

# SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

## INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM UM PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO SOB DOIS MÉTODOS DE PREPARO, USANDO CHUVA SIMULADA COM DUAS INTENSIDADES<sup>(1)</sup>

M. C. ALVES<sup>(2)</sup> & M. S. V. CABEDA<sup>(3)</sup>

### RESUMO

**Realizou-se no campo, num Podzólico Vermelho-Escuro, um experimento, para estudar a taxa de infiltração, tempos de empoçamento e início de escoamento superficial de água, sob preparo convencional e plantio direto, usando chuva simulada de intensidades médias constantes de 63,0 e 87,0 mm h<sup>-1</sup>. Foi usado um microsimulador de chuvas com bicos Veejet 80-100 e 80-150, sendo a área de observação para os testes de infiltração de 0,82 m<sup>2</sup>. O modelo de Smith foi empregado para descrever o processo de infiltração. Foram usadas parcelas subdivididas com quatro repetições, cultivadas com aveia (*Avena strigosa*) e soja (*Glycine max*). Os tempos de empoçamento e de início de escoamento diminuíram com o aumento da intensidade de chuva. Considerando os tipos de preparos, os tempos foram menores no plantio direto. A infiltração acumulada e a taxa constante de infiltração foram maiores no plantio direto. Neste preparo, não houve diferença na taxa constante para as duas intensidades; para o preparo convencional, a taxa foi menor sob a chuva de maior intensidade. O parâmetro b do modelo teve pequena variação e a taxa constante de infiltração foi superestimada.**

**Termos de indexação: movimento da água, taxa de infiltração, características físicas, manejo e conservação do solo.**

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em outubro de 1998 e aprovado em junho de 1999.

<sup>(2)</sup> Professora Assistente-Doutor do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br.

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caixa Postal 776, CEP: 90001-970 Porto Alegre (RS).

**SUMMARY:** *WATER INFILTRATION IN A DARK-RED PODZOLIC UNDER TWO TYPES OF TILLAGE, USING SIMULATED RAINFALL WITH TWO INTENSITIES*

*A field experiment, arranged in a four-replication split-plot design, was conducted in a Dark-Red Podzolic (Paleudult) to study infiltration rates, ponding time and initial runoff under conventional and no-tillage methods, plots cultivated with oats (*Avena strigosa*) and soybeans (*Glycine max*), using simulated rainfall with constant mean intensities of 63.0 and 87.0 mm/h. A small rainfall simulator with 80-100 and 80-150 Veejet nozzles was used, and the test sites had 0.81 m<sup>2</sup>. Smith's model was adjusted to the observed data. Ponding times and initial runoff times decreased with increasing rain intensity, being always smaller for no-tillage. Accumulated and constant rate of infiltration were greater for no-tillage. Constant rate of infiltration decreased with increasing rain intensity for conventional tillage, with no differences detected for no-tillage. The exponent *b* of the infiltration model showed a small variation and constant infiltration rates were slightly superestimated.*

*Index terms: water movement, infiltration rate, physical properties, soil management and conservation.*

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola da Depressão Central do Rio Grande do Sul vem crescendo nos últimos anos, em virtude da expansão da área agrícola, atingindo as regiões de relevo ondulado e suavemente ondulado. Utilizando uma agricultura intensiva, com motomecanização, o preparo convencional é o mais difundido e o menos aconselhável, tornando necessários estudos sobre o comportamento dos solos da região.

Pesquisas vêm demonstrando que o preparo convencional altera mais acentuadamente as condições físicas do solo, pela desagregação superficial, favorecendo, quando da incidência de chuva, o aparecimento de crosta superficial (superfície de selamento), e pela compactação subsuperficial, além de diminuir a infiltração de água e facilitar o processo erosivo (Biscaia, 1978; Silva, 1980; Souza, 1985; Cassol & Anghinoni, 1995; Klepker & Anghinoni, 1995). Para Reichert et al. (1993), as forças responsáveis pela desagregação do solo podem ser divididas em: (a) abrasão por implementos de cultivo; (b) impacto de água (gotas de chuva) e cisalhamento pela água (escoamento), e (c) entrada de água nos agregados. Segundo esses autores, a energia cinética da chuva tem sido a principal medida usada para descrever o potencial da chuva em causar desestruturação de agregados na superfície e erosão do solo.

Na tentativa de solucionar os problemas decorrentes do preparo convencional, surgiram os preparos conservacionistas, que proporcionam menor mobilização do solo e mantêm maior proteção da superfície com os resíduos culturais. O plantio direto é um tipo de preparo conservacionista que procura minimizar a mobilização do solo. Apenas ao

longo das fileiras é que ocorre revolvimento, apresentando entre estas uma superfície de baixa rugosidade, porém com alta cobertura residual, que protege o solo.

No preparo convencional, os resíduos culturais são queimados antes do preparo, ou incorporados ao solo, deixando a sua superfície menos protegida. Quando da incidência de uma chuva, o principal fator responsável pela formação da superfície de selamento é o próprio impacto das gotas (Neal & Baver, 1937). O selamento é resultado do rearranjo das partículas desagregadas, formando uma camada compacta na superfície, de aparência lisa, que diminui o fluxo de água (Duley, 1939).

Em alguns solos, os repetidos impactos das gotas de chuva contribuem para a redução da taxa de infiltração por duas maneiras: (a) diminuição da rugosidade superficial, reduzindo as chances de empoçamento, e (b) formação de uma fina camada adensada na superfície, com uma condutividade menor do que a do solo subjacente. Essa camada recebe o nome de selo superficial e, depois de seca, torna-se uma crosta superficial, podendo reduzir a permeabilidade do solo em até 90% (Chaves et al., 1993).

Quando um solo começa ser cultivado, há alterações na sua estrutura natural (Alderfer & Merkle, 1941). Lal (1974) verificou uma redução de 40 e 73% na infiltração acumulada, numa área cultivada com milho, por um ano, e em outra preparada e sem cobertura durante o mesmo período, respectivamente, comparadas com uma área sob floresta. Segundo o autor, as diferenças foram devidas às alterações na estrutura, principalmente na superfície. A energia cinética das gotas de chuva é responsável por essas alterações, causando o selamento, que reduz a infiltração acumulada (Lal,

1974) e a taxa de infiltração (Mannering & Wiersma, 1970). Reichert et al. (1992) verificaram que o selamento superficial reduziu consideravelmente a infiltração de água em sete solos do Rio Grande do Sul, tendo sido essa redução maior em solos expansivos ou com alta dispersão de partículas. Os autores verificaram também que solos com rápido selamento não necessariamente apresentaram baixa taxa constante de infiltração.

Anjos et al. (1994), trabalhando em um Podzólico Vermelho-Escuro distrófico de Içara, região sul de Santa Catarina, constataram que o cultivo convencional, durante trinta anos, provocou uma diminuição acentuada na infiltração. Observaram também um aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total e condutividade hidráulica. Isto porque, no preparo convencional, os macroporos são destruídos pelas operações de preparo. Wu et al. (1992), citados por Barcelos et al. (1999), relataram que, no plantio direto, os poros conduzem água mais eficientemente do que no preparo convencional.

Barcelos et al. (1999) verificaram em um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa maior taxa de infiltração de água no plantio direto, quando comparado ao preparo convencional, sendo a taxa constante de infiltração 18% inferior no preparo convencional. Diminuindo a taxa de infiltração de água no solo, aumenta o escoamento superficial e, conseqüentemente, aumentam os riscos de perdas de solo. O processo de infiltração é de grande importância prática, segundo Reichardt (1996), pois sua taxa ou velocidade muitas vezes determina o deflúvio superficial ("run-off") ou enxurrada, responsável pelo fenômeno da erosão durante precipitações pluviais. A infiltração determina o balanço de água na zona das raízes e, por isso, o conhecimento do processo e de suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água. Portanto, sistemas de manejo do solo que visem à proteção da sua superfície e ao aumento da infiltração de água devem ser otimizados.

O solo em estudo estava sendo cultivado há três anos com a sucessão aveia-soja, sob preparo convencional e plantio direto. Com o objetivo de avaliar os efeitos no comportamento dos tempos de empoçamento e de início de escoamento superficial de água e da taxa de infiltração de um Podzólico Vermelho-Escuro, quando submetido a duas intensidades de chuva e dois tipos de preparo, foi desenvolvido este trabalho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no município de Guaíba, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em um

Podzólico Vermelho-Escuro distrófico da Depressão Central do Rio Grande do Sul. O solo onde foi realizada a pesquisa é de textura franco-argilosa a argilosa, é ácido e tem saturação e soma de bases baixa, bem como baixo teor de matéria orgânica. No quadro 1, apresenta-se a sua descrição morfológica e, no quadro 2, a caracterização da textura, pH e carbono orgânico. Na época em que foram realizadas as avaliações no campo, foi caracterizada a densidade do solo nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, encontrando-se valores médios de 1.480 a 1.420 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente. A declividade média do terreno, nas áreas de observações, era 5,6%.

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, com parcelas principais arranjadas em quatro blocos casualizados (Figura 1). Cada parcela principal continha 10 x 8 m de dimensão e a área total do experimento 640 m<sup>2</sup>. Utilizaram-se quatro tratamentos: preparo convencional (uma aração e duas gradagens); plantio direto; intensidade constante média de chuva simulada de 62,9 mm h<sup>-1</sup> (energia cinética de 200 kJ/ha mm), usando um bico Veejet 80-100, e intensidade constante média de chuva simulada de 87,1 mm h<sup>-1</sup> (energia cinética de 275 kJ/ha mm), usando bico Veejet 80-150. Os tratamentos de preparo do solo foram distribuídos ao acaso nas parcelas principais. Os tratamentos referentes às intensidades de chuva foram distribuídos de forma sistemática, em faixas, nas subparcelas, sempre aplicando a chuva de menor intensidade em primeiro lugar e na cota mais alta do terreno, dentro de cada parcela principal. Em cada repetição, foram efetuadas duas aplicações de chuva. Foi usado um microssimulador de chuva (Meyer & Harmon, 1979), adaptado no Departamento de Solos da FA/UFGRS por Souza (1985), para efetuar os testes de infiltração.

Na instalação do experimento, realizou-se a correção do pH e adubação do solo. Anteriormente a área estava com campo nativo. Após o preparo convencional para toda a área, foi semeada a cultura da soja (*Glycine max*), no espaçamento de 0,5 m entre fileira e densidade de 25 plantas por metro. Já na semeadura da segunda cultura, aveia (*Avena strigosa*), foram aplicados os tratamentos de preparo do solo, convencional e plantio direto, ao acaso, nas parcelas principais. Desde o plantio, a área foi cultivada com a seqüência soja no verão e aveia no inverno. Após o ciclo da cultura de inverno e antes da cultura de verão, nas parcelas com plantio direto e preparo convencional, foram aplicados os outros dois tratamentos e efetuados os testes de infiltração.

O modelo matemático empregado para descrever a taxa de infiltração foi o de Smith (1972), cuja fórmula original é:

$$i = (R - i_c) \cdot \left( \frac{t_p - t_0}{t} \right)^b + i_c, \text{ para } t > t_p$$

**Quadro 1. Descrição morfológica do perfil do solo da área experimental<sup>(1)</sup>**

Classificação:	Laterítico Bruno Avermelhado distrófico (Podzólico Vermelho-Escuro).
Localização:	Município de Guaíba, RS, na Estação Experimental Agronômica da Faculdade de Agronomia da UFRGS.
Situação:	Trincheira aberta na parte mais elevada da propriedade, cota superior a 35 m.
Relevo local:	Ondulado
Relevo regional:	Ondulado e suavemente ondulado, com coxilhas separadas por depressões fechadas ou abertas.
Material de origem:	Granitos
Cobertura vegetal:	Pastagem de gramíneas.
Drenagem:	Bem drenado.
A <sub>1</sub>	0 - 0,20 m; Bruno Vermelho-Escuro (2,5YR 3/4, úmido), Vermelho-Amarelado (5YR 4/6, seco), Bruno (7,5YR 4/4, seco triturado); franco-argiloso; moderada, grande e média, granular; duro, firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana; raízes abundantes.
A <sub>3</sub>	0,20 - 0,42 m; Bruno Avermelhado-Escuro (5YR 3/3, úmido), Vermelho-Amarelado (5YR 4/6, seco), Bruno (7,5YR 4/4, seco triturado); argila; moderada, média e grande, blocos angulares e subangulares; e plana; raízes poucas.
B <sub>21</sub>	0,42 - 0,70 m; Bruno Vermelho-Escuro (2,5YR 3/4, úmido), Bruno Avermelhado (5YR 4/4, seco), Vermelho Amarelado (5YR 5/6, seco triturado); argila; moderada, média e grande, blocos angulares e subangulares; cerosidade forte e pouca; duro, firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas.
B <sub>22</sub>	0,70 - 1,30 m; Vermelho-Escuro (2,5YR 3/6, úmido), Vermelho Amarelado (5YR 4/6, seco); Vermelho Amarelado (5YR 5/6, seco triturado); argila; moderada, média e grande, blocos angulares e subangulares; poroso; cerosidade fraca e pouca; muito duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana; raízes ausentes.
B <sub>23</sub>	1,30 - 1,90 m; Vermelho (2,5YR 5/6, úmido), Vermelho-Amarelado (5YR 4/6, seco); Vermelho Amarelado (5YR 4/8 seco triturado); franco-argiloso; moderada, média e grande, blocos angulares e subangulares; poroso; cerosidade fraca e pouca; muito duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes ausentes.
B <sub>3</sub>	1,90 - 2,20 m+; Vermelho-Escuro (2,5YR 3/8, úmido); argila arenosa; fraca, média granular com aspecto de maciça porosa; macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

<sup>(1)</sup> Brasil, 1973.**Quadro 2. Caracterização da composição granulométrica, pH e carbono orgânico do solo da área experimental<sup>(1)</sup>**

Símbolo	Profundidade	Areia		Silte	Argila	pH		C
		(2 x 10 <sup>-3</sup> - 2 x 10 <sup>-4</sup> )	(2 x 10 <sup>-4</sup> - 5 x 10 <sup>-5</sup> )	(5 x 10 <sup>-5</sup> - 2 x 10 <sup>-6</sup> )	(< 2 x 10 <sup>-6</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
m								
g kg <sup>-1</sup>								
A <sub>1</sub>	0,0 - 0,20	350	120	220	310	4,5	3,5	11,6
A <sub>3</sub>	0,20 - 0,42	180	110	230	480	4,5	3,5	9,3
B <sub>21</sub>	0,42 - 0,70	230	110	190	470	4,8	3,5	6,8
B <sub>22</sub>	0,70 - 1,30	250	130	190	430	4,5	3,4	4,5
B <sub>23</sub>	1,30 - 1,90	310	130	190	370	4,6	3,5	3,3
B <sub>3</sub>	1,90 - 2,00 <sup>+</sup>	230	110	200	460	4,5	3,5	2,7

<sup>(1)</sup> Brasil, 1973.

A equação modificada por Cabeda (1980) tem a seguinte fórmula:

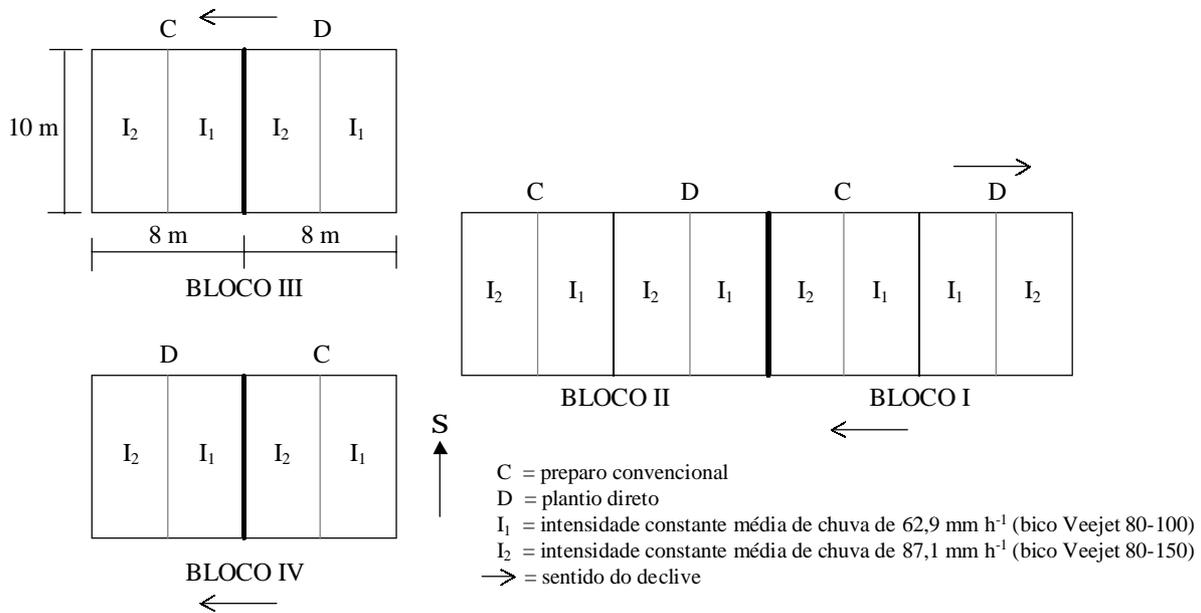
$$i = (R - i_c) \cdot \left( \frac{t_c}{t} \right)^b + i_c, \text{ para } t > t_c$$

em que

$i$  = taxa de infiltração em um tempo  $t$  (mm h<sup>-1</sup>);

$R$  = intensidade constante de chuva (mm h<sup>-1</sup>);

$i_c$  = taxa constante de infiltração (mm h<sup>-1</sup>);



**Figura 1. Esquema do delineamento experimental.**

- $t_p$  = tempo de empoçamento (min);
- $t_0$  = assintótica vertical, paralela ao eixo y, no gráfico de uma curva que descreve o processo de infiltração, sendo  $0 \leq t_0 \leq t_p$ ;
- $t_e$  = início do tempo de escoamento de água sobre a superfície do solo (min);
- $t$  = tempo após o início do escoamento (min);
- $b$  = parâmetro de ajuste da equação.

A equação de Smith (1972) foi desenvolvida, tomando como base a equação de Richards (1931), e considera que o escoamento inicia assim que ocorre o empoçamento. Entretanto, em condições de campo, normalmente isto não ocorre, em decorrência da rugosidade e da cobertura da superfície, que retardam o início do escoamento. Por esse motivo, fez-se a substituição, na equação, do tempo de empoçamento pelo tempo de início do escoamento.

Por outro lado, usando  $t_e$  consiste em erro dizer que em  $t_e$ ,  $i = R$ . Segundos antes de iniciar o empoçamento, a taxa de infiltração é igual à intensidade da chuva, isto é, no intervalo de tempo  $0 < t \leq t_p$ , é que  $i = R$ . A partir do instante que marca o início do empoçamento, significa que  $R > i$ ; após ocorre o armazenamento temporário da água na superfície (detenção superficial) e nas microdepressões (retenção superficial), precedendo o escoamento.

Para a conservação do solo a informação mais importante é o início do escoamento, pois a partir deste é que se iniciam os problemas da erosão do solo.

Foram estimados os tempos de empoçamento e de início de escoamento. Para o tempo de empoçamento, tomou-se, como critério para determinação, o momento em que se formou uma lâmina de água na superfície, em determinado sítio da área de observação, dando a esta um aspecto espelhado, marcando-se, então, o início do intervalo do  $t_p$ . Quando a maior parte da superfície estava com o mesmo aspecto, considerava-se o final do intervalo. O  $t_p$  foi expresso como a média aritmética entre os extremos do intervalo.

O tempo de início de escoamento foi considerado assim que, na mangueira conectada à calha coletora, estivesse escoando um filete contínuo de água, depois de verificado o encharcamento da superfície do solo.

Os resultados foram avaliados por meio da análise de variância e teste de Duncan, a 5%, para comparação de médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Tempos de empoçamento e de início de escoamento superficial

Os tempos de empoçamento e de início de escoamento superficial decresceram com o aumento da intensidade de chuva, tanto para o preparo convencional quanto para o plantio direto (Quadro 3). Tal decréscimo foi maior no preparo convencional, por se encontrar a superfície do solo menos protegida. Com o aumento da intensidade de

chuva, aumentou a energia cinética de impacto das gotas, bem como a desagregação das partículas secundárias da superfície do solo. Com a infiltração, ocorreu a acomodação das partículas desagregadas, obstruindo os poros e, conseqüentemente, o fluxo de água. Resultado semelhante foi verificado por Reichert et al. (1992). Esses autores, também trabalhando com Podzólico Vermelho-Escuro, do Rio Grande do Sul, constataram baixa estabilidade de agregados desse tipo de solo, o que resultou numa alta desagregação das unidades estruturais, quando submetido à chuva simulada. Neal & Baver (1937) e Duley (1939) relataram que a camada desagregada sobre a superfície forma um selo que age como uma barreira, diminuindo a entrada de água no solo. Sob a chuva de maior energia cinética, as alterações da superfície do solo ocorreram mais rapidamente, formando o selo e diminuindo os tempos de empoçamento e início de escoamento superficial.

No plantio direto, as diminuições dos tempos, com o aumento da intensidade de chuva (Quadro 3), não foram acentuadas como no preparo convencional, porque os resíduos interceptam as gotas de chuva, dissipando sua energia cinética; portanto, os efeitos da chuva nas alterações superficiais são reduzidos, comparando com as ocorridas no preparo convencional.

Aumentando a intensidade de chuva, diminuiu o tempo de início de escoamento superficial e de empoçamento, independentemente das condições de superfície.

Comparando os dois métodos de preparo, os tempos de empoçamento e de início de escoamento superficial ocorreram mais rapidamente no plantio direto (Quadro 3), visto que, nesse sistema, a estruturação das partículas e a densidade da massa superficial do solo são maiores, enquanto, no preparo convencional, o revolvimento pelo preparo, conforme van Duin (1955) e Burwell et al. (1966), aumenta a porosidade total, o diâmetro médio dos poros e a rugosidade. Essas alterações do solo retardam os tempos de empoçamento e de início de escoamento. Barcelos et al. (1999) verificaram o mesmo comportamento em sua pesquisa e explicaram que o efeito proporcionado pelo preparo do solo promove irregularidades na sua superfície, que podem ter facilitado a retenção da água da chuva e detenção superficial da enxurrada no interior dessas minidepressões.

### Taxa de infiltração

As taxas de infiltração de água observadas e estimadas constam no quadro 4 e figuras 2, 3, 4 e 5. Comparando os métodos de preparo, observou-se, no preparo convencional, diminuição mais acentuada na taxa de infiltração com o tempo, quando aplicadas as duas intensidades (Figuras 4 e 5). Isto acarretou menor taxa de infiltração acumulada (área sob a curva) e taxa constante de infiltração, em

**Quadro 3. Tempos de empoçamento e de início de escoamento superficial para preparo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com diferentes intensidades**

Intensidade de chuva	Preparo do solo	
	Convencional	Plantio direto
mm h <sup>-1</sup>	Tempo de empoçamento* (min)	
62,9*	32 aA	14 bA
87,1*	12 aB	6 bB
	Tempo de início de escoamento* (min)	
62,9	51 aA	27 aA
87,1	18 aB	10 aB

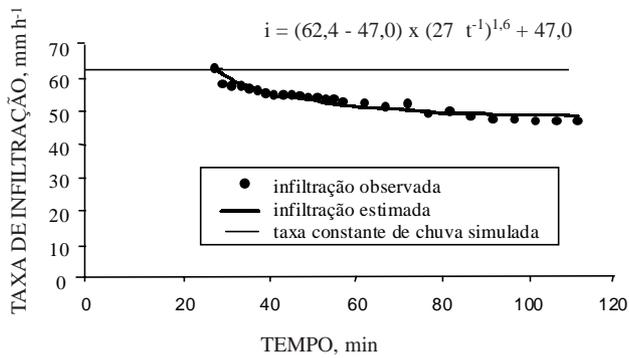
Médias seguidas de mesma letra maiúscula (coluna) e de mesma letra minúscula (linha) não diferem significativamente pelo teste de Duncan ( $P > 0,05$ ).

\* Médias de quatro repetições e duas observações por repetição.

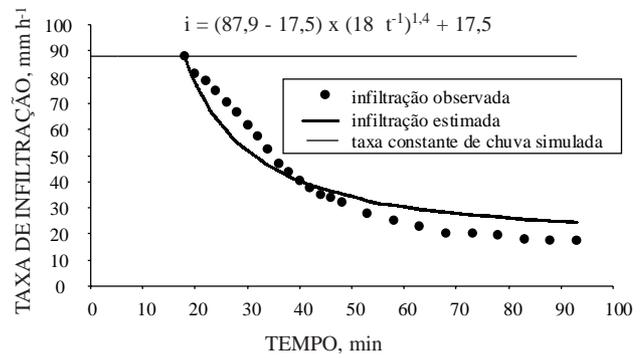
comparação com o plantio direto, no qual não se verificou diminuição acentuada na taxa de infiltração (Figuras 2 e 3). No preparo convencional, a superfície menos protegida foi o fator responsável por esse comportamento, visto que a energia cinética das gotas de chuva possibilitou a formação do selo, reduzindo, acentuadamente, a infiltração de água.

Barcelos et al. (1999) admitem a possibilidade de que o menor percentual de cobertura de solo e a menor quantidade de palha na superfície possam explicar essa redução da taxa de infiltração no preparo convencional, ao favorecer a redução da rugosidade do terreno e a formação do selamento superficial, pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo desnudo. Com o selamento superficial, segundo Chaves et al. (1993), a permeabilidade original do solo pode ser reduzida em até 90%. Duley (1939) explica que a energia cinética do impacto de gotas e a do escoamento superficial desagregam as partículas secundárias e, nas suas reacomodações, criam uma camada compactada, diminuindo a macroporosidade e, conseqüentemente, a condutividade hidráulica. O processo de desagregação superficial agrava-se com a continuidade de chuva, o que leva à queda mais acentuada nas curvas do preparo convencional (Figuras 4 e 5).

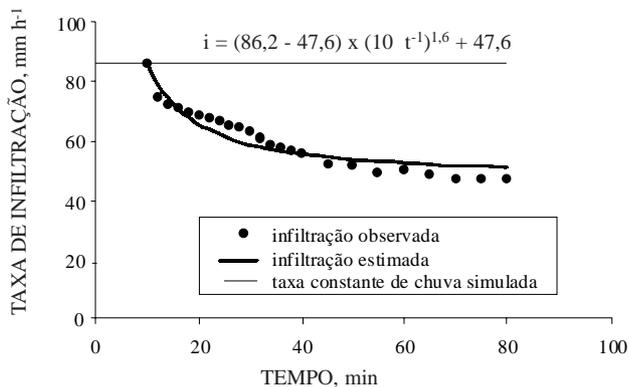
No plantio direto, a proteção da superfície do solo pelos resíduos evitou alterações desta, pois estes dissipam a energia cinética das chuvas. Além dessa proteção, é provável que a menor taxa de diminuição, baseando nas experiências de Lal (1974) e Ehlers (1975), seja devida à melhor estrutura do solo neste método de preparo, apresentando maior continuidade de poros, desde a superfície. Essa continuidade de poros ocorre, segundo os autores, porque a camada superficial não é revolvida.



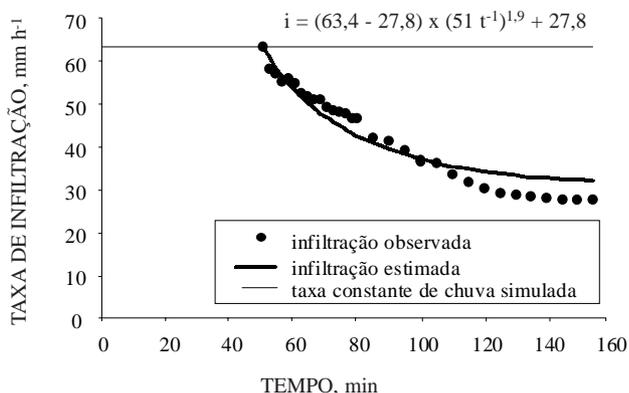
**Figura 2.** Taxas de infiltração observadas e estimadas para plantio direto sob chuva simulada, com intensidade média constante de  $62,4 \text{ mm h}^{-1}$ . Médias de quatro repetições e duas observações por repetição.



**Figura 5.** Taxas de infiltração observadas e estimadas para preparo convencional sob chuva simulada, com intensidade média constante de  $87,9 \text{ mm h}^{-1}$ . Médias de quatro repetições e duas observações por repetição.



**Figura 3.** Taxas de infiltração observadas e estimadas para plantio direto sob chuva simulada, com intensidade média constante de  $86,2 \text{ mm h}^{-1}$ . Médias de quatro repetições e duas observações por repetição.



**Figura 4.** Taxas de infiltração observadas e estimadas para preparo convencional sob chuva simulada, com intensidade média constante de  $63,4 \text{ mm h}^{-1}$ . Médias de quatro repetições e duas observações por repetição.

Segundo Dunn & Phillips (1991), em sistemas de manejo pouco mobilizadores de solo, a elevada macroporosidade é devida à ação de raízes, de minhocas e de insetos presentes no solo, que favorecem a infiltração de água.

No plantio direto, observou-se que a taxa de decréscimo foi mais acentuada quando aplicada a chuva de maior intensidade. No preparo convencional, as alterações na superfície menos protegida ocorreram mais rápido e acentuadamente sob a chuva de maior energia cinética, levando à maior diminuição na taxa de infiltração, por unidade de tempo, e na taxa constante de infiltração. No plantio direto (Figuras 2 e 3), comparando as duas intensidades de chuva, as diferenças nas inclinações das curvas não foram marcantes como no preparo convencional e a taxa constante de infiltração praticamente não diferiu. A proteção da superfície do solo contribuiu para menores alterações, causadas pela chuva.

A taxa constante de infiltração observada foi 37% menor no preparo convencional, quando se aplicou a chuva de maior intensidade. Comparando os dois tipos de preparos, verificou-se que o preparo convencional, sob chuva de menor intensidade, apresentou taxa de infiltração 41% inferior à taxa encontrada para o plantio direto; sob chuva de menor intensidade, a redução na taxa foi de 63%. Tais diminuições, tanto no mesmo preparo, como entre os preparos, ocorreram com a formação do selamento (Quadro 4).

O modelo de Smith (1972) superestimou a taxa constante de infiltração (Quadro 4). No preparo convencional, superestimou em 27%, com intervalo de variação de 20 a 34%. No plantio direto, de 7%, variando de 5 a 9%. A superestimação foi maior no preparo convencional (Quadro 4), porque, neste método de preparo, as variações dos dados obtidos

no início de cada teste foram maiores (Figuras 3 e 4), comparados com os dados do plantio direto. O modelo para se ajustar aos dados faz uma compensação, entre as variações iniciais e finais, o que levou à superestimação. Souza (1985) e Oliveira (1985) utilizaram o mesmo modelo (Smith, 1972), para descrever o processo de infiltração, o qual também superestimou as taxas de infiltração.

O parâmetro *b*, expoente da equação de Smith (Quadro 4), apresentou pequena variação, comparando os valores entre os métodos de preparo, para uma mesma intensidade. Isto significa que, para uma mesma intensidade de chuva, independentemente das condições de preparo, os valores de *b* foram semelhantes. Resultado bastante promissor, considerando a possibilidade de se fixar um valor médio de *b*, facilitando as previsões em estudos de hidrologia.

O modelo de Smith (1972) ajustou-se bem aos dados, o que pode ser confirmado pelos coeficientes de determinação encontrados (Quadro 4). Reichert et al. (1992) encontraram resultado semelhante e mencionaram que o modelo mostrou-se muito eficaz na descrição do processo de infiltração de água.

## CONCLUSÕES

1. No preparo convencional, dada a mobilização do solo, os tempos de empoçamento e de início de escoamento superficial foram retardados.

2. Com o aumento da intensidade de chuva, diminuiu o tempo de início de escoamento superficial e de empoçamento, independentemente das condições de superfície.

3. A superfície menos protegida, no preparo convencional, favoreceu o selamento que se refletiu na taxa maior de decréscimo da infiltração, menor infiltração acumulada e menor taxa constante de infiltração.

4. O modelo de Smith superestimou em 27% a taxa constante de infiltração no preparo convencional e 7% no plantio direto; o parâmetro *b* desse modelo apresentou pequena variação, independentemente das condições de preparo, resultado promissor, dada a possibilidade de se fixar um valor para *b*, facilitando as previsões em estudos de hidrologia.

**Quadro 4. Taxas constantes de infiltração observadas e estimadas, parâmetros *b* da equação de Smith e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para preparo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com diferentes intensidades**

Intensidade de chuva	Preparo do solo	
	Convencional	Plantio direto
mm h <sup>-1</sup>	Taxa constante observada* (mm h <sup>-1</sup> )	
62,9*	27,5 bA	46,6 aA
87,1*	17,3 bB	47,2 aA
	Taxa constante estimada* (mm h <sup>-1</sup> )	
62,9	34,5 bA	49,1 aA
87,1	26,0 bB	51,8 aA
	Parâmetro <i>b</i> da equação de Smith*	
62,9	1,9 aA	1,6 aA
87,1	1,4 aA	1,1 aA
	Coeficiente de determinação*	
62,9	0,892	0,8777
87,1	0,8246	0,8565

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (coluna) e de mesma letra minúscula (linha) não diferem significativamente pelo teste de Duncan ( $P > 0,05$ ). \* Médias de quatro repetições e duas observações por repetição.

## LITERATURA CITADA

- ALDERFER, R.B. & MERKLE, F.G. Structural stability and permeability of native forest soils compared with cultivated areas of the same soil type. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 6:98-103, 1941.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:139-145, 1994.
- BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A. & DENARDIN, J.E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:35-43, 1999.
- BISCAIA, R.C.M. Influência da intensidade de movimentação do solo no processo erosivo, com uso de simulador de chuva, em Latossolo Vermelho-Escuro, dos Campos Gerais, no Paraná. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1978. (Tese de Mestrado)
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30)
- BURWELL, R.E.; ALLMARAS, R.R. & SLONEKER, L.L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. *J. Soil Water Conser.*, 21:61-63, 1966.
- CABEDA, M.S.V. An empirical parametric equation for point water infiltration into bare sealing soils under simulated rainfall. West Lafayette, Indiana, Purdue University, 1980. 148p. (Tese de Doutorado)

- CASSOL, L.C. & ANGHINONI, I. Alterações nas características de um Podzólico Vermelho-Escuro após quatro anos de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1843-1844.
- CHAVES, H.M.L.; ORLOWSKI, E. & ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. R. Bras. Ci. Solo, 17:141-147, 1993.
- DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4:60-64, 1939.
- DUNN, G.H. & PHILLIPS, R.E. Macroporosity of a well drained soil under no-tillage and conventional tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:817-823, 1991.
- EHLERS, W. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. Soil Sci., 11:242-249, 1975.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1854-1856.
- LAL, R. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture, 1974. 37p. (Technical Bulletin, 1)
- MANNERING, J.V. & WIERSMA, D. The effect of rainfall energy on water infiltration into soils. Proc. Ind. Acad. Sci., 79:407-412, 1970.
- MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 22:100-103, 1979.
- NEAL, J.H. & BAVER, L.D. Measuring the impact of raindrops. J. Am. Soc. Agron., 29:708-709, 1937.
- OLIVEIRA, E.F. Efeito do preparo do solo com e sem queima de resíduos de trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max*) sobre condições físicas de um Latossolo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 142p. (Tese de Mestrado)
- REICHARDT, K. Infiltração da água no solo. In: DINÂMICA da matéria e da energia em ecossistemas. 2.ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. p.317-352.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:283-290, 1993.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 16:289-298, 1992.
- RICHARDS, L.A. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics, 1:318-333, 1931.
- SILVA, I.F. Efeito de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um Latossolo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980. 70p. (Tese de Mestrado)
- SMITH, R.E. The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer. J. Hydr., 17:1-22, 1972.
- SOUZA, M.D. Infiltração de água em Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes manejos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 131p. (Tese de Mestrado)
- van. DUIN, R.H.A. Tillage in relation to rainfall intensity and infiltration capacity of soils. Wageningen, Agricultural University, Laboratory of Physics and Meteorology, 1955. p.182-191.