $z$  (mm);  $t$ : tempo (h);  $e$ : "a" e "b": parâmetros empíricos.

Derivando a equação 5 com relação ao tempo, obtém-se a equação 6, para cálculo do fluxo de água em cada profundidade e tempo. No campo, o gradiente de potencial total obtido por meio dos tensiômetros foram utilizados valores de potencial mátrico logo acima e logo abaixo da profundidade em que se encontra o tensiômetro (Equação 7), razão pela qual não foi possível determinar a condutividade na primeira e última profundidade.

$$\text{grad } \Phi t(Z_i) = (\Phi t(Z_i - 1) - \Phi t(Z_i - 1)) / (Z_i - 1 - Z_i - 1) \quad (7)$$

$$K(\theta) = q / \text{grad } \Phi t \quad (8)$$

Para obtenção de uma relação entre K e θ ajustaram-se os valores de K(θ) (mm h<sup>-1</sup>) em função de θ (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), para cada profundidade e manejo de solo, pela seguinte equação:

$$K = \text{EXP}^{a\theta + b} \quad (9)$$

em que K = condutividade hidráulica (mm h<sup>-1</sup>); θ = umidade volumétrica do solo (m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>); e “a” e “b” = parâmetros empíricos.

Os resultados de infiltração de água no solo foram analisados por meio do teste “t”, enquanto os demais resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 0,05 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que para os valores de densidade do solo na média dos manejos (Quadro 1) não houve diferença significativa. Esses dados são importantes, pois concordam com Ralisch et al. (2001), os quais concluíram que a escarificação tem efeito somente para uma cultura, não tendo efeito residual para outras culturas subseqüentes, enquanto Pierce et al. (1992) relatam que o efeito da escarificação pode persistir por anos em um solo franco-arenoso. Quanto à densidade do solo em profundidade, não foi verificada diferença significativa entre os manejos.

A densidade do solo não apresentou diferenças significativas entre os manejos. Na camada superficial essa diferença foi 8,09 % maior no PD do que no PDE, o que está de acordo com os resultados de Assis & Lanças (2004), que também constataram diminuição da densidade do solo em profundidade com o tempo de adoção do sistema plantio direto, principalmente a partir dos 12 anos de implantação. Deve-se observar que os resultados relacionados com os sistemas de manejo do solo apresentam diversidade de respostas a um mesmo sistema, por causa de características do solo, da planta e do clima. A escarificação não manteve a redução de densidade do solo, porque, embora o escarificador promova mobilização do solo, ocasionando o empolamento, com o aumento da porosidade total (Klein et al., 1995), com o passar do tempo, ocorre novamente adensamento natural devido à ausência de revolvimento, e também à compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas (De Maria et al., 1999).

A densidade máxima e a umidade ótima de compactação do solo determinada por meio do ensaio de Proctor (Quadro 2) foram semelhantes. As equações utilizadas para calcular a densidade máxima do solo e a umidade gravimétrica ótima de compactação

mento distinto em virtude da variação de matéria orgânica e umidade, encontrando-se no Latossolo Vermelho-Amarelo com teor de 370 g kg<sup>-1</sup>, DMS de 1,57 Mg m<sup>-3</sup> e umidade de 200 g kg<sup>-1</sup> e, em um Latossolo Vermelho com teor de argila, DMS de 1,44 Mg m<sup>-3</sup> e umidade de compactação de 0,26 kg kg<sup>-1</sup>.

A densidade relativa (DR) no campo foi maior no PD do que no PDE (Quadro 4), apresentando diferença entre manejos e profundidades de 12,5 e 1,5 %, respectivamente. Nos manejos não ocorreram diferenças entre as profundidades, demonstrando a uniformidade da densidade do solo em profundidade.

Quadro 1. Densidade do solo em função de profundidade

Profundidade	PD	PDE
cm	Mg m <sup>-3</sup>	
2,5	1,52 Aa	1,40 Aa
7,5	1,47 Aa	1,43 Aa
12,5	1,47 Aa	1,43 Aa
17,5	1,37 Ab	1,42 Aa
22,5	1,36 Ab	1,41 Aa
27,5	1,32 Ab	1,33 Aa
Média	1,42 A	1,40 A
CV (%)	4,98	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5 %.

PD: plantio direto, PDE: plantio direto escarificado.

Quadro 2. Densidade máxima do solo (DMS) e umidade gravimétrica ótima (UG) em função de profundidade e manejo

Profundidade	PD		PDE
	DMS	UG	DMS
cm	Mg m <sup>-3</sup>	kg kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>
2,5	1,55	0,219	1,55
7,5	1,57	0,218	1,59
12,5	1,50	0,237	1,60
17,5	1,48	0,228	1,54
22,5	1,52	0,244	1,60
27,5	1,48	0,261	1,57

**Quadro 3. Equações para cálculo de densidade máxima do solo (DMS) e umidade gravimétrica ótimas em função do manejo e profundidade**

Manejo	Profundidade	Equação
PD	cm	
	2,5	$\hat{y} = -40,279x^2+17,675x-0,3871$
	7,5	$\hat{y} = -35,555x^2+15,469x-0,1141$
	12,5	$\hat{y} = -34,080x^2+16,163x-0,4189$
	17,5	$\hat{y} = -53,584x^2+24,408x-1,2979$
	22,5	$\hat{y} = -56,379x^2+27,486x-1,8307$
	27,5	$\hat{y} = -22,173x^2+11,578x-0,0914$
PDE	2,5	$\hat{y} = -38,906x^2+16,776x-0,2589$
	7,5	$\hat{y} = -36,378x^2+15,460x-0,0474$
	12,5	$\hat{y} = -39,045x^2+15,907x-0,0189$
	17,5	$\hat{y} = -33,103x^2+15,209x-0,2117$
	22,5	$\hat{y} = -42,952x^2+18,042x-0,2909$
	27,5	$\hat{y} = -40,442x^2+17,616x-0,3513$

PD: plantio direto, PDE: plantio direto escarificado.

Comparando os manejos nas profundidades, o PD apresentou DR superior ao PDE na profundidade de 12,5 e 27,5 cm, indicando possível compactação do solo nessas profundidades. Beutler & Centurion (2005) concluíram que a densidade relativa ótima para produtividade de soja em casa de vegetação foi superior no Latossolo Vermelho eutroférico argiloso (0,84), comparada à do Latossolo Vermelho caulinitico textura média (0,75) na tensão de 0,01 MPa, e que no campo a densidade relativa ótima para a soja foi de 0,80.

Os resultados da capacidade de infiltração da água no solo feita no campo para os manejos PD e PDE foram ajustados à equação de Kostiaikov; esse ajuste pode ser considerado baixo (inferior a 10 %), indicando alta variabilidade espacial dessa propriedade, o que também foi destacado por Lima & Silans (1999) e Cichota et al. (2003).

A taxa inicial, bem como a final, de infiltração aos 180 min foi afetada pelo manejo do solo (Figura 1), observando-se diferença na taxa inicial de infiltração a favor do PDE de 1,54 vez e, na taxa final, de 2,12 vezes. O PD apresentou taxa final de infiltração de 12,72 mm h<sup>-1</sup> e o plantio direto escarificado, de 27,07 mm h<sup>-1</sup>. O efeito da escarificação após 24 meses é constatado pela maior taxa de infiltração. O mesmo efeito foi observado por Camara & Klein (2005), que

**Quadro 4. Densidade relativa do solo em função do manejo e profundidade**

Profundidade	PD	PDE
cm		
2,5	0,978 Aa	0,901 Aa
7,5	0,937 Aa	0,898 Aa
12,5	0,984 Aa	0,892 Ba
17,5	0,927 Aa	0,922 Aa
22,5	0,896 Aa	0,871 Aa
27,5	0,930 Aa	0,849 Ba
Média	0,942 A	0,889 B
CV (%)	4,92	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste Duncan a 5 %.

PD: plantio direto, PDE: plantio direto escarificado.

Quanto à condutividade hidráulica do solo, esta foi determinada aos 24 meses após escarificação (Quadro 5), os resultados demonstraram que

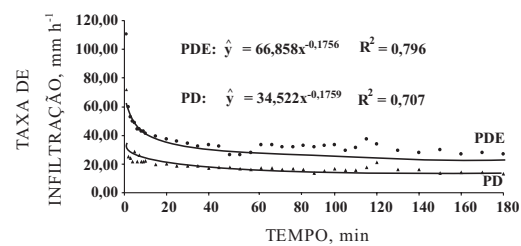


Figura 1. Taxa de infiltração da água no solo em função dos sistemas de manejo.

Quadro 5. Condutividade hidráulica em solo saturado em função do manejo e profundidade

Profundidade	PD	PDE	Média
cm	mm h <sup>-1</sup>		
3,75	62,74 Ba	397,84 Aa	230,32 a
11,25	38,28 Bb	185,68 Ab	111,98 b
18,75	22,04 Bc	114,35 Ac	68,19 c
26,25	11,68 Bd	31,00 Ad	21,34 d
Média	33,70 B	182,22 A	
CV (%)	15,22 %		

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste Duncan a 5 %.

PD: plantio direto, PDE: plantio direto escarificado.

Quadro 6. Parâmetros empíricos (a, b) do ajuste da variação de armazenagem de água no solo em função da profundidade z (cm), em função do tempo e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>)

Profundidade (z)	Manejo				
	PD			PDE	
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b
cm	mm h <sup>-b</sup>			mm.h <sup>-b</sup>	
10	42,568	-0,0155	0,94	44,430	-0,0229
15	67,118	-0,0094	0,97	67,067	-0,0210
20	95,228	-0,0146	0,98	93,025	-0,0178
25	120,880	-0,0130	0,97	117,810	-0,0208
30	144,660	-0,0176	0,99	145,430	-0,0197

superiores no PDE em relação ao PD: ocorreram diferenças estatísticas significativas entre os manejos, entre profundidades dentro dos manejos e nas médias dos manejos. É importante considerar que a elevada

importante condição de maior infiltração, ou seja, de água no solo, pois dentro do microrrelieve a superfície do solo a água tende a se mover para áreas mais baixas, podendo encontrar condições de maior infiltrabilidade.

Analisando os parâmetros empíricos de ajuste dos dados experimentais, a equação 5 e seus respectivos coeficientes de determinação (Quadro 6) para as profundidades e manejos, constatou-se o bom ajuste dos dados à equação, com valores de R<sup>2</sup> superiores a 0,90 e, na maioria dos casos, os valores sempre próximos de 0,99. A similaridade dos parâmetros empíricos entre os manejos demonstra certa uniformidade do comportamento da água no solo após 24 meses da escarificação.

Para o fluxo de água no solo (q) nas diferentes profundidades e tempos, calculado pela equação 6, observa-se depleção de água semelhante para os dois manejos (Quadro 7). Com o gradiente de umidade total calculado pela equação 7, calculou-se a condutividade hidráulica (K) por meio da equação 8. Do ajuste de K em função de  $\theta$  obtiveram-se os parâmetros empíricos da equação 9 (Quadro 8).

Era esperado que ocorressem diferenças na taxa de água e nos respectivos perfis de umidade, pois, com o tempo, no solo sob PDE em relação ao PD, segundo Wu et al. (1992), o preparo do solo por escarificação induz mudança na macroporosidade, influenciando o movimento de água no solo.

não teve efeito residual após 24 meses da escarificação, também em relação à interação de sistema de manejo versus profundidade. A partir do cálculo do coeficiente mátrico, por intermédio dos tensiômetros, verificou-se



Quadro 7. Fluxo de água no solo no sentido descendente, durante a redistribuição da água no solo, sob PD e PDE, em função dos manejos em profundidade

Tempo (h)	Profundidade (m)								
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,10	0,15	0,20	0,25
mm dia <sup>-1</sup>									
	PD					PDE			
8	7,139	7,912	6,878	7,763	6,321	7,019	7,304	7,584	6,736
22	1,496	1,692	1,433	1,654	1,296	1,466	1,538	1,609	1,397
46	0,858	0,985	0,819	0,961	0,732	0,839	0,886	0,932	0,796
70	0,850	0,984	0,809	0,958	0,719	0,830	0,879	0,928	0,785
94	0,845	0,984	0,803	0,957	0,710	0,824	0,874	0,925	0,777
118	0,840	0,983	0,798	0,956	0,703	0,820	0,871	0,923	0,772
142	0,837	0,983	0,793	0,955	0,698	0,816	0,868	0,921	0,767
190	0,831	0,982	0,787	0,953	0,689	0,810	0,864	0,918	0,760
238	0,827	0,982	0,782	0,952	0,682	0,805	0,860	0,916	0,754
286	0,824	0,982	0,778	0,951	0,677	0,801	0,858	0,915	0,750
334	0,821	0,981	0,775	0,950	0,672	0,798	0,855	0,913	0,746
382	0,819	0,981	0,772	0,949	0,668	0,796	0,853	0,912	0,743
430	0,816	0,981	0,769	0,949	0,665	0,793	0,852	0,911	0,740
454	0,815	0,981	0,768	0,948	0,663	0,792	0,851	0,911	0,738

PD: plantio direto, PDE: plantio direto escarificado.

Quadro 8. Parâmetros empíricos (a, b) para cálculo da condutividade hidráulica (mm h<sup>-1</sup>) do solo não saturado, sob PD e PDE, em função dos manejos em profundidade e do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>)

Profundidade (z)	Manejo				
	PD			PDE	
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b
cm	mm h <sup>-b</sup>				
10	-11,593	1,343	0,69	-8,209	2,885
15	-11,820	1,132	0,66	-16,825	6,351
20	-14,906	3,852	0,82	-45,713	19,713
25	-13,698	3,393	0,85	-43,093	20,362
30	-15,273	4,674	0,84	-39,040	18,533

PD: plantio direto, PDE: plantio direto escarificado.

As baixas correlações constatadas entre as equações de regressão de ln (K) em função de  $\theta$  – com seus coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) menores do que 0,90 na sua maioria – devem-se principalmente à pequena variação de umidade no perfil do solo, pois, após 21 dias de saturação, o potencial métrico do solo em ambas

CONCLUSÕES

1. Uma escarificação em um Latossolo sob PD tem efeito por até 24 meses e melhora as condições para conservação do solo e da água.

## PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A DIFERENTES

3. O revolvimento do solo não influenciou sua densidade, mas aumentou a condutividade hidráulica do solo saturado e a taxa de infiltração de água no solo, dois anos após o preparo, comprovando efeito residual.

### LITERATURA CITADA

- ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. Efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação de um Nitossolo Vermelho distroférrico. R. Bras. Ci. Solo., 28:337-345, 2004.
- BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Matéria seca e altura de plantas de soja e arroz em função do grau de compactação e do teor de água de dois Latossolos. Eng. Agric., 24:843-849, 2005.
- BLEVINS, R.L.; SMITH, M.S. & THOMAS, G.W. Changes in soil properties under no-tillage. In: PHILLIPS, R.E. & PHILLIPS, S.H., eds. No-tillage agriculture: Principles and practices. New York, VNR, 1984. p.190-230.
- CAMARA, R.C. & KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. R. Bras. Ci. Solo., 29:789-796, 2005.
- CASSEL, D.K. & KLUTE, A. Water potential: Tensiometry. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Physical, chemical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.563-596.
- CASSEL, D.K.; BOWEN, H.D. & NELSON, L.A. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk Sandy Loam. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:116-120, 1978.
- CHEN, C.; THOMAS, D.M.; GREEN, R.E. & WAGENET, R.J. Two-Domain estimation of hydraulic properties in macropore soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 57:680-686, 1993.
- CICHOTA, R.; JONG van LIER, Q. & LEGUIZAMÓN ROJAS, C.A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. R. Bras. Ci. Solo., 27:789-798, 2003.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo., 23:703-709, 1999.
- DIAS JUNIOR, M.S. & MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). Ci. Agropec., 24:337-346, 2000.
- ELLIES, A.; GREZ, R. & RAMIREZ, C. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del suelo. Agro Sur., 5:51-56, 1997.
- FREITAS, P.L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N., ed. Experiências de plantio direto no Cerrado. Goiânia, APDC, 1994. p.199-213.
- HILLEL, D. Solo e água: Fenômenos e princípios físicos. Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231p.
- HULLUGALE, N.R. & WILLATT, S.T. The role of soil moisture in determining water uptake by plant root systems. J. Soil Res., 21:571-574, 1983.
- JONG van LIER, Q. & LIBARDI, P.L. Extraction of water by plants: Development and validation of a model. Ci. Solo., 21:535-542, 1997.
- KLEIN, V.A. Densidade relativa – um indicador de compactação física de um Latossolo Vermelho. R. Ci. Agropec., 2006.
- KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 150p. (Tese de Doutorado)
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Ci. Rural, 32:945-953, 2002.
- KLEIN, V.A.; BOLLER, W.; CANDATEN, A.; BOLLER, D.R. & DALPAZ, R.C. Avaliação de escarificação e resposta da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo., 31:1, 1995.
- LIBARDI, P.L. Determinação da condutância hidráulica sob pressão de borbulhamento de cápsulas por tensiômetros. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 10p.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, 2005. 335p.
- LIMA, C.A.G. & SILANS, A.P. Variabilidade da taxa de infiltração de água no solo. Pesq. Agropec. Bras., 23:20, 1999.
- MUKTAR, S.; BAKER, J.L.; HORTON, R. & ERICSSON, L. Soil water infiltration as affected by the tillage system. Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 28:1, 1985.
- NOGUEIRA, J.B. Mecânica dos solos: Ensaios de compressão. São Carlos, USP, EESC, 1998. 248p.
- OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B. & KUTILEK, M. Porosity and unsaturated hydraulic conductivity of soils. J. Soil Water Res., 52:139-150, 1991.
- PIERCE, F.J.; FORTIN, M.C. & STATON, M.J. Rotational tillage and residual effects of zone-tillage in rotational tillage on soil physical properties and corn production. Soil Till. Res., 30:149-165, 1992.

- RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. & ALMEIDA, M.V.P. Avaliação de um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo à penetração In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., Foz do Iguaçu, 2001. Resumo expandido. Foz do Iguaçu, CONBEA, 2001. CD-ROM.
- ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. & DERPSCH, R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. Soil Till. Res., 11:81-91, 1988.

- SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e conservação. R. Bras. Ci. Solo, 28:797-804, 2004.
- SHARMA, M.L. & UEHARA, G. Influence of soil water relations in low Humic Latosols: water movement. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32:770-774, 1968.
- WU, L.; SWAN, J.B.; PULSON, W.H. & RANDAL, C. Effects of tillage on measured soil hydraulic properties. Soil Till. Res., 25:17-33, 1992.