

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO SOB CONDIÇÕES DE CHUVA INTENSA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO⁽¹⁾

A. A. BARCELOS⁽²⁾, E. A. CASSOL⁽³⁾ & J. E. DENARDIN⁽⁴⁾

RESUMO

A infiltração de água é uma propriedade que reflete as condições físicas do solo, principalmente quanto à sua qualidade estrutural. Foi realizado um estudo na Embrapa Trigo, em Passo Fundo (RS), em um Latossolo Vermelho-Escuro, submetido por longo tempo a diferentes sistemas de manejo, com o objetivo de verificar a influência desses sistemas na taxa de infiltração de água, considerando as diferentes coberturas de solo e condições físicas gerais por eles propiciadas. A área experimental estava cultivada com milho, tendo-se aplicado chuva simulada de 120 mm h⁻¹, durante 90 minutos, em três repetições, em três épocas distintas: (a) 45 dias após a semeadura do milho; (b) logo após a colheita do milho e (c) logo após a semeadura de aveia. As chuvas simuladas foram aplicadas sobre parcelas de 0,81 m² distribuídas dentro de macroparcelas com os sistemas de manejo em preparo convencional, cultivo mínimo e sistema plantio direto. O cultivo mínimo apresentou, em todas as épocas, as maiores taxas de infiltração de água no solo, e o sistema plantio direto produziu as maiores quantidades de palha na superfície do solo.

Termos de indexação: taxa de infiltração, chuva simulada, plantio direto, cobertura do solo, resíduos de milho.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada e aprovada no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da FA-UFRGS. Trabalho realizado com recursos parciais do Projeto METAS, viabilizados pela Embrapa Trigo e apresentado no XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, realizado em Águas de Lindóia (SP), de 4 a 8 de Agosto de 1996. Recebido para publicação em março e aprovado em novembro de 1998.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutorando no IPH-UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Caixa Postal 15029, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS).

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, Professor Adjunto do Departamento de Solos da FA-UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS) e Pesquisador da Fundação Estadual da Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), Rua Gonçalves Dias 570, CEP 90130-060 Porto Alegre (RS). E-mail: cassolea@orion.ufrgs.br. Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Trigo. Caixa Postal 569, CEP 99001-970 Passo Fundo (RS). E-mail: denardin@cnpt.embrapa.br.

SUMMARY: OXISOL WATER INFILTRATION IN DIFFERENT SOIL TILLAGE SYSTEMS UNDER HIGH INTENSE RAINFALL

Soil water infiltration rate may be the soil property which best reflects the general soil physical conditions, especially the structural quality. A field study was conducted at the Embrapa Trigo, Passo Fundo, Brasil in an Oxisol under long-term soil tillage systems, to evaluate the influence of these systems on soil water infiltration rate as a function of the soil cover and soil physical conditions caused by the different tillage systems. During a corn cropping period, a simulated rainfall with intensity of 120 mm h⁻¹ and 90 minutes duration was applied in three replications and three different runs: (1) 45 days after corn sowing; (2) immediately after corn harvest; and (3) immediately after oat sowing. The simulated rainfall was applied on small plots of 0.81 m² area inside larger plots where conventional tillage, minimum tillage and no-tillage were applied. In all runs, minimum tillage showed the highest soil water infiltration rates, while the no-tillage system yielded the highest amount of crop residues on the soil surface.

Index terms: infiltration rate, simulated rainfall, No-tillage, soil cover, corn residues.

INTRODUÇÃO

O solo é um meio poroso e heterogêneo, cujas propriedades podem-se alterar com o tempo e conforme o sistema de manejo praticado. A infiltração de água no solo é um fenômeno físico que consiste na entrada de água no solo pela sua superfície, podendo ser influenciada pelas suas propriedades intrínsecas e pelo modo como a água atinge sua superfície. Condições, tais como porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno, dentre outras, influem na infiltração de água no solo (Cauduro & Dorfman, 1988).

A capacidade de infiltração de água representa a vazão máxima por unidade de área e por unidade de tempo capaz de atravessar a superfície do solo, sendo normalmente expressa em mm h⁻¹ (Villela & Mattos, 1975). Esses autores enfatizam que a capacidade de infiltração de água só é atingida, durante uma chuva, se a intensidade desta ultrapassar a taxa máxima de infiltração de água no solo, pois, caso contrário, a taxa instantânea de infiltração não é máxima e não atingirá o valor correspondente à capacidade de infiltração.

O preparo convencional do solo envolve aração e gradagens, com incorporação de restos culturais, com intensa mobilização, expondo-o à ação dos agentes erosivos. Sob essas condições, quando da incidência de chuvas intensas, pode-se formar um selo superficial com redução da porosidade total (principalmente da macroporosidade), diminuindo a taxa de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, facilitando o processo erosivo (Dalla Rosa, 1981).

O sistema de preparo de solo voltado à sua conservação é, freqüentemente, chamado de preparo

conservacionista do solo. De acordo com Derpsch et al. (1991), o preparo conservacionista do solo é o procedimento pelo qual se estabelece uma cobertura morta na sua superfície, pela não-incorporação total dos restos culturais deixados pelas colheitas e, ou, pelas plantas usadas como adubo verde, minimizando a exposição do solo ao processo de erosão hídrica.

De acordo com Denardin (1984), para as condições de solo, clima e espécies cultivadas anualmente sob motomecanização nas regiões Sul, Centro-Sul e Centro-Oeste do Brasil, o manejo adequado do solo deve englobar um conjunto de práticas agrícolas que proporcionem as seguintes condições: retenha ao máximo a água das chuvas onde ela encontra o solo; incremente a velocidade de infiltração de água no solo; reduza a velocidade de escoamento superficial da água não infiltrada no solo; aumente a capacidade de armazenamento de água no solo e proporcione boas condições físico-químicas para o desenvolvimento das culturas.

A taxa de infiltração de água no solo é talvez, isoladamente, a propriedade que melhor reflete as condições físicas gerais do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural (Cabeda, 1984). De acordo com Rose (1962), dois são os fatores responsáveis pelo decréscimo da taxa de infiltração de água no solo, em função do tempo de uma chuva. O primeiro fator é o decréscimo no gradiente hidráulico vertical, que ocorre com o avanço da frente de umedecimento no perfil do solo, e o segundo fator é o selamento superficial, de grande importância quando a energia das gotas de chuva está envolvida.

Comparando diferentes métodos de manejo de solo, Wu et al. (1992) relatam que no sistema plantio direto os poros conduzem água mais eficientemente do que no preparo convencional. Assim, no sistema

plântio direto, o solo, apesar de menor porosidade total, apresenta condutividade hidráulica igual ou superior à do preparo convencional.

Em sistemas de manejo pouco mobilizadores de solo, a elevada macroporosidade é devida à ação de raízes, de minhocas, de insetos presentes no solo, que favorecem a infiltração de água (Dunn & Phillips, 1991). Por outro lado, no preparo convencional, os macroporos são destruídos pelas operações de preparo.

Quando a taxa de infiltração diminui, na maior parte das vezes, aumenta o escoamento superficial, podendo acelerar o processo erosivo. Restos culturais sobre a superfície do solo interceptam e dissipam a energia cinética da chuva e do escoamento superficial, diminuindo a desagregação e o transporte de partículas, prevenindo a formação do selamento superficial, diminuindo a velocidade de escoamento, aumentando o tempo de contato água-solo e permitindo maior infiltração de água no solo (Alves, 1986; Cassol, 1986).

Este estudo teve por objetivo analisar a influência da quantidade de palha na superfície e o percentual de cobertura na taxa de infiltração de água no solo, utilizando diferentes sistemas de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, situado na área experimental da Embrapa Trigo, localizada no Km 7,5 da rodovia RS-132, que liga Passo Fundo a Erechim, no município de Coxilha (RS). As unidades experimentais foram instaladas nas lavouras demonstrativas do sistema plântio direto do Projeto METAS "Viabilização e difusão do sistema plântio direto no planalto do Rio Grande do Sul". Os diferentes sistemas de manejo de solo objeto deste trabalho estão sendo utilizados há 10 anos na área estudada. Os tratamentos testados foram: preparo convencional, cultivo mínimo e sistema plântio direto.

Os testes de infiltração de água no solo foram realizados, utilizando-se um minissimulador de chuvas, constituído por uma armação quadrada (0,6 x 0,6 m), suspensa por quatro hastes reguláveis para uma altura entre 2,5 e 3,0 m acima da superfície do solo. No centro da armação, existe um bico aspersor, tipo *Veejet* 80100. Quando em funcionamento, o aparelho faz com que o bico aspersor oscile, molhando uma área quadrada de aproximadamente 2,0 m de lado, no interior da qual é instalada uma miniparcela.

Dentro das áreas de cada unidade experimental, foram escolhidos três pontos (correspondentes às repetições dos tratamentos), onde se instalaram as miniparcelsas com dimensões de 0,9 x 0,9 m (0,81 m²), para realização dos testes de infiltração de água no

solo, mediante a aplicação de chuvas simuladas. Sobre as três miniparcelsas, localizadas em cada tratamento, foram aplicadas chuvas simuladas, com intensidade de 120 mm h⁻¹, durante 1,5 hora (90 minutos), em três diferentes épocas: 45 dias após a semeadura da cultura de milho (1^a época), sobre os resíduos deixados na superfície do solo após a colheita da cultura do milho (2^a época) e após a semeadura da cultura de aveia preta (3^a época).

A taxa de infiltração de água no solo foi obtida pela diferença entre a intensidade de chuva aplicada e a taxa de escoamento superficial, medidas a cada minuto durante a simulação de chuva. Para medir o escoamento superficial, construiu-se um vertedor, segundo Brakensiek et al. (1979), que foi calibrado conforme a técnica descrita por Resck (1983). Maiores detalhes sobre o minissimulador e o vertedor são apresentados em Barcelos (1996).

Concluída a fase de coleta de dados no campo, as leituras de altura de descarga no vertedor, em mm, foram transformadas em taxas de escoamento superficial, em mm h⁻¹, conforme a curva de calibração do vertedor.

Para ajustar os modelos representativos da taxa de infiltração de água no solo, da taxa de enxurrada e da infiltração acumulada, foi utilizado o programa computacional SAS-Statistical Analytical Systems (SAS, 1985). O modelo estatístico que melhor se ajustou aos dados experimentais é representado pela seguinte equação genérica:

$$I = \frac{b}{(a + t + b)^2}$$

em que I = taxa de infiltração de água, em mm h⁻¹; t = tempo de aplicação da chuva, em h; e a (em 1 mm⁻¹) e b (em h mm⁻¹) são coeficientes de ajuste da equação determinados pela análise de regressão dos dados experimentais.

Em cada tratamento e nas três épocas de realização dos testes de infiltração de água no solo, foi determinado o percentual de cobertura do solo por resíduos culturais, mediante a aplicação do método do quadrado entrelaçado descrito por Veiga & Wildner (1993). Nas mesmas épocas e locais, foi determinada a quantidade de palha existente na superfície do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste realizado 45 dias após a semeadura da cultura do milho

As taxas de infiltração de água no solo observadas no campo e obtidas a partir do ajuste da curva de infiltração para os tratamentos preparo convencional, cultivo mínimo e sistema plântio direto, na 1^a época de avaliação, são apresentadas na figura 1.

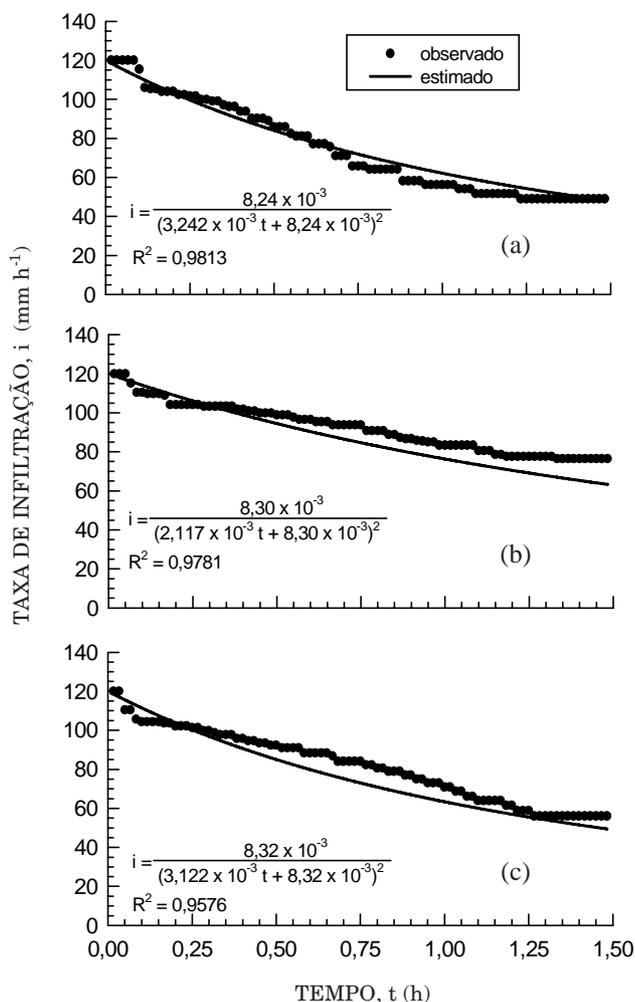


Figura 1. Taxa de infiltração observada e estimada durante os 90 minutos de chuva simulada para o preparo convencional (a), cultivo mínimo (b) e sistema plantio direto (c), 45 dias após a semeadura do milho (novembro/1994).

O tempo para o início do escoamento superficial no preparo convencional (6 minutos ou 0,1 hora) foi superior ao observado para o cultivo mínimo e para o sistema plantio direto (3 minutos ou 0,05 h). Esse comportamento pode ser explicado pelo efeito proporcionado pelo preparo do solo que promoveu, nos tratamentos de preparo convencional e no cultivo mínimo, irregularidades na superfície do solo, que podem ter facilitado a retenção da água da chuva e detenção superficial da enxurrada no interior dessas minidepressões.

No preparo convencional (Figura 1a), a redução da taxa de infiltração foi acentuada e rápida até o 45º minuto (0,75 h). No intervalo entre o 6º e o 45º minuto (0,1 e 0,75 h), a taxa de infiltração caiu de 120 para 70 mm h⁻¹. Decorrida a primeira metade do teste, os valores tenderam a estabilizar-se, atingindo uma taxa constante de infiltração de 49 mm h⁻¹ (Quadro 1).

A irregularidade superficial do terreno, que proporcionou o retardamento do início do escoamento superficial no preparo convencional, teve efeito efêmero na contribuição para o aumento do tempo de contato da água com o solo, o que favoreceria a sua infiltração. Contudo, é possível que o menor percentual de cobertura de solo e a menor quantidade de palha na superfície (Quadro 1) 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. Segundo Ehlers (1975) e Kladvik et al. (1986), o selo superficial obstrui os canais condutores de água e a falta de cobertura associada com a menor rugosidade diminuem o contato da água com o solo, proporcionando incrementos na taxa de enxurrada. Esse efeito é agravado quando o solo encontra-se descoberto.

No cultivo mínimo (Figura 1b), a diminuição da taxa de infiltração de água no solo, com o passar do

Quadro 1. Quantidade de palha, percentual de cobertura do solo, taxa constante de infiltração (TCI), coeficiente de infiltração, infiltração acumulada (Ia), nos sistemas de manejo em preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e sistema plantio direto (SPD), na 1ª época (novembro/1994)

Sistema de manejo	Quantidade de palha	Cobertura do solo	Umidade inicial ⁽¹⁾	TCI ⁽²⁾	Coefficiente de infiltração ⁽³⁾	Ia
	t ha ⁻¹	m ² m ⁻²	kg kg ⁻¹	mm h ⁻¹		mm
PC	1,20	0,25	0,190	49	0,4083	111
CM	2,78	0,62	0,197	76	0,6333	138
SPD	2,92	0,84	0,184	56	0,4667	122

⁽¹⁾ Umidade inicial média da profundidade de 0-30 cm. ⁽²⁾ Para uma chuva simulada planejada de 120 mm h⁻¹. ⁽³⁾ Razão entre a taxa constante de infiltração e a intensidade de chuva planejada aplicada.

tempo, foi mais suave do que a observada no preparo convencional, não apresentando acentuadas inflexões na curva de infiltração. A taxa de infiltração revelou queda uniforme, caindo de 120 mm h⁻¹, no 3º minuto (0,05 h), para 76 mm h⁻¹, no 81º minuto (1,35 h), a partir do qual tendeu à estabilização.

O percentual de cobertura do solo de 62% e a quantidade de 2,78 t ha⁻¹ de palha na superfície são os mais prováveis fatores que explicam esse comportamento, ao evitarem o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, prevenindo a destruição da rugosidade e a formação do selamento superficial.

Essas condições favoráveis permitiram ao cultivo mínimo atingir a maior infiltração acumulada, em relação aos demais tratamentos, chegando a 138 mm (Quadro 1) de um total máximo possível de 180 mm, aplicados mediante a precipitação com intensidade de 120 mm h⁻¹ durante 90 minutos.

No sistema plantio direto (Figura 1c), observou-se que a taxa de infiltração de água no solo sofreu uma queda, relativamente acentuada com o passar do tempo, caindo de 120 mm h⁻¹, no 3º minuto (0,05 h), para 62 mm h⁻¹, no 75º minuto (1,25 h), estabilizando, a partir desse momento, em 56 mm h⁻¹ (Quadro 1).

Acreditava-se que as condições de superfície do solo no sistema plantio direto com um percentual de cobertura de 84% e a quantidade de palha de 2,92 t ha⁻¹, superiores às do cultivo mínimo, levariam à maior taxa de infiltração de água no solo no sistema plantio direto, principalmente pela menor possibilidade de formação de selo superficial. Entretanto, como isso não ocorreu, depreende-se que a menor taxa de infiltração no sistema plantio direto pode ser resultante da menor rugosidade superficial do solo nesse sistema, a qual teve efeito reduzido na interceptação do fluxo superficial da enxurrada.

Muito embora a taxa constante de infiltração no sistema plantio direto tenha sido inferior à do cultivo mínimo, nessa época de avaliação, a infiltração acumulada foi elevada, atingindo 122 mm (Quadro 1), o que representa 68% do total da chuva aplicada.

Teste realizado após a colheita da cultura do milho

As taxas de infiltração de água no solo observadas no campo e obtidas a partir do ajuste da curva de infiltração para os tratamentos: preparo convencional, cultivo mínimo e sistema plantio direto, na 2ª época de avaliação, são apresentadas na figura 2.

O tempo para o início do escoamento superficial no preparo convencional foi de 3 minutos (0,05 h), enquanto no cultivo mínimo e no sistema plantio direto foi de 6 minutos (0,1 h). O aumento no tempo decorrido para o início do escoamento superficial observado nos manejos conservacionistas pode ter sido resultante do aumento da quantidade de resíduos na superfície do solo.

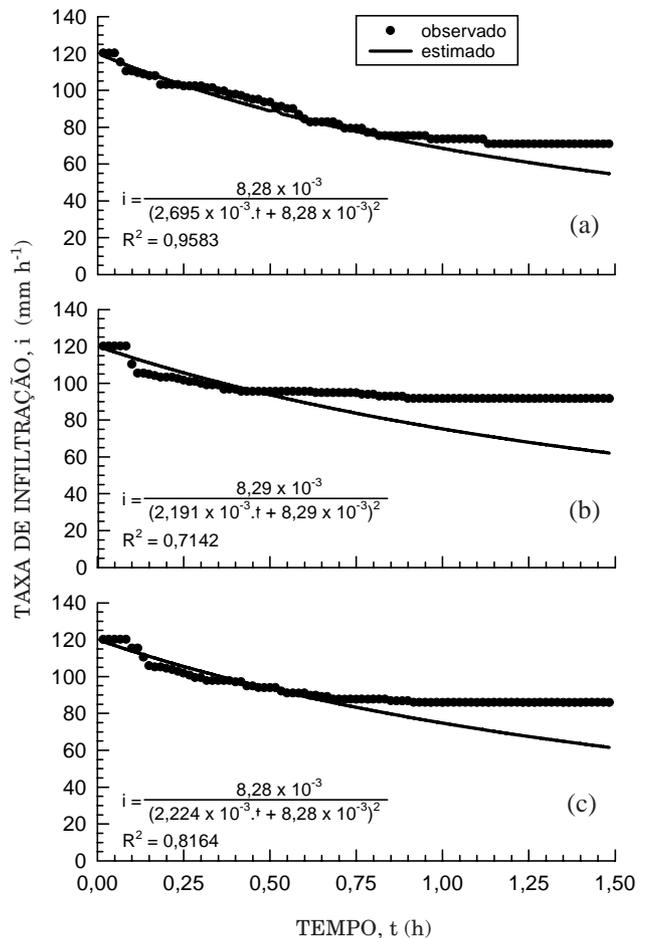


Figura 2. Taxa de infiltração observada e estimada durante os 90 minutos de chuva simulada para o preparo convencional (a), cultivo mínimo (b) e sistema plantio direto (c), após a colheita da cultura do milho (março/1995).

No preparo convencional (Figura 2a), ocorreu rápida diminuição da taxa de infiltração de água no solo, que passou de 120 mm h⁻¹, no 3º minuto (0,05 h), para 80 mm h⁻¹, no 45º minuto (0,75 h), estabilizando-se, posteriormente, em 71 mm h⁻¹ (Quadro 2).

As condições de cobertura da superfície, com 8,24 t ha⁻¹ de palha, distribuídas sobre a superfície do solo após a colheita da cultura do milho (Quadro 2), foram fundamentais para protegê-la da ação direta das gotas da chuva aplicada e para permitir que a água retida permanecesse mais tempo junto à superfície e, assim, tornar a taxa de infiltração da água mais lenta nos primeiros 20 minutos de realização do teste. Conforme resultados obtidos por Alves (1986), no início da chuva, em função da menor umidade do solo, a infiltração de água no solo é maior, demorando mais tempo para a precipitação pluviométrica exceder a capacidade de infiltração de água no solo.

Quadro 2. Quantidade de palha, percentual de cobertura do solo, taxa constante de infiltração (TCI), coeficiente de infiltração, infiltração acumulada (Ia), nos sistemas de manejo em preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e sistema plantio direto (SPD), na 2ª época (março/1995)

Sistema de manejo	Quantidade de palha	Cobertura do solo	Umidade inicial ⁽¹⁾	TCI ⁽²⁾	Coefficiente de infiltração ⁽³⁾	Ia
	t ha ⁻¹	m ² m ⁻²	kg kg ⁻¹	mm h ⁻¹		mm
PC	8,24	0,90	0,180	71	0,5917	128
CM	8,64	0,90	0,179	92	0,7667	144
SPD	9,88	0,92	0,178	86	0,7167	139

⁽¹⁾ Umidade inicial média da profundidade de 0-30 cm. ⁽²⁾ Para uma chuva simulada planejada de 120 mm h⁻¹. ⁽³⁾ Razão entre a taxa constante de infiltração e a intensidade de chuva planejada aplicada.

Como conseqüência dessa melhoria, a infiltração acumulada no preparo convencional chegou a 128 mm (Quadro 2), constituindo-se, entretanto, no menor valor de infiltração acumulada encontrado, dentre os três métodos de manejo, avaliados na 2ª época.

No cultivo mínimo (Figura 2b), a curva de infiltração de água no solo mostrou pequena tendência de queda, nos primeiros 20 minutos de chuva, diminuindo de 120 mm h⁻¹, no 6º minuto (0,1 h), para 97 mm h⁻¹, no 24º minuto (0,4 h). Logo em seguida, os valores tornaram-se constantes e, a partir do 54º minuto (0,9 h) de chuva, a taxa constante de infiltração de água estabilizou-se em 92 mm h⁻¹ (Quadro 2).

Os percentuais de cobertura do solo (Quadro 2) foram semelhantes nos três sistemas de manejo avaliados. A presença de grande quantidade de palha junto à superfície do solo produziu no cultivo mínimo uma infiltração acumulada de 144 mm (Quadro 2), o que representa 80% do total de chuva aplicada, a maior infiltração acumulada ocorrida em todos os testes realizados.

Observa-se que, no sistema plantio direto (Figura 2c), a redução na taxa de infiltração de água no solo foi pouco expressiva e ocorreu, principalmente, nos primeiros 20 minutos de chuva simulada. No 6º minuto (0,1 h), foi de 120 mm h⁻¹ e, no 24º minuto (0,4 h), caiu para 101 mm h⁻¹; após esse período de tempo, a queda foi pequena, mas prolongou-se até o 42º minuto (0,7 h). A taxa constante de infiltração foi alcançada no 54º minuto (0,9 h) de chuva, atingindo 86 mm h⁻¹ (Quadro 2). É possível que as condições de superfície, com a presença de 9,88 t ha⁻¹ de resíduos sobre o solo (Quadro 2), tenham proporcionado condições para que a taxa de infiltração diminuísse lentamente. Tendência semelhante foi encontrada por Alves (1986), avaliando o comportamento da taxa de infiltração de água no solo, quando este é submetido ao preparo convencional e ao sistema plantio direto.

Teste realizado após a semeadura da cultura de aveia preta

As taxas de infiltração de água no solo observadas no campo e obtidas a partir do ajuste da curva de infiltração para o tratamento preparo convencional, cultivo mínimo e sistema plantio direto, na 3ª época de avaliação, são apresentadas na figura 3.

O tempo para o início do escoamento superficial foi de 2 minutos no preparo convencional, enquanto, nos manejos conservacionistas, foi de 4 minutos.

No preparo convencional (Figura 3a), a curva de infiltração de água no solo teve duas inflexões bem acentuadas. Enquanto no período entre o 3º e o 6º minuto (0,05 e 0,1 h), a taxa de infiltração caiu de 120 mm h⁻¹ para 106 mm h⁻¹, no período entre o 6º e o 21º minuto (0,1 e 0,35 h), ela caiu de 106 mm h⁻¹ para 89 mm h⁻¹. Após esse tempo, a queda da taxa de infiltração tornou-se suave, tendendo a estabilizar-se a partir do 60º minuto (1,0 h), com uma taxa constante de infiltração de 57 mm h⁻¹ (Quadro 3).

As causas para essas inflexões na curva de infiltração, uma vez que o teste foi realizado imediatamente após as operações de preparo de solo e de semeadura, podem estar associadas à estratificação física da camada arável, resultante de mobilizações do solo promovidas pelas operações de aração, de gradagem e de semeadura.

A incidência direta das gotas de chuva sobre a superfície do solo, exposta pelos implementos de preparo, pode ter sido o fator preponderante para, em aproximadamente 60 minutos, a taxa de infiltração cair em mais de 50%, passando de 120 para 57 mm h⁻¹. Segundo Freebairn et al. (1989), após o preparo do solo, a superfície fica exposta à energia das gotas de chuva, o que provoca selamento superficial e conseqüente aumento do escoamento superficial.

A taxa constante de infiltração observada nessa época de avaliação, de 57 mm h⁻¹, contudo,

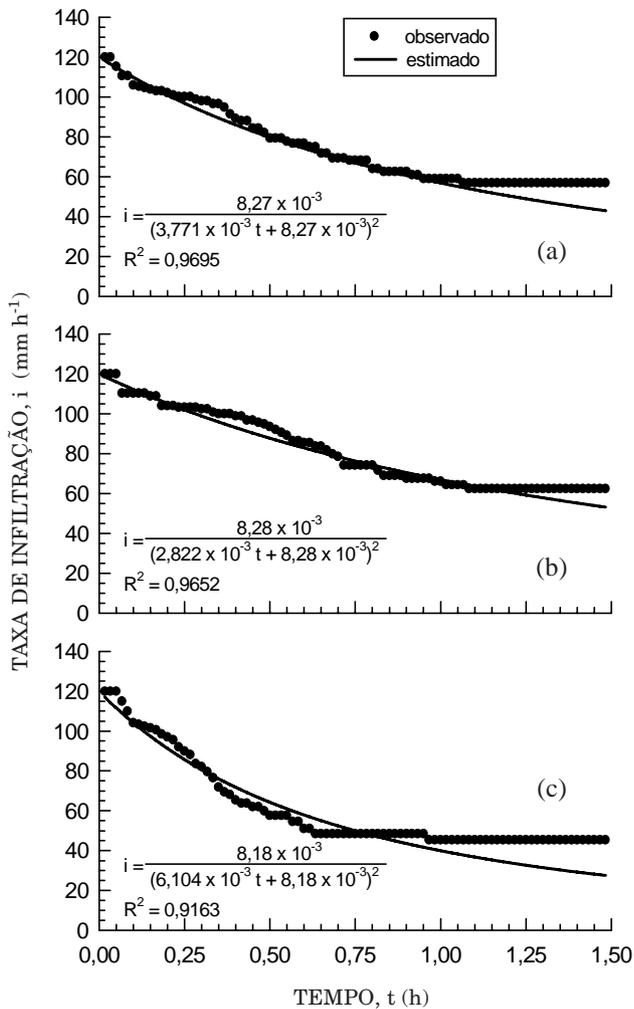


Figura 3. Taxa de infiltração observada e estimada durante os 90 minutos de chuva simulada para o preparo convencional (a), cultivo mínimo (b) e sistema plantio direto (c), após a semeadura de aveia preta (abril/1995).

ficou muito próxima àquela da 1^a época de avaliação, que foi de 49 mm h⁻¹. Talvez esse comportamento seja resultante das condições da superfície, que apresentaram, praticamente, o mesmo percentual de cobertura do solo (Quadro 3). Muito embora nessa 3^a época a quantidade de palha fosse 2,8 vezes maior do que na 1^a época (Quadro 1), é possível que essas diferenças sejam devidas ao tipo de resíduo cultural. Braida & Cassol (1996), em estudo de erosão entressulcos, relacionando tipo e quantidade de resíduos presentes na superfície do solo, utilizando o modelo proposto por Laflen et al. (1985), obtiveram percentuais de cobertura do solo semelhantes aos encontrados nessas duas épocas.

Outro aspecto a ser considerado é que a mobilização do solo modifica a continuidade natural dos poros construídos durante o ciclo das culturas. Segundo Kooistra et al. (1984), o aumento da porosidade do solo, promovido pelas operações de preparo, pode não produzir efeitos favoráveis ao aumento da taxa de infiltração, em virtude da destruição da continuidade dos poros. Portanto, o aumento da porosidade promovido pelo preparo do solo não foi capaz de manter a taxa constante de infiltração com valores próximos aos encontrados na 2^a época de avaliação, produzindo, dessa forma, uma redução na infiltração acumulada, que caiu para 112 mm (Quadro 3), ou seja, 62% do total da chuva aplicada durante os 90 minutos de realização do teste.

No cultivo mínimo (Figura 3b), pode-se visualizar um decréscimo rápido na taxa de infiltração na primeira metade do teste, caindo de 120 mm h⁻¹, no 3^o minuto (0,05 h), para 76 mm h⁻¹, no 45^o minuto (0,75 h). Posteriormente, a taxa de infiltração estabilizou-se, atingindo taxa constante a partir do 66^o minuto (1,1 h), com 62 mm h⁻¹ (Quadro 3). Observa-se que a redução na taxa de infiltração de água no solo no cultivo mínimo foi de aproximadamente, 1 mm min⁻¹ nos primeiros

Quadro 3. Quantidade de palha, percentual de cobertura do solo, taxa constante de infiltração (TCI), coeficiente de infiltração, infiltração acumulada (Ia), nos sistemas de manejo em preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e sistema plantio direto (SPD), na 3^a época (abril/1995)

Sistema de manejo	Quantidade de palha	Cobertura do solo	Umidade inicial ⁽¹⁾	TCI ⁽²⁾	Coefficiente de infiltração ⁽³⁾	Ia
	t ha ⁻¹	m ² m ⁻²	kg kg ⁻¹	mm h ⁻¹		mm
PC	3,36	0,23	0,179	57	0,4750	112
CM	6,42	0,58	0,187	62	0,5167	122
SPD	9,64	0,78	0,180	48	0,4000	91

⁽¹⁾ Umidade inicial média da profundidade de 0-30 cm. ⁽²⁾ Para uma chuva simulada planejada de 120 mm h⁻¹. ⁽³⁾ Razão entre a taxa constante de infiltração e a intensidade de chuva planejada aplicada.

60 minutos de aplicação da chuva, inferior àquela ocorrida no preparo convencional, onde a queda foi de $1,25 \text{ mm min}^{-1}$ nos primeiros 47 minutos de aplicação de chuva.

Antes da realização do teste, houve a escarificação do solo e a semeadura da cultura de aveia preta. As operações de preparo do solo e semeadura da cultura de aveia preta fizeram com que diminuísse a quantidade de palha na superfície para $6,42 \text{ t ha}^{-1}$ e o percentual de cobertura do solo para 58% (Quadro 3). A ação positiva do escarificador em abrir fendas na camada trabalhada, para permitir que a água retida junto à superfície do solo infiltrasse no perfil, não foi suficiente para evitar uma queda de 15% na infiltração acumulada, em relação àquela encontrada na 2ª época de avaliação, caindo de 144 para 122 mm (Quadro 3).

No sistema plantio direto (Figura 3c), a taxa de infiltração de água no solo foi de 120 mm h^{-1} no 3º minuto (0,05 h) e caiu para 53 mm h^{-1} no 36º minuto (0,6 h), produzindo uma redução de $2,16 \text{ mm min}^{-1}$. Porém, logo em seguida, a tendência foi a de estabilizar-se, atingindo uma taxa constante de infiltração de água no solo de 48 mm h^{-1} (Quadro 3), muito semelhante àquela encontrada no preparo convencional na 1ª época e 18% inferior neste mesmo sistema na 3ª época.

Verifica-se que, mesmo com $9,64 \text{ t ha}^{-1}$ de palha na superfície (Quadro 3), a taxa de infiltração de água no solo caiu rapidamente. Entretanto, em função da proximidade das linhas de semeadura de aveia preta (17 cm), o trabalho realizado pela semeadora de plantio direto, que implantou a cultura de aveia, mobilizou a superfície do solo, fragmentando a palha de milho em pedaços pequenos, fazendo com que os resíduos fossem parcialmente cobertos por uma camada de solo, ou seja, promovendo uma "semi-incorporação" dos resíduos culturais. Dessa forma, houve maior exposição da superfície do solo, como demonstram os dados de percentual de cobertura do solo (Quadro 3) que caíram de 92% (2ª época) para 78% (3ª época).

Roth et al. (1988), trabalhando com preparo convencional, cultivo mínimo e sistema plantio direto, tentando definir a taxa mínima de "mulch" necessária para controlar a erosão sob uma chuva de 60 mm h^{-1} , observaram que, para assegurar a infiltração completa de uma chuva de alta intensidade, é necessário que, no mínimo, 90% da superfície do solo esteja coberta. Deve-se esclarecer que a chuva simulada aplicada sobre a parcela experimental do sistema plantio direto foi o primeiro evento pluviométrico que ocorreu na área após os preparos de solo e a semeadura da aveia preta.

A mobilização do solo e a exposição da superfície à ação direta das gotas de uma chuva de 120 mm h^{-1}

facilitaram o processo de desagregação das partículas e a obstrução de poros, com uma conseqüente queda acentuada na taxa de infiltração, principalmente nos primeiros 24 minutos (0,4 h) de chuva, diminuindo a taxa de infiltração de água no solo de 120 mm h^{-1} , no 3º minuto (0,05 h), para 62 mm h^{-1} .

Vários pesquisadores (McGregor et al., 1975; Laflen & Colvin, 1981; Lindstrom et al., 1981) consideram que a enxurrada no sistema plantio direto é semelhante àquela que ocorre nos sistemas de manejo onde existe mobilização do solo, indicando que o desenvolvimento de um sistema estável de macroporos nem sempre acontece ou irá ocorrer lentamente em determinados locais. Portanto, o fator que mais influenciou a redução da taxa de infiltração de água no solo logo após a semeadura da cultura de aveia preta foi a alteração nas condições de superfície do solo, provocadas pela ação da semeadora. Como reflexo dessas condições de superfície, que dificultaram a infiltração de água no solo, houve uma redução de 23% na infiltração acumulada em relação ao preparo convencional, ou seja, caiu para 91 mm (Quadro 3).

Dez anos de uso continuado do sistema plantio direto, sob um sistema de rotação de culturas, resultaram em uma condição de superfície do solo que não é capaz de reter a grande quantidade de água, produto de uma chuva de alta intensidade. A grande quantidade de resíduos presentes na superfície (praticamente 100% de cobertura) pode, efetivamente, absorver a energia das gotas da chuva (Lindstrom et al., 1981).

Tais resultados experimentais demonstram que é de fundamental importância a presença nas lavouras de estruturas de contenção do escoamento superficial (tais como terraços), especialmente naquelas que apresentam condições para que o escoamento superficial adquira velocidade. A partir do momento em que tais estruturas estejam presentes, o excesso de água das precipitações pluviométricas pode ser manejado de forma correta, evitando o livre escoamento superficial de água das chuvas.

CONCLUSÕES

1. Os preparos conservacionistas de solo (sistema plantio direto e cultivo mínimo) apresentaram taxas de infiltração de água no solo superiores às do preparo convencional, exceto no período imediatamente após o preparo de solo e, ou, semeadura da aveia em sucessão ao milho.

2. Dentre as épocas de realização dos testes de chuva simulada, as maiores taxas de infiltração de água no solo ocorreram no sistema de cultivo mínimo, enquanto as maiores taxas de cobertura da superfície do solo ocorreram no sistema plantio direto.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Trigo, pela oportunidade de desenvolvimento dos trabalhos de campo e laboratório, em particular aos funcionários do Laboratório de Análise de Solo e Física do Solo.

Ao Projeto METAS, "Viabilização e difusão do sistema plantio direto no planalto do Rio Grande do Sul", pelo apoio financeiro.

À colaboração da equipe dos Laboratórios de Física do Solo e Química Agrícola da FEPAGRO e aos funcionários do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

LITERATURA CITADA

- ALVES, C.M. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 115p. (Tese de Mestrado)
- BARCELOS, A.A. Infiltração de água em um Latossolo, sob chuva de alta intensidade, em diferentes sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 115p. (Tese de Mestrado)
- BRAKENSIEK, H.B.; OSBORN, W.J. & RAWLS, W.J. Field manual for research in agricultural hydrology. Washington, USDA, 1979. 547p. (Agriculture Handbook, 224)
- BRAIDA, J.A. & CASSOL, E.A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Resumos Expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (Em CD Rom, Trab. 10 comissão 06)
- CABEDA, M.S.V. Degradação física e erosão do solo. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1., SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3., 1984, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, PIUCS e UPF - Faculdade de Agronomia, 1984. p. 28-33.
- CASSOL, E.A. Erosão do solo: influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo. 2 ed. Porto Alegre, IPRNR-Ataliba Paz, 1986. 40p. (Publicação IPRNR, 15)
- CAUDURO, F.A. & DORFMAN, R. Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem. Brasília, PRONI/MA, 1988. 216p.
- DALLA ROSA, A. Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo - solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo distrófico). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. 136p. (Tese de Mestrado).
- DENARDIN, J.E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1., SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3., 1984, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, PIUCS e UPF - Faculdade de Agronomia, 1984. p.107-124.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina, GTZ-IAPAR. 1991. 272p.
- DUNN, G.H. & PHILLIPS, R.E. Macroporosity of a well-drained soil under no-till 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., 119:242-249, 1975.
- FREEBAIRN, D.M.; GUPTA, S.C.; ONSTAD, C.A. & RAWLS, W.J. Antecedent rainfall and tillage effects upon infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:1183-1189, 1989.
- KLADIVKO, E.J.; GRIFFITH, D.R. & MANNERING, J.V. Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soybeans in Indiana. Soil Til. Res., 8:277-287, 1986.
- KOOISTRA, M.J.; BOUMA, J.; BOERSMA, O.H. & JAGER, A. Physical and morphological characterization of undisturbed and disturbed plowpans in a sandy loam soil. Soil Til. Res., 4:405-417, 1984.
- LAFLEN, J.M. & COLVIN, T.S. Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping. Trans. Am. Sci. Agric. Eng., 24:605-609, 1981.
- LAFLEN, J.M.; FOSTER, G.R. & ONSTAD, C. Simulation of individual storm soil losses for modeling the impact of soil erosion on cropland and conservation. In: ELSWAFY, MOLDENHAUER, LO. eds. Soil erosion and conservation. Ankeny, SCSA, 1985. p.285-295.
- LINDSTROM, M.J.; VOORHEES, W.B. & RANDAL, G.W. Long-term tillage effects on interrow runoff and infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J., 45:945-948, 1981.
- MCGREGOR, K.C.; GREER, J.D. & GARLEY, G.E. Erosion control with no-till cropping practice. Trans. Am. Sci. Agric. Eng., 18:918-920, 1975.
- RESCK, D.V.S. Aperfeiçoamento e calibração de aparelhos coletores de enxurrada para a medição de perdas de solo, água e nutrientes em estudos com simulador de chuva. Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1983. 24p. (Boletim de Pesquisa, 19)
- ROSE, C.W. Some effects of rainfall, radiant drying, and soil factors on infiltration under rainfall into soils. J. Soil Sci., 13:286-298, 1962.
- 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 Til. Res., 11:81-91, 1988.
- SAS Institute. SAS User's Guide: Statistics. 5.ed. Cary, N.C.1985. 956p.
- VEIGA, M. & WILDNER, L.P. Manual para la instalacion y conduccion de experimentos de perdida de suelos. Santiago, EPAGRI/FAO, 1993. 34p. (Documento de Campo, 1)
- VILLELA, S.M. & MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.
- WU, L.; SWAN, J.B.; PAULSON, W.H. & RANDALL, G.W. Tillage effects on measured soil hydraulic properties. Soil Til. Res., 25:17-33, 1992.