

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

PARÂMETROS RELACIONADOS COM A EROSÃO HÍDRICA SOB TAXA CONSTANTE DA ENXURRADA, EM DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO⁽¹⁾

Ildegardis Bertol⁽²⁾, Eloy Lemos Mello⁽³⁾, Neroli Pedro Cogo⁽⁴⁾,
EvaVidal Vázquez⁽⁵⁾ & Antonio Paz González⁽⁶⁾

RESUMO

O preparo do solo altera as suas condições físicas de superfície e subsuperfície e, conseqüentemente, influencia os valores dos fatores que se relacionam com a erosão hídrica. Considerando estes aspectos, realizou-se um experimento de erosão em campo, sob a ação de chuva simulada, entre outubro de 1999 e maio de 2000, na região do Planalto Sul Catarinense, tendo por objetivo a avaliação de alguns fatores relacionados com a erosão hídrica do solo na condição de equilíbrio do escoamento superficial, em três métodos de preparo do solo. No estudo, utilizou-se Nitossolo Háplico aluminico de textura argilosa, apresentando, no local do experimento, 0,14 m m⁻¹ de declividade. Os tratamentos avaliados foram: (a) preparo reduzido (escarificação + gradagem); (b) preparo convencional tradicional (aração + duas gradagens), e (c) preparo convencional alterado (aração + duas gradagens + duas rastelagens), os dois primeiros em solo continuamente cultivado e o último em solo mantido continuamente sem cultivo (tratamento-testemunha). Os tratamentos foram caracterizados em termos de rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo, as quais foram avaliadas imediatamente antes e depois do preparo, no dia anterior à aplicação da chuva simulada. O teste de chuva foi realizado por ocasião da semeadura da soja, na intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e com duração variável (até alcançar 30 min de enxurrada constante, em cada tratamento). O preparo do solo aumentou a rugosidade superficial ao acaso e diminuiu a cobertura por resíduo cultural em graus diferenciados, dependendo do método de preparo empregado. O preparo reduzido foi o tratamento mais eficaz no aumento da

⁽¹⁾ Recebido para publicação em março de 2005 e aprovado em junho de 2006.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/ UDESC. Av. Luiz de Camões 2090, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: a2ib@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Engenharia Rural, CAV/UDESC. E-mail: a2elm@cav.udesc.br.

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: neroli@ufrgs.br

⁽⁵⁾ Pesquisadora da Universidade de Santiago de Compostela, USC, no Programa Juan de la Cierva, Ministerio de Educación y Ciencia, Espanha. E-mail: evavidal@mail2.udc.es

⁽⁶⁾ Catedrático de Edafologia y Química Agrícola da Universidade da Coruña, UDC, Espanha. E-mail: tucho@udc.es

rugosidade superficial do solo ao acaso e na manutenção da cobertura por resíduo cultural. Os tempos de início e equilíbrio da enxurrada foram relativamente altos e pouco afetados pelos métodos de preparo do solo estudados. A velocidade da enxurrada, a concentração e o tamanho dos sedimentos, bem como a taxa de perda de solo, aumentaram com a diminuição da rugosidade e da cobertura superficiais do solo, enquanto a taxa de infiltração da água da chuva diminuiu. A taxa de descarga e o coeficiente de enxurrada - parâmetro C da Fórmula Racional -, aumentaram com a diminuição da rugosidade e da cobertura superficiais do solo.

Termos de indexação: chuva simulada, cobertura superficial do solo, rugosidade superficial do solo, infiltração de água no solo, coeficiente de enxurrada, taxa de erosão.

SUMMARY: *WATER-EROSION RELATED PARAMETERS UNDER STEADY RUNOFF-RATE FOR DIFFERENT SOIL TILLAGE METHODS*

Tillage influences both surface and subsurface soil physical conditions, and consequently the values of the factors related to the rainfall-water erosion process. A field experiment using simulated rainfall was conducted from October, 1999 to May, 2000, in the Planalto Sul Catarinense region, Lages, Santa Catarina State, Brazil, in order to evaluate some of the factors related to the rainfall-water erosion process under steady runoff-rate, with three different soil tillage methods. The soil used in the study was a clayey Typic Hapludox with 0.14 m m⁻¹ slope at the experimental site. The evaluated treatments consisted of: (a) reduced tillage (chiseling + disking), (b) typical conventional tillage (plowing + double-disking), and (c) modified conventional tillage (plowing + double-disking + double hand-harrowing). The first two treatments were applied in continuously cultivated soil and the last one in continuously uncultivated-soil (control treatment). Both the soil surface random-roughness and soil surface residue cover were characterized in the treatments through measurements immediately before and after tillage, on the day before simulated rainfall application. The rainfall test was applied by the time of soybean planting, at a constant intensity of 64 mm h⁻¹ and varying durations (until completing 30-min of constant runoff in each treatment). Soil tillage increased the random-surface roughness and decreased surface cover to different degrees, depending on the type of equipment. Reduced tillage was the most effective treatment in terms of both increasing random surface roughness and maintaining the soil surface cover. The periods until starting runoff and reaching runoff-peak were relatively long and little affected by tillage treatments. Runoff velocity, sediment concentration and size of eroded sediments in the runoff-water, and soil loss rate increased with the decrease in both surface roughness and surface cover, while rainfall-water infiltration in the soil decreased. Runoff discharge and its associated runoff coefficient – parameter C in the Rational Equation – increased as surface roughness and surface cover decreased.

Index terms: simulated rainfall, soil surface-cover, soil surface-roughness, soil water-infiltration, runoff coefficient, erosion rate.

INTRODUÇÃO

O preparo do solo altera suas condições físicas de superfície e subsuperfície e, conseqüentemente, influencia os valores dos fatores relacionados com a erosão hídrica. Dentre as condições alteradas pelo preparo, destacam-se a rugosidade superficial do solo ao acaso, a cobertura do solo por resíduo cultural e a porosidade total da camada de solo preparada.

Dentre os métodos de preparo do solo comumente utilizados, a escarificação, seguida ou não de gradagem, provoca, usualmente, maior rugosidade ao acaso à superfície do solo do que o preparo convencional, o qual, comumente, é realizado por meio de uma aração e de duas gradagens e, por sua vez, ocasiona maior rugosidade superficial ao solo do que quando ele é preparado convencionalmente e mantido sem cultivo (Cogo, 1981; Bertol, 1995; Bertol et al., 1997; Schick et al., 2000). Esta última

situação caracteriza a condição da parcela-padrão ou unitária de ambas, Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (Wischmeier & Smith, 1978) e Equação Universal de Perda de Solo Revisada – EUPSR (Renard et al., 1997).

Dentre as variáveis primárias que influenciam a erosão hídrica do solo, a cobertura e a rugosidade superficiais são as mais importantes, sendo responsáveis por, praticamente, toda a retenção e armazenagem de água e dos sedimentos da erosão na superfície do solo (Cogo, 1981; Onstad, 1984; Kamphorst et al., 2000). A água retida e armazenada na superfície do solo tem mais tempo para infiltrar no solo, razão por que aumenta a sua porção infiltrada e diminui o escoamento superficial, refletindo-se em menor coeficiente de enxurrada (Schwab et al., 1993). Assim, o coeficiente de enxurrada diminui em superfícies de solo rugosas e, ou cobertas, que retêm e armazenam maior quantidade de água da chuva do que superfícies lisas e, ou, descobertas. Em decorrência, as superfícies de solo rugosas e parcialmente cobertas, como, por exemplo, no preparo efetuado com escarificador, seguido ou não de grade, são mais eficazes na redução da erosão hídrica do que as superfícies de solo rugosas e descobertas, como, por exemplo, no preparo efetuado com arado, seguido ou não de grade, e, principalmente, mais do que as superfícies de solo lisas e descobertas, como, por exemplo, no solo preparado convencionalmente e mantido sem cultivo – condição da parcela-padrão ou unitária da EUPS e da EUPSR.

A rugosidade superficial do solo ao acaso é constituída de microelevações e de microdepressões (Kuipers, 1957; Allmaras et al., 1966), as quais se encontram espacialmente distribuídas no terreno (Linden & Van Doren, 1986). Juntamente com a cobertura por resíduo cultural, a rugosidade superficial do solo ao acaso influencia tanto a retenção, armazenagem e infiltração de água na sua superfície quanto a velocidade, taxa de descarga e coeficiente de enxurrada ou escoamento superficial, conseqüentemente, a retenção de sedimentos nas suas microdepressões e as perdas de solo por erosão hídrica (Cogo, 1981; Bertol, 1995; Kamphorst et al., 2000). O coeficiente de enxurrada, C , usado na Fórmula Racional (Schwab et al., 1993), é fundamental no cálculo do dimensionamento de estruturas hidráulicas destinadas à remoção do excesso de água da chuva de superfícies submetidas a chuvas críticas, como, por exemplo, terraços agrícolas de descarga, de drenagem ou em desnível. A rugosidade superficial do solo ao acaso é influenciada por muitos fatores, destacando-se o teor de água no solo antecedente ao preparo, o tipo e a intensidade de preparo, a quantidade e o tipo de resíduo cultural e o tipo de solo (Allmaras et al., 1966; Cogo, 1981; Römken & Wang, 1986; Kamphorst et al., 2000; Schick et al., 2000; Vidal Vázquez, 2002).

O índice de rugosidade superficial do solo ao acaso, RR , o qual descreve a distribuição casual dos torrões e agregados do solo em superfície submetida a determinado manejo agrícola (Kuipers, 1957; Allmaras et al., 1966), é o mais tradicional e antigo índice proposto para tal finalidade. O índice RR descreve o intervalo no componente vertical da rugosidade, ou seja, a distribuição de alturas da superfície do solo, sem levar em conta o componente espacial, ou seja, a localização dos pontos altos e baixos no espaço do microrrelevo. Portanto, duas superfícies com o mesmo índice, RR , podem apresentar morfologias completamente distintas e, conseqüentemente, diferente capacidade de reter e armazenar água e sedimentos da erosão nas microdepressões do relevo (Huang & Bradford, 1992; Kamphorst et al., 2000).

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar alguns fatores relacionados com a erosão hídrica do solo sob a condição de equilíbrio do escoamento superficial, em distintos métodos de preparo do solo, utilizando chuva simulada em campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em campo, entre outubro de 1999 e maio de 2000, na região do Planalto Sul de Santa Catarina, Brasil, situada entre $28^{\circ} 55'$ de latitude ao Sul e $51^{\circ} 08'$ de longitude Oeste (de Greenwich), a 846 m de altitude média. O clima da região é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.600 mm e erosividade média anual de $6.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Bertol et al, 2002).

O solo utilizado no estudo é um Nitossolo Háplico aluminico de textura argilosa, apresentando, na camada de 0–0,20 m, 627 g kg^{-1} de argila, 255 de silte, 118 de areia e 13,5 de carbono orgânico. No local do experimento, o solo apresentava declividade de $0,14 \text{ m m}^{-1}$.

A adequação da área experimental teve início em março e abril de 1999, por meio de duas arações e três gradagens no solo da área, que vinha sendo utilizada com pastagem natural. Nessa condição, em maio de 1999, no local onde seriam instalados os tratamentos de preparo convencional tradicional (PC) e preparo reduzido (PR), foi semeada aveia preta (*Avena strigosa*), cujas sementes foram distribuídas superficialmente a lanço e, depois, incorporadas ao solo por meio de uma gradagem leve. Em outubro de 1999, alguns dias após o dessecamento da aveia preta, foram instalados os tratamentos de preparo do solo investigados neste estudo, para semeadura da cultura da soja – exceto o tratamento-testemunha ou sem cultivo –, distribuídos ao acaso, com duas repetições, em parcelas experimentais com dimensões de

3,5 x 11,0 m, a saber: (1) preparo reduzido, realizado por meio de uma escarificação e de uma gradagem – PR; (2) preparo convencional tradicional, realizado por meio de uma aração e de duas gradagens – PC, e (3) preparo convencional alterado, realizado por meio de uma aração, duas gradagens e duas passagens manuais de rastelo, em solo mantido continuamente sem cultivo – SC (parcela-padrão ou unitária da EUPS e da EUPSR - tratamento-testemunha).

Os dois primeiros tratamentos foram efetuados sobre o resíduo cultural (fresco) da aveia preta, a qual havia sido quimicamente dessecada alguns dias antes do preparo do solo. Após as operações de preparo do solo, a soja foi semeada, utilizando-se semeadora manual do tipo “saraquá” ou “matraca”. As operações de preparo do solo foram realizadas, todas, no sentido do declive, conforme filosofia de obtenção do fator C – cobertura e manejo do solo dos modelos de previsão da erosão hídrica EUPS e EUPSR, do modo descrito a seguir. Nos tratamentos preparo convencional tradicional (PC) e preparo convencional alterado (SC), a aração foi efetuada com arado de discos, na profundidade de 0,20 m, e as gradagens com grade niveladora de discos, na profundidade de 0,15 m. No último tratamento, foram também realizadas duas operações manuais com rastelo. No tratamento preparo reduzido (PR), a escarificação foi efetuada com escarificador provido de hastes (em número de sete), distanciadas de 0,50 m, na profundidade de 0,18 m, e a gradagem com a mesma grade niveladora utilizada nos tratamentos PC e SC.

A rugosidade superficial do solo ao acaso foi avaliada em dois momentos distintos, ou seja, imediatamente antes e depois do preparo do solo, no dia anterior à aplicação do teste de chuva simulada. Para tal, foi utilizado um rugosímetro constituído de 40 varetas de Al, com 6 mm de diâmetro cada uma, distanciadas de 3 cm e dispostas ao longo de uma linha na estrutura do equipamento, o que possibilitou a tomada de 40 leituras de elevações da superfície do solo em cada linha de leitura na parcela experimental. Movendo o conjunto de varetas em intervalos de 5 cm sobre o suporte do equipamento, em cinco posições ou avanços, foi possibilitada a tomada de 200 leituras de elevações da superfície do solo, em um único local em cada parcela experimental, perfazendo, assim, uma área de amostragem de 3.000 cm² em cada parcela. O índice de rugosidade superficial do solo ao acaso, RR, foi calculado pelo procedimento proposto por Allmaras et al. (1966), o qual permite eliminar o efeito da declividade do terreno e das marcas do preparo do solo, com duas modificações. A primeira modificação, baseada em Currence & Lovely (1970), consistiu do cálculo do desvio-padrão e não do erro-padrão das elevações da superfície do solo. A segunda modificação, baseada em Kamphorst et al. (2000), consistiu da utilização direta dos valores

das elevações da superfície do solo lidos no campo, sem transformação para logaritmo e sem eliminar os valores extremos. Imediatamente antes e depois do preparo do solo, foi também avaliada a cobertura pelo resíduo cultural da aveia preta, relativo ao cultivo anterior na área experimental, conforme Hartwig & Laflen (1978), e, imediatamente antes da aplicação da chuva simulada, o teor de água no solo, em base gravimétrica, nas camadas de 0–0,10 e 0,10–0,20 m, conforme descrito em Forsythe (1975).

Sobre os tratamentos de preparo do solo descritos, foi aplicado o teste de chuva simulada, logo após a semeadura da soja, na intensidade constante de 64 mm h⁻¹ (correspondente à energia cinética de 0,2083 MJ ha⁻¹ mm⁻¹) e com duração variável (até obter-se 30 min com enxurrada constante, em cada tratamento). A chuva simulada foi aplicada com o simulador de chuva de braços rotativos (Swanson, 1965), simultaneamente cobrindo duas parcelas, as quais constituíram as repetições dos tratamentos de preparo do solo investigados neste estudo.

Durante o período de tempo com descarga constante da enxurrada (30 min), foram coletadas amostras e efetuadas medições da sua taxa de descarga, intermitentemente, a cada três minutos, para posterior determinação, em laboratório, da concentração de sedimentos na mesma, taxa constante de infiltração de água no solo e distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos, conforme método descrito em Cogo (1981), bem como para cálculo do coeficiente de enxurrada, C, da Fórmula Racional (Schwab et al., 1993). O coeficiente de enxurrada, C, expressa a fração da água da chuva que, no momento do pico da enxurrada, torna-se enxurrada, sendo obtido pela razão entre a taxa constante de enxurrada e a taxa ou intensidade de chuva aplicada. Foram ainda determinadas, durante a condição de equilíbrio do escoamento superficial, a velocidade da enxurrada e a distribuição de tamanho dos sedimentos nela transportados (utilizando peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,105; 0,053 e 0,037 mm), para posterior cálculo do índice D₅₀, de acordo com o método descrito em Cogo (1981). O índice D₅₀ expressa o tamanho de sedimentos transportados na enxurrada em que 50 % dos sedimentos, em base de massa, apresentam diâmetro superior e 50 % diâmetro inferior a tal tamanho. Quanto menor o seu valor, maior é a proporção de sedimentos de menor tamanho transportados na enxurrada ou sedimentos erodidos.

O efeito dos tratamentos sobre os valores dos fatores relacionados com a erosão hídrica avaliados neste estudo foi testado por meio de análise da variância. Quando os valores dos fatores avaliados foram estatisticamente diferentes, as suas médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de água no solo antes da chuva e tempos de início e equilíbrio da enxurrada

O teor de água no solo antecedente à chuva simulada aplicada estava alto nos três preparos estudados, em ambas as camadas de solo amostradas (Quadro 1), considerando as chuvas naturais ocorridas poucos dias antes. Mesmo assim, o preparo convencional tradicional (PC) apresentou valor desta variável mais elevado na camada de 0–0,10 m e o preparo reduzido (PR) mostrou valor mais elevado na camada de 0,10–0,20 m, o que, provavelmente, exerceu pouco efeito sobre as características de erosão avaliadas, comparado ao efeito das diferenças observadas na rugosidade ao acaso e na cobertura superficiais do solo (Quadro 2).

O tempo de início da enxurrada (Ti) foi distinto nos três preparos estudados, sendo o mais baixo no preparo convencional alterado (SC), intermediário no preparo convencional tradicional (PC) e o mais elevado no preparo reduzido (PR), resultados estes consistentes com os valores de rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo nestes tratamentos, com os valores maiores destas variáveis induzindo retardamento da enxurrada. Em relação ao tempo de equilíbrio da enxurrada (Te), ele também foi alto nos três preparos investigados, pelas mesmas razões recém-expostas, sendo, contudo, mais baixo no preparo convencional alterado (SC), explicado pela ausência de cobertura vegetal e pela menor rugosidade ao acaso no mesmo (Quadro 2), resultado este também consistente.

Rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo

Verifica-se que, no preparo reduzido (PR), a rugosidade ao acaso (Quadro 2) foi aumentada em 59 % após o preparo do solo, em relação à anterior do preparo, enquanto, no preparo convencional tradicional (PC), ela foi aumentada em 40 % e,

diferentemente destes dois tratamentos, no preparo convencional alterado - sem cultivo (SC), ela foi reduzida em 18 %, fato este explicado pela passagem de rastelo, manualmente, por duas vezes, no solo. Assim, o efeito do preparo do solo no aumento da sua rugosidade superficial ao acaso foi 19 % maior no preparo reduzido (PR) do que no preparo convencional tradicional (PC), o que é explicado pelas diferenças no tipo de equipamento (escarificador no PR e arado de disco no PC) e número de operações (uma gradagem no PR e duas no PC) utilizados nos mesmos. Estes dados evidenciam a importância do uso do escarificador no preparo do solo com vistas no aumento da sua rugosidade superficial ao acaso, conforme também constataram Cogo (1981) e Schick et al. (2000). Tal fato evidencia a maior capacidade do preparo reduzido no sentido de dificultar o escoamento superficial e aumentar a retenção, armazenagem e infiltração da água da chuva na superfície do solo e, conseqüentemente, reduzir a enxurrada e a erosão hídrica.

Cogo (1981), comparando o preparo reduzido com o preparo convencional, obteve efeito mais pronunciado do preparo do solo na sua rugosidade superficial ao acaso. Nesse trabalho, o autor também executou o preparo reduzido com uma escarificação, porém, sem gradagem, o que resultou em maior diferença nos valores de rugosidade superficial ao acaso entre os tratamentos em questão. Após o preparo do solo, a rugosidade superficial ao acaso foi, na média dos mesmos, 80 % maior no preparo reduzido (PR) e convencional tradicional (PC) do que no preparo convencional alterado - solo sem cultivo (SC), revelando a importância do cultivo do solo no valor de tal variável, decorrente da melhor estrutura do solo nos solos cultivados. No caso em questão, havia, ainda, no preparo reduzido (PR) e no preparo convencional tradicional (PC), resíduo cultural de aveia preta sobre a superfície do solo, remanescente do cultivo anterior, parte do qual foi misturado ao solo durante a operação de preparo e parte dele permaneceu na sua superfície, ao mesmo tempo propiciando cobertura ao solo (Quadro 2) e influenciando sua rugosidade ao acaso.

Quadro 1. Teor gravimétrico de água no solo (Ug) antes da aplicação da chuva simulada, em duas profundidades, e tempos de início (Ti) e equilíbrio da enxurrada (Te), nos preparos de solo estudados

Preparo do solo	Ug (0-0,10 m)	Ug (0,10-0,20 m)	Ti	Te
	g g ⁻¹		min	
PR	0,33 b	0,50 a	27 a	59 a
PC	0,39 a	0,45 b	23 b	59 a
SC	0,33 b	0,46 b	18 c	52 b

PR = preparo reduzido; PC = preparo convencional tradicional; SC = preparo convencional alterado - sem cultivo (testemunha). Tratamentos com a mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente (Duncan, $P < 0,05$).

Quadro 2. Índice de rugosidade superficial do solo ao acaso (RR) e cobertura do solo por resíduo cultural (CS), nos preparos de solo estudados

Preparo do solo	RR		CS	
	Antes do preparo	Após o preparo	Antes do preparo	Após o preparo
	mm		m ² m ⁻²	
PR	6,58 aB	10,49 aA	0,95 aA	0,73 aB
PC	6,45 aB	9,05 bA	0,95 aA	0,48 bB
SC	6,62 aA	5,41 cB	0 bA	0 cA

PR = preparo reduzido; PC = preparo convencional tradicional; SC = preparo convencional alterado - sem cultivo (testemunha). Tratamentos com a mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente (Duncan, $P < 0,05$).

No preparo convencional alterado - sem cultivo (SC), a diminuição da rugosidade ao acaso após o preparo do solo, em relação à anterior do preparo, deve-se ao fato de que, antes do preparo, a superfície do terreno apresentava, já, ondulação, a qual foi incluída no cálculo da rugosidade, e, após o preparo, foram realizadas duas operações manuais com rastelo no solo (escarificação superficial), o que visivelmente diminuiu muito o tamanho e o número dos torrões grandes, resultantes das operações mecanizadas de aração e gradagem, ocasionando o alisamento da superfície do solo, diminuindo, assim, a rugosidade ao acaso neste tratamento.

A cobertura do solo pelo resíduo cultural remanescente da aveia preta, avaliada após o preparo do solo (Quadro 2), mostrou-se expressivamente alta (0,48 m² m⁻²) no preparo convencional tradicional (PC), quando comparada aos valores usualmente observados em tal preparo, embora ela tenha sido expressivamente reduzida pelas operações de aração e gradagens (duas), enquanto, no preparo reduzido (PR), ela resultou em valor compatível (0,73 m² m⁻²) com tal categoria de preparo. Considerando a elevada eficácia que a cobertura do solo por resíduos culturais apresenta na redução da erosão hídrica, já verificada por outros autores (Cogo, 1981; Bertol, 1995), ela certamente influenciou, de modo forte, as características de erosão hídrica avaliadas, provavelmente, mais do que a influência da rugosidade superficial ao acaso *per se*, conforme constatado por Cogo (1981).

Velocidade da enxurrada e fatores de erosão relacionados com a perda de solo

Verifica-se que a velocidade da enxurrada foi significativamente influenciada pelos métodos de preparo do solo estudados (Quadro 3), o que é explicado pelas diferenças em ambas, rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo nos mesmos (Quadro 2). As maiores rugosidades ao acaso e coberturas superficiais do solo no preparo reduzido diminuíram a velocidade da enxurrada em 15 %, comparadas às do preparo convencional tradicional

(PC), e em 45 %, comparadas as do preparo convencional alterado - sem cultivo (SC). Por outro lado, comparando o preparo convencional tradicional (PC) com o preparo convencional alterado - sem cultivo (SC), observa-se que a velocidade da enxurrada foi aumentada em 49 % neste último, em virtude da ausência de cobertura por resíduo cultural e da diminuição da rugosidade superficial ao acaso causada pelas duas operações de rastelo (Quadro 2).

A concentração de sedimentos na enxurrada e a taxa de perda de solo também foram significativamente influenciadas pelos tratamentos estudados, o que é explicado pelas mesmas razões anteriores, ou seja, diferenças em ambas, rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo (Quadro 2), porém, agora, acrescidas das diferenças na velocidade da enxurrada entre eles (Quadro 3). A concentração de sedimentos na enxurrada aumentou duas vezes do preparo reduzido (PR) para o preparo convencional tradicional (PC) e, igualmente, deste para o preparo convencional alterado - sem cultivo (SC), enquanto a taxa de perda de solo aumentou duas vezes e meia, na mesma ordem de apresentação dos tratamentos, causadas pela redução de ambas, rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo, e pelo aumento da velocidade da enxurrada, naquela sequência de tratamentos. A manutenção da superfície do solo rugosa e coberta, portanto, constitui excelente forma de manejo do mesmo do ponto de vista de redução da velocidade da enxurrada e da concentração de sedimentos nelas retido, conseqüentemente, da taxa de perda de solo por erosão hídrica, conforme também constatado por outros autores (Cogo, 1981; Schick et al., 2000).

A distribuição de tamanho dos sedimentos transportados na enxurrada, expressa pelo índice D₅₀, também foi significativamente influenciada pelos tratamentos estudados (Quadro 3), o que é explicado pelas variações na rugosidade superficial do solo ao acaso, cobertura do solo por resíduo cultural e velocidade da enxurrada, igualmente como aconteceu com as variáveis anteriores. Assim, o preparo convencional alterado - sem cultivo (SC),

Quadro 3. Velocidade da enxurrada (V) concentração de sedimentos na mesma (Cs), taxa de perda de solo (A) e índice D₅₀ dos sedimentos erodidos na condição de equilíbrio do escoamento superficial, nos preparos de solo estudados

Preparo do solo	V	Cs	A	D ₅₀
	cm s ⁻¹	g L ⁻¹	kg ha ⁻¹ h ⁻¹	mm
PR	9,3 c	0,08 c	24,9 c	0,211 c
PC	11,0 b	0,16 b	60,4 b	0,250 b
SC	16,4 a	0,25 a	163,0 a	0,452 a

PR = preparo reduzido; PC= preparo convencional tradicional; SC = preparo convencional alterado - sem cultivo (testemunha). Tratamentos com a mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente (Duncan, $P < 0,05$).

sem cobertura e com baixa rugosidade superficial ao acaso, permitiu o transporte de sedimentos com tamanho duas vezes maior do que no preparo reduzido (PR), no qual a cobertura era de 0,73 m² m⁻² e a rugosidade 94 % maior do que no primeiro tratamento. O efeito combinado da rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo, portanto, é fundamental na redução da erosão hídrica, conforme ressaltado por Cogo (1981). É importante salientar, entretanto, que os sedimentos de menor tamanho transportados na enxurrada originada dos preparos conservacionistas de solo são, em geral, mais ricos em termos de nutrientes das culturas e C orgânico que os sedimentos mais grosseiros transportados na enxurrada originada dos métodos convencionais de preparo do solo (Bertol et al., 2004).

Infiltração de água no solo e escoamento superficial

Verifica-se que a taxa de infiltração da água da chuva no solo (Quadro 4) foi alta e similar no preparo reduzido (PR) e no convencional tradicional (PC), tendo significativamente diferido da observada no preparo convencional alterado – sem cultivo (SC), no qual ela foi baixa. Isto deveu-se ao fato de o resíduo cultural da aveia preta ter sido semi-incorporado ao solo nos dois primeiros tratamentos, resultando em maiores rugosidade ao acaso e cobertura superficiais nos mesmos (Quadro 2), provocando, conseqüentemente maior retenção e armazenamento superficial da água da chuva. Deve também ser creditada, na infiltração da água da chuva no solo em tais tratamentos, a influência da porosidade total da camada de solo preparada, a qual acompanha a rugosidade superficial ao acaso. Em adição, o selamento superficial ocorrido no preparo convencional alterado - sem cultivo (SC), observado após a finalização do teste de chuva, em decorrência da ação direta desta última na sua superfície, certamente influenciou a baixa taxa de infiltração de água da chuva no solo, reduzindo-a em 70 %, comparada à média dos outros dois tratamentos, nos quais o cultivo do solo aumentou a rugosidade

superficial ao acaso e, principalmente, a cobertura por resíduo cultural.

O escoamento superficial, expresso nas formas de taxa de descarga e coeficiente de enxurrada (Quadro 4), apresentou valor médio e similar no preparo reduzido (PR) e convencional tradicional (PC), sendo, contudo, significativamente inferior ao observado no preparo convencional alterado – sem cultivo (SC). Estes resultados são explicados pelos valores das variáveis, rugosidade ao acaso e cobertura superficial do solo, nestes tratamentos (Quadro 2), consistentes com os resultados da taxa de infiltração da água da chuva no solo. A diferença na taxa de enxurrada sob descarga constante entre os tratamentos com cultivo (PR e PC) e o sem cultivo (SC) refletiu-se diretamente no coeficiente de enxurrada, C, da Fórmula Racional (Schwab et al., 1993), sendo o valor mais baixo observado no último tratamento (Quadro 4). Assim, pode-se dizer que, no momento crítico (de pico da enxurrada), o preparo reduzido (PR) e o preparo convencional tradicional (PC) permitiam a infiltração de, praticamente, metade (32 mm h⁻¹) da água da chuva (64 mm h⁻¹) no solo, enquanto o preparo

Quadro 4. Taxa de infiltração da água da chuva no solo (I) e taxa de descarga (q) e coeficiente da enxurrada (C) na condição de equilíbrio do escoamento superficial, nos tratamentos estudados

Preparo do solo	I	q	C
	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹	adimensional
PR	30,4 a	33,6 b	0,53 b
PC	29,3 a	34,7 b	0,54 b
SC	9,3 b	54,7 a	0,85 a

PR = preparo reduzido; PC = preparo convencional tradicional; SC = preparo convencional alterado - sem cultivo (testemunha). Tratamentos com a mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente (Duncan, $P < 0,05$).

convencional alterado – sem cultivo (SC), permitia a infiltração de, tão apenas, 15 mm h⁻¹. Mais uma vez, verifica-se a importância da presença de ambas, rugosidade ao acaso e cobertura superficiais do solo, para lograr êxito na conservação da água da chuva nas lavouras, em adição à conservação do solo em si.

CONCLUSÕES

1. O preparo do solo aumentou a rugosidade superficial ao acaso e diminuiu a cobertura por resíduo cultural em graus diferenciados, dependente do método de preparo empregado; quando executado por meio de uma operação com escarificador de hastes, seguida de uma operação com grade niveladora de discos, o preparo do solo foi mais eficaz no aumento da rugosidade superficial ao acaso e na manutenção da cobertura por resíduo cultural do que quando se executou o mesmo por meio de uma operação com arado de discos, seguida de duas operações com grade niveladora de discos.

2. Os tempos de início e equilíbrio da enxurrada foram relativamente altos e pouco afetados pelos métodos de preparo do solo estudados.

3. A velocidade da enxurrada, a concentração e o tamanho dos sedimentos, a taxa de perda de solo, avaliados sob a condição de equilíbrio do escoamento superficial, aumentaram com a diminuição da rugosidade e da cobertura superficiais do solo, portanto, com o aumento da intensidade de seu preparo.

4. Sob a condição de equilíbrio do escoamento superficial, a taxa de infiltração da água da chuva no solo diminuiu com a diminuição da rugosidade e da cobertura superficiais, portanto, com o aumento da intensidade de preparo do solo, enquanto a taxa de descarga e o coeficiente da enxurrada aumentaram.

LITERATURA CITADA

- ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E.; LARSON, W.E. & HOLT, R.F. Total porosity and random roughness of the interrow zones influenced by tillage. Washington: USA, Dep. Agric., Conserv. Res., 1966. 14p. Rep. 7
- BERTOL, I. Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul., 1995. 185p. (Tese de Doutorado).
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. R. Bras. Ci. Solo, 21:409-418, 1997.
- BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C. & RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – Perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Bras. Ci. Solo, 28:1.045-1.054, 2004.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. VISENTIN, D. & COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). R. Bras. Ci. Solo, 26:455-464, 2002.
- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters. West Lafayette, Purdue University., 1981.344p.(Tese de Doutorado)
- CURRENCE, H.D. & LOVELY, W.G. The analysis of soil surface roughness. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 13:710-714, 1970.
- FORSYTHE, W. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Internacional de Ciencias Agrícolas, 1975. 209p.
- HARTWIG, R.O. & LAFLEN, J.M. A meterstick method for measuring crop residue cover. J. Soil Water Conserv., 33:90-91, 1978.
- HUANG, C. & BRADFORD, J.M. Application of a laser scanner to quantify soil microtopography. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:14-21, 1992.
- KAMPHORST, E.C.; JETTEN, V.; GUÉRIF, J.; PITKÄNEN, J.; IVERSEN, B.V.; DOUGLAS, J.T. & PAZ, A. Predicting depressional storage from soil surface roughness. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:1749-1758, 2000.
- KUIPERS, H. A relief meter for soil cultivation studies. Neth. J. Agric. Sci., 5:255-262, 1957.
- LINDEN, D.R. & van DOREN JR., D.M. Parameters for characterizing tillage-induced soil surface roughness. Soil Sci. Soc. Am. J., 50:1560-1565, 1986.
- ONSTAD, C.A. Depressional storage on tilled soil surfaces. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 27:729-732, 1984.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL, D.K. & YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington: U.S. Department of Agricultural, 1997. 384p. (Agriculture Handbook, 703)
- RÖMKENS, M.J.M. & WANG, J.Y. Effect of tillage on soil roughness. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 29:429-433, 1986.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JÚNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. R. Bras. Ci. Solo, 24:427-436, 2000.
- SCHWAB, G.O.; FANGMEIER, D.D.; ELLIOT, W.J. & FREVERT, R.K. Soil and water conservation engineering. 4.ed. New York, John Wiley & Sons, 1993. 507p.
- SWANSON, N.P. Suggestions for use the rotating-boom field plot rainfall simulator to obtain data for application of the Universal Soil Loss Equation. Paraná, FAO, Nebraska University, 1965. 6p. (Relatório de Consultoria)
- VIDAL VÁZQUEZ, E. Influencia de la precipitación y el laboreo en la rugosidad del suelo y la retención de agua en microdepressiones. A Coruña, Facultad de Ciencias, Universidade de Coruña., 2002.430p.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)