

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES PREPAROS DO SOLO LOGO APÓS AS COLHEITAS DE MILHO E TRIGO, NA PRESENÇA E NA AUSÊNCIA DOS RESÍDUOS CULTURAIS⁽¹⁾

I. BERTOL⁽²⁾, N.P. COGO⁽³⁾ & R. LEVIEN⁽⁴⁾

RESUMO

O preparo do solo, o qual influencia o manejo dos resíduos culturais e a rugosidade superficial, associado ao tipo de cultura utilizada, é um dos fatores que afetam a suscetibilidade do solo à erosão hídrica. Utilizando chuvas simuladas na intensidade constante de 64 mm h⁻¹, com durações suficientes para que o escoamento superficial atingisse taxa constante de descarga, foram avaliados, em Eldorado do Sul (RS), de 1992 a 1994, em condições de campo, os seguintes tratamentos de preparo do solo: semeadura direta, na presença e na ausência dos resíduos recém-colhidos de milho e trigo; escarificação, na presença e na ausência dos resíduos recém-colhidos de milho e trigo + milho logo após a colheita do trigo; e aração + gradagem, na presença e ausência dos resíduos recém-colhidos de milho e trigo + milho logo após a colheita do trigo. Utilizou-se um solo podzólico vermelho-amarelo franco-arenoso e declividade média de 0,066 m m⁻¹. As perdas de solo e água foram fortemente influenciadas pela rugosidade e cobertura superficiais. Na semeadura direta e aração + gradagem, a manutenção dos resíduos culturais na superfície reduziu as perdas de solo em relação à sua remoção manual quase completa. A semeadura direta com os resíduos culturais foi o tratamento mais eficaz na redução da erosão e a aração + gradagem, sem os resíduos, o menos eficaz. A escarificação com os resíduos culturais na superfície apresentou maior perda de solo do que a semeadura direta e aração + gradagem também com os resíduos na superfície. Em geral, as perdas de água por escoamento superficial seguiram o mesmo comportamento das perdas de solo.

Termos de indexação: solo, erosão hídrica, preparos conservacionistas, chuva simulada, manejo dos resíduos culturais.

SUMMARY: *WATER EROSION UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS FOLLOWING CORN AND WHEAT HARVESTING, IN THE PRESENCE AND ABSENCE OF CROP RESIDUES*

A rotating-boom rainfall simulator, operating at a constant rainfall intensity of 64 mm h⁻¹ for sufficient time to runoff reaches steady-rate, was used to investigate water erosion and other

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Recebido para publicação em dezembro de 1995 e aprovado em maio de 1997.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Professor Assistente do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS).

related parameters in three tillage systems. The experiments were carried out immediately following corn and wheat harvesting, in a sandy loam Red-Yellow Podzolic soil (Paleudult) with a 0.066 m m⁻¹ average slope, in Eldorado do Sul, State of Rio Grande do Sul, Brazil, from 1992 to 1994. No-tillage, chiselling and disk-plowing followed by disking, were studied in the presence and absence of fresh crop residues. Results showed that no-tillage and disk plowing followed by disking, combined with residues maintained on the surface, reduced soil losses more efficiently than when the residues were removed. No-tillage, with residues maintained, was the most efficient system to control erosion, while disk plowing followed by disking, without residues, was the least efficient. Water losses followed the same tendency of soil losses, although being less affected by the treatments.

Index terms: soil, water erosion, conservation tillage, rainfall simulator, residue management.

INTRODUÇÃO

O preparo é a primeira e uma das principais operações de manejo do solo nos preparos convencionais das áreas agrícolas. Em geral, ele objetiva melhorar a estrutura do solo para facilitar a entrada, transmissão e armazenamento de ar e água, erradicar invasoras para diminuir a competição por água, nutrientes e, às vezes, luz com as culturas, e manejar os resíduos culturais para facilitar a operação de semeadura (Raney & Zingg, 1957; Larson & Gill, 1973). No entanto, na maioria das vezes, o preparo provoca alterações na estrutura da camada preparada do solo, as quais facilitam a erosão hídrica sobre as terras agrícolas. Assim, o aumento no revolvimento mecânico do solo, principalmente pelas operações do preparo secundário, provoca diminuição da rugosidade e cobertura superficiais e aumento da degradação da estrutura e erosão hídrica do solo (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1987; Bertol, 1994).

Os preparos conservacionistas caracterizam-se, em geral, por uma reduzida movimentação de solo, preservação da maioria dos resíduos culturais na superfície e, com exceção da semeadura direta, elevada rugosidade superficial (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1987; Bertol, 1995). Essas condições retardam o início do escoamento superficial (Bertol, 1986), aumentam a taxa de infiltração e, conseqüentemente, reduzem a erosão hídrica (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1987). Contribui para isso o fato de que, nesses preparos, o solo apresenta maior tensão crítica de cisalhamento e, assim, maior resistência à ação erosiva da chuva e à ação cisalhante do escoamento superficial.

A semeadura direta, apesar da baixa rugosidade superficial, possibilita o ancoramento dos resíduos culturais presentes na superfície, nas soqueiras das culturas, e, ainda, apresenta elevada consolidação da superfície (Dissmeyer & Foster, 1981). Isso aumenta a tensão crítica de cisalhamento do solo, dificultando a ação erosiva do escoamento superficial e diminuindo a erosão hídrica em relação aos demais sistemas de preparo do solo. No entanto, na semeadura direta, o escoamento superficial é capaz de suspender o resíduo cultural da superfície lisa do solo, removendo-o e/ou escoando por baixo do resíduo, produzir sulcos e aumentar a erosão hídrica (Cogo, 1981; Foster et al., 1982a; Bertol, 1995). O preparo executado com escarificador produz elevada rugosidade superficial e

mantém a maioria dos resíduos culturais na superfície (Cogo et al., 1984; Bertol, 1995), facilitando, ainda, o ancoramento do resíduo no solo pela ação do preparo. Isso aumenta a tensão crítica de cisalhamento do solo e, portanto, dificulta a ação cisalhante do escoamento superficial em relação aos preparos mais intensos. No entanto, as porções da superfície mobilizadas e desprotegidas de resíduos culturais pelo efeito do preparo podem contribuir, expressivamente, para o aumento da erosão hídrica, por sua baixa tensão crítica de cisalhamento (Foster et al., 1982a, b).

O objetivo do trabalho foi quantificar as perdas por erosão hídrica em diferentes sistemas de preparo do solo, executados logo após as colheitas de milho e trigo, tanto na presença quanto na ausência dos respectivos resíduos culturais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido num solo podzólico vermelho-amarelo com textura franco-arenosa no horizonte superficial, localizado na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul, de 1992 a 1994. O solo apresentava declividade média de 0,066 m m⁻¹, 200 g kg⁻¹ de argila, 560 g kg⁻¹ de areia, 240 g kg⁻¹ de silte, 21 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 0,38 g dm⁻³ de porosidade total e densidade aparente de 1,59 kg dm⁻³ na camada de 0-10 cm de profundidade.

A área experimental foi preparada com uma aração + três gradagens e semeada com aveia em maio de 1992. Colhida a aveia, em novembro de 1992, plantou-se o milho em semeadura direta, no sentido longitudinal ao declive, com espaçamento de 1 m entre fileiras e cinco plantas por metro linear. Em abril de 1993, o milho foi colhido, tendo produzido 12 t ha⁻¹ de resíduos culturais da parte aérea.

A unidade experimental, constituída de uma parcela com 3,5 x 11 m, foi instalada conforme IAPAR (1975). Utilizaram-se doze unidades experimentais e, para a aplicação das chuvas simuladas, um simulador de chuva de braços rotativos (Swanson, 1975). O simulador cobria, simultaneamente, duas parcelas, as quais eram repetições de preparo do solo.

Após a colheita do milho, executaram-se os tratamentos de preparo do solo no sentido longitudinal ao declive, distribuídos completamente ao acaso, em duas repetições, a saber: a) semeadura direta, com os resíduos culturais de milho (SDIc/rm) - os resíduos de milho foram mantidos na superfície e o solo não foi mobilizado; b) semeadura direta, sem os resíduos culturais de milho (SDIs/rm) - os resíduos de milho foram quase totalmente removidos manualmente da superfície, as soqueiras da cultura, mantidas, e o solo não foi mobilizado; c) escarificação, com os resíduos culturais de milho (ESCc/rm) - os resíduos de milho foram mantidos na superfície e o solo, preparado com um escarificador a 15-20 cm de profundidade. A distância entre as hastes do escarificador era de 30 cm; d) escarificação, sem os resíduos culturais de milho (ESCs/rm) - os resíduos de milho foram quase todos removidos manualmente da superfície e as soqueiras da cultura mantidas. O solo foi preparado como no tratamento c; e) aração + gradagem, com remoção e posterior retorno do resíduo cultural de milho (A + Gc/rm) - o resíduo cultural de milho foi quase totalmente removido da superfície, e as soqueiras da cultura mantidas. O preparo do solo foi executado com uma aração a 15-20 cm de profundidade, mais uma gradagem a 10-12 cm de profundidade, no sentido longitudinal ao declive. Após o preparo do solo, todo o resíduo de milho anteriormente removido foi recolocado uniformemente sobre a superfície das parcelas; e f) aração + gradagem, sem o resíduo cultural de milho (A + Gs/rm) - o resíduo cultural de milho foi quase todo manualmente removido da superfície do solo e as soqueiras da cultura mantidas. O preparo do solo foi executado como no tratamento e. O resíduo de milho removido não retornou à superfície.

Em maio de 1993, após o final dos testes de chuva simulada sobre os tratamentos de preparo do solo, semeou-se o trigo, em semeadura direta. Em novembro de 1993, o trigo foi colhido, tendo produzido 2,6 t ha⁻¹ de resíduos culturais da parte aérea. Após sua colheita, executaram-se os seguintes tratamentos de preparo do solo, distribuídos completamente ao acaso, no sentido longitudinal ao declive, em duas repetições: a) semeadura direta, com os resíduos culturais de trigo (SDIc/rt) - nestas parcelas, havia sido retirado todo o resíduo de milho do cultivo anterior, como descrito no tratamento "semeadura direta, sem os resíduos culturais de milho". Os resíduos de trigo foram mantidos na superfície e o solo não foi mobilizado; b) semeadura direta, sem os resíduos culturais de trigo (SDIs/rt) - nestas parcelas, os resíduos de trigo foram removidos da superfície do solo, assim como ocorrera com os do milho, e o solo não foi mobilizado; c) escarificação, com os resíduos culturais de trigo + milho (ESCc/rt + m) - nestas parcelas, havia ainda 2,7 t ha⁻¹ de resíduo de milho remanescente do cultivo anterior. Tais resíduos, mais os de trigo, foram mantidos na superfície, sendo o solo preparado como no tratamento "escarificação, com os resíduos culturais de milho"; d) escarificação, sem os

resíduos culturais de trigo + milho (ESCs/rt + m) - nestas parcelas, os resíduos de milho do cultivo anterior já haviam sido retirados por ocasião dos testes anteriores de chuva simulada e, agora, foram retirados também os de trigo, mantendo-se apenas as soqueiras da cultura na superfície. O solo foi preparado como descrito no tratamento "escarificação, sem os resíduos culturais de milho"; e) aração + gradagem, com remoção e posterior retorno dos resíduos culturais de trigo + milho (A + Gc/rt + m) - o resíduo cultural de milho remanescente do cultivo anterior (4 t ha⁻¹) e o de trigo foram inicialmente removidos, mantendo-se apenas as soqueiras da cultura na superfície. O solo foi preparado como no tratamento "aração + gradagem com remoção e posterior retorno do resíduo cultural de milho", e os resíduos de trigo + milho que haviam sido removidos foram recolocados uniformemente sobre a superfície, nas parcelas, após o preparo; e f) aração + gradagem, sem os resíduos culturais de trigo + milho (A + Gs/rt + m) - nestas parcelas, o resíduo de milho do cultivo anterior já havia sido removido nos testes anteriores de chuva simulada e, agora, foi removido também o de trigo, mantendo-se apenas as soqueiras da cultura na superfície. O solo foi então preparado como no tratamento "aração + gradagem, sem o resíduo cultural de milho" e os resíduos culturais não retornaram à superfície.

Todos os tratamentos de preparo do solo descritos receberam a seguinte série de chuva simulada, com duração variável e intensidade constante de 64 mm h⁻¹: 1) primeira chuva, com duração suficiente para que o escoamento superficial alcançasse taxa constante; 2) dez a quinze minutos após o término da primeira chuva, aplicou-se a segunda, com duração de dez minutos, em cujo período a taxa de escoamento superficial permaneceu constante.

A umidade do solo foi quantificada em amostras coletadas imediatamente antes da aplicação das chuvas simuladas. Durante a aplicação destas, coletaram-se amostras do escoamento superficial de três em três minutos e mediu-se sua taxa de descarga para posterior determinação das perdas de solo e água, como sugerido por Cogo (1981). A velocidade do escoamento superficial foi obtida durante o período de descarga constante, conforme Bertol et al. (1987).

A cobertura e a rugosidade superficiais foram obtidas após o preparo e antes da primeira chuva e, ainda, no intervalo entre a primeira e a segunda chuvas. A percentagem de cobertura do solo foi determinada segundo o método de Hartwig & Laflen (1978) e a rugosidade superficial, conforme o método de Kuipers (1957).

Os dados, obtidos do experimento fatorial num delineamento inteiramente casualizado com duas repetições (Quadro 1), foram interpretados utilizando análise da variância e comparados pelo teste de Duncan ao nível de 5%, sendo a comparação feita sempre dentro de cada cultura. Houve interação entre os dados de rugosidade e cobertura superficial, não ocorrendo interação tríplice.

Quadro 1. Distribuição inteiramente casualizada num fatorial 3 x 2 das parcelas na área experimental, utilizadas em abril/maio de 1993, após a colheita do milho, e em novembro/dezembro de 1993, após a colheita do trigo, para os testes de chuva simulada no presente trabalho

Parcelas Experimentais											
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
SDI	SDI	ESC	ESC	SDI	SDI	A+G	A+G	A+G	A+G	ESC	ESC
c/r	c/r	c/r	c/r	s/r	s/r	s/r	s/r	c/r	c/r	s/r	s/r

SDI: semeadura direta; ESC: escarificação; A + G: aração + gradagem; c/r: com resíduo na superfície; s/r: sem resíduo na superfície.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade total de resíduos culturais na superfície depende, em grande parte, do tipo de planta, influenciando a cobertura e rugosidade do solo, as quais se relacionam, ainda, com a forma de distribuição dos resíduos após a colheita e, principalmente, com o tipo e intensidade do preparo do solo (Cogo, 1981; Bertol, 1986), constituindo importantes fatores para a redução da erosão hídrica (Cogo, 1981; Bertol et al., 1987; Bertol, 1995).

A manutenção de todo o resíduo cultural na superfície propiciou maior rugosidade superficial em relação à remoção manual quase completa dos resíduos em todos os tratamentos, com exceção da escarificação após trigo e da aração + gradagem (Quadro 2). Isso é explicado pelos resíduos culturais que, quando mantidos no solo, passaram a fazer parte da rugosidade superficial, de maneira interativa (Cogo, 1981). Na aração + gradagem, a rugosidade foi maior na ausência do resíduo do que na sua presença, tanto após a colheita do milho quanto do trigo. O resíduo que havia sido removido da superfície antes do preparo, neste tratamento, foi recolocado uniformemente na superfície após o preparo, cujas peças ocuparam as microdepressões da superfície criadas pelo preparo, diminuindo a rugosidade superficial na presença do resíduo em relação ao mesmo tratamento sem resíduo. A semeadura direta na ausência de resíduos apresentou a menor rugosidade e, a maior, a escarificação com o resíduo de milho e aração + gradagem sem os resíduos de trigo + milho, concordando parcialmente com os dados obtidos por Cogo (1981).

A cobertura do solo foi menor na aração + gradagem sem resíduos e maior na semeadura direta e aração + gradagem com resíduos na superfície, influenciada, em ambos os casos, pela quantidade, tipo e forma de manejo dos resíduos, concordando com Cogo (1981) e Bertol (1995). Em todos os tratamentos, a cobertura do solo foi menor na ausência dos resíduos do que na sua presença, influenciada pela massa de resíduos.

O transporte de sedimentos na erosão hídrica é, fundamentalmente, efetuado pelo escoamento

superficial, especialmente quando concentrado em sulcos (Wischmeier & Smith, 1978). Quanto maior o volume e/ou velocidade do fluxo, maior a energia disponível para o transporte de sedimentos (Foster & Meyer, 1977). O volume do escoamento superficial está relacionado, entre outros fatores, com os tempos de início e pico do escoamento e, conseqüentemente, com o tempo de concentração da área de captação.

A aração + gradagem com resíduos, este mesmo tratamento sem resíduo de trigo e escarificação sem resíduos foram os tratamentos mais eficazes no retardamento do início da enxurrada (Quadro 3). Na aração + gradagem com resíduos, o escoamento superficial foi retardado principalmente pela ação dos resíduos culturais na superfície, os quais protegeram a rugosidade e a porosidade do solo resultantes do preparo, contra a energia da chuva e enxurrada, mantendo elevada a taxa de infiltração de água no solo por longo tempo. Na ausência dos resíduos culturais, a escarificação foi mais eficaz no retardamento do tempo de início da enxurrada, sobretudo pela menor declividade das parcelas experimentais (Quadro 2), especialmente na sua posição inferior, o que ocasionou uma diminuição da velocidade da enxurrada ao final destas parcelas e, ainda, pela ação da rugosidade superficial. A menor eficácia da semeadura direta no retardamento do início da enxurrada é explicada principalmente pela baixa rugosidade superficial (Quadro 2) e, ainda, pela elevada consolidação da superfície (observação visual). Os tempos de taxa máxima da enxurrada apresentaram, em geral, as mesmas tendências dos tempos de início, explicados da mesma forma.

A manutenção dos resíduos culturais na superfície retardou os tempos de início e taxa máxima do escoamento superficial, em relação à sua remoção manual quase completa, com exceção da semeadura direta após o trigo e da escarificação. Isso é explicado pelas maiores quantidades de resíduos culturais e percentagem de cobertura do solo (Quadro 2), pois, quando mantidos na superfície, dificultaram mecanicamente o escoamento e protegeram a rugosidade e porosidade total contra a energia da chuva e enxurrada, facilitando a infiltração da água no solo em relação aos tratamentos sem resíduos.

A cobertura vegetal e a rugosidade superficial são, entre outros, os principais fatores que influem sobre a erosão hídrica do solo (Cogo, 1981; Bertol, 1986, 1995). Na presença de baixa rugosidade superficial, baixa cobertura é capaz de promover uma expressiva diminuição na erosão hídrica (Cogo, 1981). Por outro lado, alta rugosidade superficial pode diminuir o efeito da cobertura do solo sobre a redução da erosão hídrica, especialmente sob chuvas de baixa intensidade (Cogo, 1981).

A perda total de solo foi 2,8 vezes maior após a colheita do trigo do que do milho, considerando a média dos tratamentos (Quadro 4). Isso pode ser explicado, principalmente, pelo efeito do tipo e quantidade de resíduos culturais e, na semeadura direta e escarificação com resíduos, também pelo efeito

Quadro 2. Valores médios de rugosidade superficial, massa de resíduos culturais e percentagem de cobertura do solo e declividade das parcelas experimentais, após as colheitas do milho e do trigo, em diferentes sistemas de preparo do solo

Tratamento ⁽¹⁾	Rugosidade superficial		Resíduo				Declividade média	
	Após		Massa		Cobertura ⁽²⁾			
	milho	trigo	Após	Após trigo		Após		
	milho	trigo	Milho	milho	trigo	milho		trigo
	cm		t ha ⁻¹			%		m m ⁻¹
Com resíduos								
SDI	1,60Ac	1,27Ac	12,0	0,0	2,6	95,0Aa	89,0Aa	0,066
ESC	5,03Aa	4,04Ab	12,0	2,7	2,6	77,8Ab	70,5Ab	0,071
A + G	4,23Bb	4,37Ba	12,0	4,0	2,6	94,0Aa	90,0Aa	0,069
Sem resíduos								
SDI	0,47Bc	1,02Bc	0,5	0,0	0,2	42,5Ba	15,5Ba	0,066
ESC	4,23Bb	4,00Ab	0,5	0,0	0,2	13,5Bb	5,5Bb	0,047
A + G	4,95Aa	4,56Aa	0,5	0,0	0,2	6,5Bc	1,8Bc	0,077
CV (%)	8,3	2,6				3,6	1,6	

⁽¹⁾ SDI, ESC e A + G: semeadura direta, escarificação e aração + gradagem respectivamente; CV: coeficiente de variação. ⁽²⁾ Referem-se às médias entre os valores obtidos antes da primeira chuva e no intervalo entre a primeira e a segunda chuvas.

Letra maiúscula na vertical compara tratamento de resíduo dentro da condição preparo, e letra minúscula na vertical compara tratamento de preparo dentro da condição resíduo, em cada cultura, separadamente, pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Houve interação entre as variáveis.

Quadro 3. Valores médios dos tempos de início e taxa máxima do escoamento superficial, duração e intensidade das chuvas e umidade do solo obtida imediatamente antes da aplicação das chuvas, após as colheitas do milho e do trigo, em diferentes sistemas de preparo do solo

Tratamento ⁽¹⁾	Tempo de início da enxurrada		Tempo taxa máxima enxurrada		Duração da chuva		Intensidade das chuvas		Umidade do solo	
	Após		Após		Após		Após		Após	
	milho	trigo	milho	trigo	milho	trigo	milho	trigo	milho	Trigo
	min.						mm h ⁻¹		kg kg ⁻¹	
Com resíduos										
SDI	60,0Ab	5,0Ac	111,0Ab	32,5Bc	120	43	61	62	0,106	0,166
ESC	35,0Bc	29,0Bb	80,0Bc	62,0Bb	90	71	51	64	0,120	0,176
A + G	83,5Aa	80,0Aa	140,5Aa	94,5Aa	151	99	70	69	0,138	0,135
Sem resíduos										
SDI	8,0Bc	10,0Ab	80,0Ab	44,5Ac	90	61	72	67	0,096	0,096
ESC	81,0Aa	63,0Aa	153,0Aa	97,5Aa	168	105	64	63	0,097	0,112
A + G	30,0Bb	58,0Ba	78,0Bb	85,5Bb	90	90	70	63	0,130	0,141
CV (%)	9,4	24,2	3,7	2,8						

⁽¹⁾ SDI, ESC e A + G: semeadura direta, escarificação e aração + gradagem respectivamente; CV: coeficiente de variação.

maiúscula na vertical compara tratamento de resíduo dentro da condição preparo e letra minúscula na vertical compara tratamento de preparo dentro da condição resíduo, em cada cultura, separadamente, pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Houve interação entre as variáveis.

da rugosidade superficial (Quadro 2). Contribuiu ainda para isso o fato de que, após a colheita do trigo, o solo encontrava-se mais desagregado do que após a do milho, já que os tratamentos de preparo do solo e testes de chuva simulada executados após o trigo foram efetuados na mesma área experimental, cerca de oito meses após terem sido executados após o milho.

A manutenção de todo o resíduo cultural na superfície foi eficaz na redução da erosão na semeadura direta e aração + gradagem, quando comparada à sua remoção quase completa da superfície. Na aração + gradagem, após a colheita do milho, a perda de solo foi 227 vezes maior na ausência do resíduo do que na sua presença, enquanto, após a colheita do trigo, foi cerca de dez vezes maior. Essa diferença de eficácia do resíduo de milho em relação ao de trigo na redução da erosão é explicada pela maior quantidade do resíduo de milho presente na superfície (Quadro 2). Na semeadura direta, o efeito do resíduo mantido na superfície sobre a redução da erosão foi relativamente menor do que na aração + gradagem, em ambos os cultivos. Isso é explicado pela maior consolidação da superfície do solo e conseqüente maior resistência ao sulcamento na semeadura direta sem resíduo, em relação à aração + gradagem sem resíduo, na qual a superfície, ao ser mobilizada, tornou-se mais suscetível ao sulcamento e ao transporte pela enxurrada. Contribuiu para isso o fato de que, na semeadura direta, a pequena quantidade de resíduos culturais remanescente na superfície, após a sua quase completa remoção manual, propiciou, ainda, expressiva porcentagem de cobertura do solo, em relação à aração + gradagem, em ambas as restevas (Quadro 2). Portanto, nos dois cultivos, a semeadura direta deixou a superfície mais consolidada, coberta e resistente à

erosão hídrica do que a aração + gradagem.

Na escarificação, tanto após a colheita do milho quanto do trigo, a perda de solo foi maior na presença do que na ausência dos respectivos resíduos culturais. Isto contraria a literatura sobre o assunto, podendo ser justificado, sobretudo, pela menor declividade nas parcelas experimentais da escarificação sem os resíduos do que com eles, especialmente na sua posição inferior, como argumentado anteriormente. Essa baixa declividade facilitou a deposição de sedimentos dentro da parcela no tratamento sem resíduo, antes que os mesmos alcançassem a calha coletora. Em geral, os dados de perdas de solo apresentados no quadro 4 concordam com os trabalhos de mesma natureza (Cogo, 1981; Bertol et al., 1987; Bertol, 1994). As perdas de água foram, em geral, tão influenciadas pelo tipo de resíduo cultural e método de preparo do solo quanto as perdas de solo, contrariando outros trabalhos (Cogo, 1981; Bertol et al., 1987; Bertol, 1994).

A rugosidade superficial é afetada pela chuva (Cogo, 1981; Bertol, 1986, 1995), principalmente em solos descobertos e com baixa resistência à desagregação. Ela diminui com o aumento da intensidade e/ou volume total da chuva (Allmaras et al., 1966; Cogo, 1981), pois o solo desagregado das microelevações é depositado nas microdepressões do microrrelevo, provocando o alisamento da superfície. No entanto, quando o solo é suscetível ao sulcamento e os sulcos são computados na rugosidade, ela aumenta com o aumento da intensidade e/ou volume de chuva (Bertol, 1986, 1995).

Na escarificação, após o milho e na aração + gradagem, a rugosidade superficial, obtida no intervalo entre a primeira e a segunda chuvas, foi menor do que aquela obtida imediatamente após o preparo do

Quadro 4. Perdas totais de solo e água para uma chuva com duração de 90 minutos, ajustadas para intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e declividade média do solo de 0,066 m m⁻¹, após as colheitas do milho e do trigo, em diferentes sistemas de preparo do solo (médias de duas repetições)

Tratamento ⁽¹⁾	Perdas de solo		Perdas de água	
	Após milho	Após trigo	Após milho	Após trigo
	t ha ⁻¹		% da chuva	
	Com resíduos			
SDI	0,028Bb	0,151Bc	7,3Bb	47,1Aa
ESC	0,181Aa	1,051Aa	33,9Aa	15,7Ab
A + G	0,013Bb	0,651Bb	0,5Bc	3,1Bc
	Sem resíduos			
SDI	0,202Ab	0,595Ab	17,1Ab	37,0Ba
ESC	0,005Bc	0,628Bb	0,2Bc	6,3Bc
A + G	2,952Aa	6,305Aa	26,1Aa	18,3Ab
CV (%)	8,3	9,2	14,2	7,4

⁽¹⁾ SDI, ESC e A + G: semeadura direta, escarificação e aração + gradagem respectivamente; CV: coeficiente de variação.

Letra maiúscula na vertical compara tratamento de resíduo dentro da condição preparo e letra minúscula na vertical compara tratamento de preparo dentro da condição resíduo, em cada cultura, separadamente, pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Houve interação entre as variáveis.

solo e antes do início da primeira chuva (Quadro 5). Isso é interpretado, mormente, pela ação da energia cinética da chuva e escoamento superficial, desagregando o solo nas microelevações e depositando-o nas microdepressões da superfície. Nesses tratamentos, a redução da rugosidade foi, em média, da ordem de 21%, ocasionada pela primeira chuva. Isso pode ser esclarecido parcialmente pela alta rugosidade superficial, ocasionada por esses tratamentos de preparo em relação aos demais, antes da chuva, mas, principalmente, pela ausência de cobertura superficial do solo nos tratamentos escarificação e aração + gradagem sem os resíduos. Na escarificação com resíduo após a colheita do milho, a redução foi ocasionada pela retenção de sedimentos, dentro dos sulcos, produzidos pelo escarificador, ocasionada pelas peças do resíduo de milho que permaneceram dentro dos sulcos após o preparo do solo e, ainda, pelo efeito das raízes da cultura. Em geral, a rugosidade após a primeira chuva apresentou menor variação entre tratamentos do que aquela antes da referida chuva. Isto é justificado pelo efeito da primeira chuva, que tendeu a alisar o microrrelevo do solo, rebaixando as microelevações e preenchendo as microdepressões superficiais.

A cobertura superficial do solo determinada após o final da primeira chuva, não sofreu alteração em relação àquela anterior (Quadro 5), com exceção da semeadura direta após trigo, na qual o resíduo sofreu remoção superficial durante a segunda chuva: o escoamento superficial decorrente da primeira chuva não continha energia suficiente para ocasionar a remoção superficial dos resíduos culturais na maioria dos tratamentos e, assim, alterar a cobertura do solo.

Na média dos tratamentos de preparo do solo, a rugosidade superficial após o cultivo do milho foi afetada pela chuva (Quadro 6). Isso pode ser explicado com base nas alterações de rugosidade ocorridas na escarificação e aração + gradagem em função dessa chuva (Quadro 5), já que na semeadura direta ela não sofreu alteração. Após o cultivo do trigo, no entanto, a rugosidade não foi modificada pelo efeito da primeira chuva, na média dos preparos do solo, tendo em vista que, individualmente, apenas na aração + gradagem a rugosidade diferiu pelo efeito da referida chuva (Quadro 5). Na média dos tratamentos de preparo, a cobertura do solo não diferiu pelo efeito da primeira chuva (Quadro 6), acompanhando o comportamento desses dados discutidos no quadro 5. Ainda na média dos tratamentos de preparo, a rugosidade foi afetada pelo resíduo na cultura do milho, também acompanhando o comportamento geral desses dados (Quadro 5) e explicado pela diferença na quantidade de massa entre as condições com e sem resíduos (Quadro 2), o que não ocorreu com a rugosidade após o trigo, a qual não diferiu na média dos preparos (Quadro 6), mesmo tendo diferido nos tratamentos individuais (Quadro 5), explicada pelo elevado coeficiente de variação entre os dados. Tanto no cultivo do milho quanto do trigo, a cobertura do solo foi influenciada pela condição de resíduo, tanto antes da primeira quanto entre a primeira e a segunda chuvas, de acordo com o comportamento desses dados discutidos individualmente no quadro 5, também justificado daquela forma.

Os dados até aqui apresentados e discutidos referem-se a um período de 90 minutos de chuva, o

Quadro 5. Rugosidade e cobertura superficiais obtidas antes da primeira chuva com 90 minutos de duração e no intervalo entre a primeira e a segunda chuva com 10 minutos de duração, após as colheitas do milho e do trigo, em diferentes sistemas de preparo do solo (médias de duas repetições)

Tratamento ⁽¹⁾	Rugosidade superficial ⁽²⁾		Cobertura do solo ⁽²⁾	
	Após milho	Após trigo	Após milho	Após trigo
	cm		%	
Antes da primeira chuva de 90 minutos de duração				
SDI	0,97Ac	0,90Ac	68,75Aa	53,75Aa
ESC	5,36Aa	4,36Ab	46,25Ac	38,25Ac
A + G	4,97Ab	4,91Aa	51,00Ab	45,50Ab
No intervalo entre a primeira chuva e a segunda de 10 minutos de duração				
SDI	1,10Ab	1,39Ab	68,75Aa	50,75Ba
ESC	3,90Ba	3,68Aa	45,00Ac	37,75Ac
A + G	4,21Ba	4,02Ba	49,50Ab	46,25Ab
CV (%)	2,6	15,4	4,0	1,7

⁽¹⁾ SDI, ESC e A + G: semeadura direta, escarificação e aração + gradagem respectivamente; CV: coeficiente de variação. ⁽²⁾ Referem-se às médias entre os valores obtidos na presença e na ausência dos resíduos culturais.

Letra maiúscula na vertical compara tratamento de chuva dentro da condição preparo e letra minúscula na vertical compara tratamento de preparo dentro da condição chuva, em cada cultura, separadamente, pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Houve interação entre as variáveis.

qual, em alguns tratamentos, foi bem menor do que a duração total da chuva necessária para a enxurrada atingir taxa constante (Quadro 3). Em outros tratamentos, no entanto, a duração total da chuva foi menor do que 90 minutos. Em função disso, será feita, a seguir, uma discussão dos dados obtidos durante um período de dez minutos de chuva, no qual o escoamento superficial se apresentava constante em todos os tratamentos, possibilitando, assim, melhor comparação entre eles.

Na aração + gradagem, a presença dos resíduos culturais foi eficaz na redução das taxas médias constantes de enxurrada e perda de solo, em relação à ausência dos resíduos, o que também ocorreu na semeadura direta no milho para taxa constante de enxurrada (Quadro 7). Assim, nestes tratamentos, as taxas de escoamento e perda de solo influenciaram as perdas totais de solo anteriormente interpretadas. Esses valores foram influenciados, ainda, pela rugosidade superficial do solo (Quadro 5). Isto é justificado pela ausência do resíduo cultural na superfície, que, quando arada e gradeada, ficou completamente descoberta e com grande quantidade de solo desagregado e disponível para o transporte. Ainda, ficou suscetível ao selamento e sulcamento superficiais e, conseqüentemente, ao aumento da velocidade do escoamento e diminuição da infiltração da água no solo. Tais aspectos negativos foram fortemente reduzidos quando os resíduos culturais foram uniformemente distribuídos na superfície após o preparo. Assim, a taxa média de perda de solo foi cerca de 35 e 42 vezes maior na ausência dos resíduos culturais de milho e trigo + milho,

respectivamente, do que na sua presença. A aração + gradagem sem resíduos foi, em geral, o tratamento menos eficaz na redução das taxas médias constantes de enxurrada e perda de solo. Isso é esclarecido pela baixa cobertura, rugosidade superficial e elevada mobilização mecânica, deixando o solo mais suscetível ao selamento e sulcamento superficiais do que os demais tratamentos, em ambos os cultivos. Após a colheita do milho, a semeadura direta com resíduo foi o tratamento mais eficaz nessas duas variáveis estudadas. Isto é explicado pela expressiva quantidade do resíduo cultural de milho na superfície do solo (12 t ha^{-1}), propiciando uma cobertura de $0,095 \text{ m m}^{-1}$. Contribuiu para isso o elevado grau de consolidação da superfície (observação visual), a qual aumentou sua resistência ao sulcamento em relação aos demais tratamentos. Isso também ocorreu no mesmo tratamento com o resíduo cultural de trigo ($2,6 \text{ t ha}^{-1}$ e cobertura de $0,090 \text{ m m}^{-1}$), em relação à taxa média de perda de solo, podendo ser explicado do mesmo modo.

Em todos os tratamentos, a velocidade da enxurrada foi influenciada pela presença dos resíduos culturais na superfície, em relação à sua ausência, mostrando a eficácia do resíduo na diminuição da velocidade da enxurrada, de maneira interativa com o tipo de preparo do solo, conforme sugerido por Cogo (1981). Assim, a escarificação, na presença dos resíduos após o trigo e na sua ausência depois de milho, e a semeadura direta na ausência dos resíduos após o trigo, quando analisados separadamente por cultura, foram os tratamentos mais eficazes na redução da velocidade da enxurrada.

Quadro 6. Rugosidade e cobertura superficiais obtidas antes da primeira chuva com 90 minutos de duração e no intervalo entre a primeira e a segunda chuva com 10 minutos de duração, após as colheitas do milho e do trigo, em diferentes condições de cobertura do solo (médias entre os sistemas de preparo do solo e entre as duas repetições)

Tratamento ⁽¹⁾	Rugosidade superficial ⁽²⁾		Cobertura do solo ⁽²⁾	
	Após milho	Após trigo	Após milho	Após trigo
	cm		%	
	Antes da primeira chuva de 90 minutos de duração			
C/R	4,03Aa	3,51Aa	89,67Aa	83,67Aa
S/R	3,50Ab	3,27Aa	21,00Ab	8,00Ab
	No intervalo entre a primeira chuva e a segunda de 10 minutos de duração			
C/R	3,21Ba	2,95Aa	88,17Aa	82,67Aa
S/R	2,93Bb	3,12Aa	20,67Ab	7,17Ab
CV (%)	2,6	15,4	4,0	1,7

⁽¹⁾ C/R e S/R: com resíduo na superfície e sem resíduo na superfície respectivamente; CV: coeficiente de variação. ⁽²⁾ Referem-se às médias entre os valores obtidos em todos os sistemas de preparo do solo.

Letra maiúscula na vertical compara tratamento de chuva dentro da condição resíduo e letra minúscula na vertical compara tratamento de resíduo dentro da condição chuva, em cada cultura, separadamente, pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Houve interação entre as variáveis.

Quadro 7. Taxa média constante de enxurrada, taxa média de perda de solo durante o período de enxurrada constante e velocidade média da enxurrada, no período de 10 minutos da primeira chuva, após as colheitas do milho e do trigo, em diferentes sistemas de preparo do solo (médias de duas repetições)

Tratamento ⁽¹⁾	Taxa média constante de enxurrada		Taxa média de perda de solo		Velocidade média da enxurrada	
	Após		Após		Após	
	milho	trigo	milho	trigo	milho	trigo
	mm h ⁻¹		g m ⁻² min ⁻¹		m s ⁻¹	
	Com resíduos					
SDI	12,5Bc	37,0Aa	0,249Aa	0,085Aa	0,008Bb	0,040Ba
ESC	27,5Aa	28,5Ab	0,549Aa	0,975Aa	0,013Bab	0,029Bc
A + G	21,5Bb	19,5Bc	0,422Ba	0,629Ba	0,018Ba	0,048Ba
	Sem resíduos					
SDI	28,0Ab	37,0Ab	0,521Ab	1,120Ab	0,064Ab	0,073Ac
ESC	23,5Ab	22,5Bc	0,886Ab	1,296Ab	0,048Ac	0,086Ab
A + G	51,0Aa	44,5Aa	14,712Aa	26,556Aa	0,150Aa	0,150Aa
CV (%)	7,3	7,8	17,6	10,8	5,1	5,6

⁽¹⁾ SDI, ESC e A + G: semeadura direta, escarificação e aração + gradagem respectivamente; CV: coeficiente de variação.

Letra maiúscula na vertical compara tratamento de resíduo dentro da condição preparo e letra minúscula na vertical compara tratamento de preparo dentro da condição resíduo, em cada cultura, separadamente, pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Houve interação entre as variáveis.

CONCLUSÕES

1. As perdas de solo foram maiores na ausência dos resíduos culturais do que na sua presença, com exceção da escarificação; a semeadura direta com resíduos foi o tratamento mais eficaz e a aração + gradagem sem resíduos, o menos eficaz na redução da erosão; as perdas de água apresentaram, em geral, o mesmo comportamento das perdas de solo, porém menos influenciadas.

2. Os tempos necessários para o escoamento atingir taxa constante de descarga e taxa máxima de enxurrada foram maiores na aração + gradagem com resíduos; os tratamentos menos eficazes em relação a essas duas variáveis foram a semeadura direta sem resíduos, o mesmo tratamento com resíduo de trigo e a escarificação com resíduo de milho.

3. A primeira chuva reduziu a rugosidade superficial nos tratamentos escarificação após o milho e na aração + gradagem; depois da colheita do milho, os tratamentos de preparo do solo apresentaram maior rugosidade superficial na presença do resíduo do que na sua ausência.

4. Durante o período de enxurrada a taxa constante, as taxas de escoamento e de perda de solo e a velocidade do escoamento foram, em geral, influenciadas pela quantidade de resíduos culturais na superfície e, ainda, pelos tratamentos de preparo do solo.

AGRADECIMENTOS

Aos Eng^{os} Agr^{os} João Alfredo Braidá, Luís César Cassol, Aurélio Pavinatto e Carlos Alberto Rockembach e ao Sr. Gelson Luiz Mafalda, pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratório, bem como ao Professor David José Miquelluti, na análise estatística dos dados.

LITERATURA CITADA

- ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E.; LARSON, W.E.; HOLT, R.F. & NELSON, W.W. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. Washington, 1966. 22p., U.S. Department of Agriculture. (Conservation Research Report, 7)
- BERTOL, I. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura vegetal por resíduo cultural de trigo. Porto Alegre, UFRGS, 1986. 158p. (Dissertação de Mestrado)
- BERTOL, I. Erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 18:267-271, 1994.
- BERTOL, I. Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas do solo. Porto Alegre, UFRGS, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de resíduo cultural de trigo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 11:187-192, 1987.

- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. West Lafayette, Indiana, Purdue University, 1981. 346p. (Tese de Doutorado)
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 48:368-373, 1984.
- DISSMEYER, G.E. & FOSTER, G.R. Estimating the cover management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions. *J. Soil Water Conserv.*, Ankeny, 36:235-240, 1981.
- FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B. & MOLDENHAUER, W.C. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. *Trans. ASAE*, St. Joseph, 25:935-939, 947, 1982a.
- FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B. & MOLDENHAUER, W.C. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulch of erosion control. *Trans. ASAE*, St. Joseph, 25:940-947, 1982b.
- FOSTER, G.R. & MEYER, L.D. Soil erosion and sedimentation by water. In: *SOIL EROSION AND SEDIMENTATION*. St. Joseph, ASAE, 1977. p.1-13. (Publication, 4-77)
- HARTWIG, R.O. & LAFLEN, J.M. A meterstick method for measuring crop residue cover. *J. Soil Water Conserv.*, Ankeny, 33:90-91, 1978.
- IAPAR & EMBRAPA. Recomendações gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação do solo no Brasil. In: *ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROÇÃO COM SIMULADORES DE CHUVA*, 1., Londrina, 1975. Anais, Londrina, 1975. p.107-120.
- KUIPERS, H. A relief meter of soil cultivation studies. *Nether. J. Agric. Sci.*, Groningen, 5:255-262, 1957.
- LARSON, W.E. & GILL, W.R. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In: *NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE*, 1., Ankeny, 1973. Proceedings. Ankeny, 1973. p.13-22.
- RANEY, W.A. & ZINGG, A.W. Principles of tillage. In: *USDA yearbook of Agriculture*. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1957. p.277-281.
- SWANSON, N.P. Suggestions for use rotating-boom field plot rainfall simulator to obtain data for application of the soil loss equation. *Entre Rios*, FAO, 1975. 6p.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)