

Erosão hídrica e escoamento superficial em função de tipos e doses de resíduo cultural em dois modos de semeadura direta

Water erosion and surface runoff as a function of types and rates of crop residue in two modes of direct seeding

André Julio do Amaral¹, Neroli Pedro Cogo², Ildegardis Bertol^{3*}, Pablo Grahl dos Santos³, Romeu de Souza Werner³

Recebido em 23/11/2011; aprovado em 27/03/2013.

RESUMO

As condições físicas da superfície do solo desempenham papel fundamental no controle da erosão hídrica e do escoamento superficial a ela associado. Baseado nisso, realizou-se este trabalho com o objetivo de quantificar as perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial, nas doses de todo, metade e um quarto do total produzido dos resíduos culturais de aveia preta e milho, nos modos de semeadura direta sem e com hastes sulcadoras na máquina semeadora-adubadora. Para isso, aplicou-se chuva simulada de 75 mm h⁻¹, com duração de 1,5 h, em um Nitossolo Bruno com declividade média de 0,16 m m⁻¹. Avaliaram-se algumas características físicas do solo e as variáveis usuais de erosão hídrica. De modo geral, constatou-se que a semeadura direta com hastes sulcadoras aumentou a infiltração e a retenção superficial da água da chuva no solo e a retenção superficial dos sedimentos erodidos, diminuindo a enxurrada e a erosão. A perda total de água foi maior sob o resíduo de aveia preta do que de milho, e maior na semeadura direta sem hastes sulcadoras do que com hastes sulcadoras. Esta última ocorrência em ambos os tipos de resíduo e em qualquer das suas doses, mas, de modo geral, tendendo a aumentar com o

aumento destas últimas. A perda total de solo foi pequena e se diferenciou pouco entre os modos de semeadura e doses de resíduo quando este era o de aveia preta, com o resíduo de milho, a uma exceção ela foi grande apenas na semeadura direta sem hastes sulcadoras, mas diminuiu muito com o aumento das doses de resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: chuva simulada, cobertura vegetal morta, rugosidade superficial do solo, infiltração de água no solo, perda de solo, perda de água.

SUMMARY

The physical conditions of the soil surface play an important role in controlling the soil water erosion and its associated surface runoff. Based on that, this study was developed with the objective of quantifying the soil and water losses by rainfall erosion, in the rates of all, half, and a quarter of the total produced of the black oat and corn residues, in the modes of direct seeding with and without shank soil-openers in the seeding-fertilizing machine. For this, was applied simulated rainfall of 75 mm h⁻¹, with 1.5 h duration, in a Hapludox soil with 0.16 m m⁻¹ average slope steepness. Had been evaluated some physical characteristics of

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento do Recife. Rua Antônio Falcão, 402, CEP 51020-240, Boa Viagem, Recife, PE, Brasil.

² Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grando do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Departamento de Solos e Recursos Naturais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV/UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC, Brasil. Email: a2ib@cav.udesc.br. *Autor para correspondência.

the soil and the usual water erosion variables. In general, it was seen that the direct seeding with shanks increased the infiltration and the surface retention of the rainfall water in the soil and the surface retention of the eroded sediments, diminishing the runoff and the erosion. The total water loss was greater under the black oat than the corn residue, and higher in the no-tillage than furrow openers roll, this later occurrence in both types of residue and in any of their rates, but, in general, tending to increase with the increase of the latter. The total soil loss was relatively small and differed little among the modes of seeding and the rates of residue when this was that of black oat; with the corn residue, except in one case where it was great only in the direct seeding with no tillage, but expressively diminished with the increase in residue rates.

KEY WORDS: simulated rainfall, vegetal mulch cover, soil surface roughness, soil water infiltration, soil loss, water loss.

INTRODUÇÃO

O processo de erosão hídrica do solo se dá em três fases, desagregação, transporte e deposição, as quais às vezes não são muito distintas umas das outras porque podem ocorrer concomitantemente. Segundo Eswaran et al. (1992), esse processo é o principal responsável pela degradação das terras agrícolas em todo o mundo, uma vez que pode causar danos diretos (na lavoura) e indiretos (fora da lavoura), resultando em sérias e onerosas consequências agronômicas e ambientais. Quanto aos danos diretos, destaca-se a redução da capacidade produtiva do solo para as culturas, enquanto nos indiretos o assoreamento e a poluição de fontes superficiais de água. Os principais danos indiretos são o assoreamento do leito dos rios e a eutrofização das águas pela transferência do fósforo e do nitrogênio para dentro dos seus mananciais, nutrientes esses que são removidos do solo adsorvidos às partículas erodidas e/ou dissolvidos na água do escoamento superficial (SHARPLEY et al., 2001; DAVEREDE et al.,

2003; BERTOL et al., 2007).

As condições físicas da superfície do solo são as que primeiro e mais fortemente influenciam o processo erosivo. Assim, o preparo mecânico do solo se destaca como um dos mais importantes componentes de seu manejo, uma vez que pode criar condições físicas variadas na superfície do solo, com destaque para a cobertura por resíduos culturais e a rugosidade ou microrelevo induzido pelo preparo (BERTOL et al., 2006, CASTRO et al., 2006). Os sistemas de manejo conservacionista do solo são os mais recomendados para reduzir a erosão hídrica, uma vez que total ou parcialmente mantêm os resíduos culturais em superfície e, em geral, criam alta rugosidade nela (BERTOL et al., 2006). Esses fatores serão decisivos na determinação da quantidade final de erosão hídrica e de escoamento superficial que poderá ocorrer nas terras cultivadas.

Especificamente no que se refere aos métodos de preparo do solo de caráter conservacionista, merece destaque a semeadura ou plantio direto, o qual normalmente mantém quase todo o resíduo cultural em superfície e, por isso, é muito eficaz na redução da perda de solo por erosão (SCHICK et al., 2000; AMARAL et al., 2008). Entretanto, o uso contínuo dessa técnica, principalmente quando mal usada, com poucos resíduos em superfície e com altas tensões aplicadas ao solo e, especialmente, se este estiver com alto teor de água, geralmente compacta a sua superfície e reduz a rugosidade, o que irá diminuir a infiltração e a retenção superficial da água da chuva e favorecer a formação de enxurrada e a ocorrência de erosão (STRECK e COGO, 2003; VOLK et al., 2004; CASTRO et al., 2006; AMARAL, et al., 2008).

Todavia, atualmente é possível fazer-se semeadura direta de modo a aumentar a infiltração e a retenção superficial da água da chuva no solo, acoplando-se hastes sulcadoras na máquina semeadora-adubadora utilizada. Com esse recurso, a superfície do solo resultará em parcialmente mobilizada e a enxurrada bastante diminuída, embora a perda de solo possa ficar um pouco acima da normal (quando sem hastes).

Considerado o exposto, realizou-se este

trabalho com o objetivo de quantificar a erosão hídrica pluvial e o escoamento superficial a ela associado, em diferentes condições físicas da superfície do solo, determinadas pela combinação de tipos e doses de resíduo cultural com modos de execução da técnica de semeadura direta.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada a campo, numa área experimental localizada próxima ao km 244 da Rodovia BR 282, no município de São José do Cerrito, SC, no verão de 2008/2009 e no inverno de 2009. A referida área situa-se entre as coordenadas geográficas de 28° 55' de latitude sul e 51° 08' de longitude oeste (Greenwich), em um solo classificado como Nitossolo Bruno aluminoférrico húmico (EMBRAPA, 2006), possuindo textura muito argilosa na camada superficial (665, 223 e 112 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente) e declividade média de 0,16 m m⁻¹.

A área do experimento vinha sendo utilizada desde 1999, com pesquisas sobre erosão hídrica do solo, sob chuva simulada, e cujos detalhes dos métodos de preparo do solo e culturas usadas, podem ser vistos em Engel et al. (2007). A preparação da área experimental, para fins de sua adequação ao estudo, teve início no outono de 2006, por meio de uma aração e de duas gradagens, seguidas da implantação da cultura da aveia preta (*Avena strigosa* Schereb), cujas sementes foram distribuídas superficialmente, a lanço, e depois incorporadas ao solo por meio de uma gradagem leve. Os demais cultivos foram em semeadura direta, implantando-se aveia preta no inverno e milho (*Zea mays* L.) no verão. Essas culturas foram estabelecidas em linha, no espaçamento de 0,17 m e 0,5 m, respectivamente, para a aveia preta e para o milho, distribuindo-se cerca de 20 kg ha⁻¹ de sementes da primeira cultura e usando 80.000 plantas ha⁻¹ para a segunda, por meio de máquina semeadora-adubadora tratorizada. Os tratamentos culturais consistiram do controle químico de plantas invasoras e de pragas, por meio da aplicação de herbicidas e inseticidas, bem como de adubação química de base e de cobertura,

conforme recomendações da CQFS-RS/SC (2004).

A unidade experimental foi constituída da tradicional parcela para estudo da erosão com chuva simulada em campo, com dimensões de 3,5 m x 11 m, sendo esta última disposta no sentido do declive do terreno, conforme filosofia de obtenção do fator C – cobertura e manejo do solo do modelo USLE de predição da erosão hídrica. As laterais e a porção superior de cada parcela foram delimitadas com chapas galvanizadas, com dimensões de 2 m x 0,2 m cada uma, cravadas 0,1 m no solo, e tiveram ao seu final uma calha especial para coleta da enxurrada.

Os tratamentos da pesquisa foram estabelecidos, pela primeira vez, em dezembro de 2008, sobre os resíduos de aveia preta, e, pela segunda vez, em junho de 2009, sobre os resíduos do milho. Estabeleceram-se seis tratamentos em cada um de tais resíduos, para investigar as seguintes causas de variação: a) tipo de resíduo cultural - aveia preta e milho, b) forma de manejo e dose de resíduo cultural - peças inteiras do resíduo de aveia preta, nas quantidades de 5,3; 2,6; e 1,3 Mg ha⁻¹, e peças picadas do resíduo de milho (tamanho entre 0,15 e 0,2 m), nas quantidades de 8, 4, e 2 Mg ha⁻¹, todas elas uniformemente espalhadas na superfície do solo, e c) modo de execução da técnica de semeadura direta – sem e com hastes sulcadoras acopladas à máquina semeadora-adubadora utilizada. A referida máquina semeadora-adubadora continha uma linha de cinco conjuntos de discos duplos desencontrados, que foram os únicos utilizados nos tratamentos sem hastes sulcadoras. Já para os tratamentos com hastes sulcadoras (propósito de colocar o adubo em profundidade no solo), utilizaram-se ambos desses órgãos ativos, ou seja, discos e hastes, com estas últimas estando dispostas atrás dos primeiros. Tais hastes foram reguladas para operarem na profundidade de solo de, aproximadamente 0,10 m. Realizou-se uma única passagem da referida máquina em cada tratamento, perfazendo cinco linhas de semeadura em cada parcela experimental, distanciadas uma da outra de 0,5 m, tanto para os resíduos de aveia preta e milho quanto para os modos de semeadura

sem e com hastes sulcadoras.

Ao final do último ciclo da aveia preta e do milho, antes da implantação dos tratamentos, caracterizou-se o solo nas parcelas experimentais (três posições em cada uma delas, superior, intermediária e inferior), nas camadas de 0 - 0,05 m; 0,05 - 0,1 m e 0,1 - 0,2 m, em termos de teor de carbono orgânico, pelo método da combustão úmida, segundo Tedesco et al. (1995), diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo, pelo método de peneiramento em água, segundo Kemper e Chepil (1965) e densidade e porosidade do solo, pelo método do anel volumétrico, segundo Forsythe (1975). Devido à pequena variação observada nos valores dessas variáveis, os resultados das mesmas foram apresentados em termos de média geral para toda a área experimental, porém respeitando-se as culturas usadas e as camadas de solo avaliadas.

Sobre os tratamentos antes mencionados, em cada tipo de resíduo cultural, foi aplicada uma chuva simulada, com o aparelho simulador de braços rotativos (SWANSON, 1965), na intensidade constante de 75 mm h⁻¹ e com duração de 1,5 h. Antes da aplicação das chuvas, coletaram-se amostras de solo para determinação do seu teor de água (base gravimétrica), nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, segundo Forsythe (1975). A cobertura do solo por resíduo cultural foi avaliada pelo método da linha de transecção de pontos, segundo Sloneker e Moldenhauer (1977). A rugosidade superficial do solo foi determinada por meio de um perfilômetro de varetas e máquina fotográfica digital acoplada a ele, cuja operação em campo e cálculos matemático-estatístico pertinentes encontram-se descritos em Bertol et al. (2007). A partir do início das chuvas, anotou-se o tempo de início da enxurrada, usando cronômetro. A altura da lâmina de água da chuva infiltrada e retida na superfície do solo no período de pré-enxurrada foi calculada por diferença entre a quantidade de chuva aplicada e a quantidade de enxurrada observada. As taxas instantâneas de descarga da enxurrada foram medidas a cada três minutos, com as amostras coletadas diretamente sob o fluxo, usando-se proveta graduada e cronômetro.

Nos mesmos intervalos de tempo referidos, foram coletadas amostras de enxurrada, para determinação da sua vazão e posterior cálculo (laboratório) das correspondentes concentrações de sedimento na mesma. Multiplicando-se os valores de vazão da enxurrada pelos valores de concentração de sedimento na mesma foram obtidas as taxas instantâneas de perda de solo pela erosão. Temporalmente integrando-se estas últimas com as taxas instantâneas de descarga da enxurrada, obteve-se a perda total de solo e a perda total de água.

Devido à falta de análise estatística nos dados, ocasionada pela não existência de repetições nos tratamentos (falta de espaço físico adequado na área experimental para instalar um maior número de parcelas), a interpretação dos resultados foi essencialmente baseada na experiência e nos valores numéricos obtidos, porém contando com o apoio de conceitos consagrados e teorias comprovadas de erosão, existentes na literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono orgânico e características físicas do solo na área experimental antes da implantação dos tratamentos e da aplicação das chuvas simuladas

Conforme se esperava, em função da adequação do solo na área experimental, em termos de condições físicas o mesmo se encontrava relativamente bem uniforme por ocasião da implantação dos tratamentos, antes da aplicação das chuvas simuladas. Por essa razão, na tabela 1 são apresentados apenas os valores médios do teor de carbono e de algumas características físicas do solo, para toda a área experimental, conforme relatado no material e métodos. Assim, as pequenas diferenças observadas nos valores das variáveis da referida tabela são normais, podendo-se dizer que, em princípio, o solo da área experimental não constituiu fonte de variação na pesquisa.

Umidade do solo após a implantação dos tratamentos e antes da aplicação das chuvas simuladas

De modo geral, o teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas variou pouco e dentro da normalidade nos tratamentos do estudo, embora sendo um pouco maior sob o resíduo de milho do que de aveia preta (Tabela 2). Dessa forma, também pode ser dito que, em princípio, o teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas não constituiu fonte de variação na pesquisa.

Cobertura por resíduo cultural e rugosidade superficial do solo após a implantação dos tratamentos e antes da aplicação das chuvas simuladas

Os valores de cobertura do solo por resíduo cultural, independentemente do seu tipo,

resultaram maiores na semeadura direta sem hastes do que com hastes sulcadoras (Tabela 3 e Figuras 1 e 2), diminuindo em ambas com a diminuição das doses de resíduo e tendo sido menores para o de milho do que para o de aveia preta, apesar da quantidade do primeiro ter sido maior do que a do segundo. No que se refere ao índice de rugosidade superficial do solo (Tabela 3), os valores foram maiores na semeadura direta com do que sem hastes sulcadoras e maiores sob o resíduo de aveia preta do que de milho, sem tendência clara quanto às diferenças entre as doses destes últimos.

As diferenças nos valores de cobertura do solo entre os resíduos culturais podem ser explicadas pela diferença no tamanho e morfologia de suas peças. O resíduo de milho basicamente foi constituído de colmos grossos e picado manualmente, resultando em peças

Tabela 1 - Teor de carbono orgânico e valores de algumas características físicas do solo, em três de suas camadas, obtidos ao final do último ciclo das culturas usadas no estudo, antes da implantação dos tratamentos e da aplicação das chuvas simuladas (resultados médios para toda a área experimental).

Camada de solo m	CO g kg ⁻¹	DMP mm	Ds Mg m ⁻³	Ma	Mi m ³ m ⁻³	Pt
			<u>Aveia preta</u>			
0-0,05	29,3	5,54	1,16	0,14	0,41	0,55
0,05-0,1	25,5	5,50	1,16	0,16	0,41	0,57
0,1-0,2	23,1	4,91	1,17	0,13	0,43	0,56
			<u>Milho</u>			
0-0,05	28,7	5,30	1,05	0,20	0,42	0,62
0,05-0,1	27,4	5,06	1,11	0,20	0,37	0,57
0,1-0,2	23,3	4,29	1,18	0,17	0,37	0,55

CO=carbono orgânico; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados; Ds=densidade do solo; Ma=macroporosidade; Mi=microporosidade; Pt=porosidade total.

Tabela 2 - Teor de água no solo (base gravimétrica - Ug), em duas de suas camadas, antes da aplicação das chuvas simuladas, nos tratamentos estudados.

Variável	Modo de semeadura direta					
	Sem hastes sulcadoras			Com hastes sulcadoras		
	<u>Resíduo de aveia preta</u>					
Dose de resíduo, Mg ha ⁻¹	5,3	2,6	1,3	5,3	2,6	1,3
Ug (0,0-0,1 m), kg kg ⁻¹	0,40	0,40	0,35	0,43	0,36	0,36
Ug (0,1-0,2 m), kg kg ⁻¹	0,42	0,43	0,36	0,47	0,42	0,38
	<u>Resíduo de milho</u>					
Dose de resíduo, Mg ha ⁻¹	8	4	2	8	4	2
Ug (0,0-0,1 m), kg kg ⁻¹	0,32	0,38	0,31	0,39	0,36	0,34
Ug (0,1-0,2 m), kg kg ⁻¹	0,38	0,41	0,31	0,40	0,38	0,35

com tamanho entre 0,1 e 0,15 m cada uma. Essa operação foi realizada com a finalidade de simular uma colheita com automotriz. Por sua vez, o resíduo de aveia preta basicamente foi constituído de colmos finos e não foi picado, tendo apenas sido ceifado rente ao solo. Quanto à diminuição da cobertura do solo com a diminuição das doses de resíduo, é uma ocorrência normal. Esses resultados são condizentes com os de outros trabalhos, realizados em condições semelhantes e usando a mesma metodologia (SCHICK et al., 2000; COGO et al., 2003; AMARAL et al., 2008).

Quanto ao fato de os valores do índice de

rugosidade superficial do solo ter sido maior na semeadura direta com hastes do que sem hastes sulcadoras é absolutamente normal. O fato do índice de rugosidade superficial ter sido maior sob o resíduo de aveia preta do que de milho, pode ser explicado pelas diferenças no teor de carbono orgânico e nos valores de DMP dos agregados do solo, os quais foram um pouco maiores ao final do ciclo da primeira cultura referida que da segunda, especialmente na camada de solo de 0 a 0,05 m (Tabela 1). Assim, possivelmente a estrutura superficial do solo estivesse mais resistente sob o resíduo de aveia preta, ocasionando torrões de

Tabela 3 - Doses de resíduo cultural, equivalentes percentagens de cobertura e índice de rugosidade superficial do solo logo após a execução dos modos de semeadura direta, antes da aplicação das chuvas simuladas, nos tratamentos estudados.

Variável	Modo de semeadura direta					
	Sem hastes sulcadoras			Com hastes sulcadoras		
	<u>Resíduo de aveia preta</u>					
Dose de resíduo, Mg ha ⁻¹	5,3	2,6	1,3	5,3	2,6	1,3
Cobertura do solo, %	92	88	85	83	81	78
Rugosidade do solo, mm	6,1	6,6	5,7	7,6	7,9	8,7
	<u>Resíduo de milho</u>					
Dose de resíduo, Mg ha ⁻¹	8	4	2	8	4	2
Cobertura do solo, %	90	72	49	82	66	38
Rugosidade do solo, mm	4,2	6,2	4,9	4,6	6,6	5,1

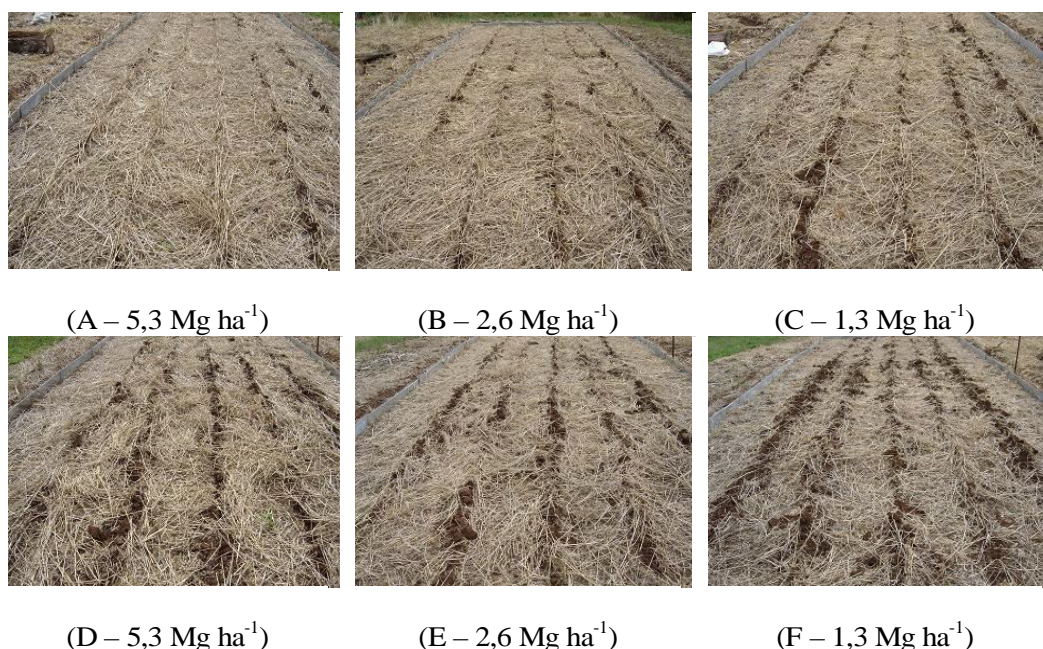


Figura 1 - Vista da superfície do solo logo após a execução dos modos de semeadura direta, nas três doses do resíduo de aveia preta, antes da aplicação das chuvas simuladas (A, B e C - sem hastes sulcadoras; D, E e F - com hastes sulcadoras).

maior tamanho, em resposta à ação mecânica das hastes sulcadoras. Resultados do índice de rugosidade superficial do solo semelhantes aos encontrados neste trabalho foram também obtidos por Bertol et al. (2006), Castro et al. (2006), Bertol et al. (2007), entre outros.

Tempo de início da enxurrada e altura da lâmina de água da chuva infiltrada e retida na superfície do solo no período que o antecedeu

O tempo de início da enxurrada (T_i) e, conseqüentemente, a altura da lâmina de água da chuva infiltrada e retida na superfície do solo no período que o antecedeu ou de pré-enxurrada (LAPE), foram relativamente pequenos e variaram pouco entre os modos de semeadura direta e doses de resíduo cultural quando este

era o de aveia preta (Figuras 3A e 3B). Com o resíduo de milho (Figuras 4A e 4B), os valores de T_i e LAPE foram grandes e maiores na semeadura direta com hastes do que sem hastes sulcadoras, diminuindo com a diminuição das doses de resíduo em qualquer uma destas últimas. Os maiores valores de T_i e LAPE observados na semeadura direta com hastes do que sem hastes sulcadoras, podem ser explicados pela maior rugosidade superficial do solo na mesma (Tabela 3), o que favoreceu a infiltração e a retenção superficial da água da chuva. Isso evidencia o efeito realmente positivo da rugosidade superficial do solo na sua conservação e da água, como também verificado por Castro et al. (2006) e Bertol et al. (2007) em estudos análogos a este. Quanto aos maiores valores de T_i e LAPE sob

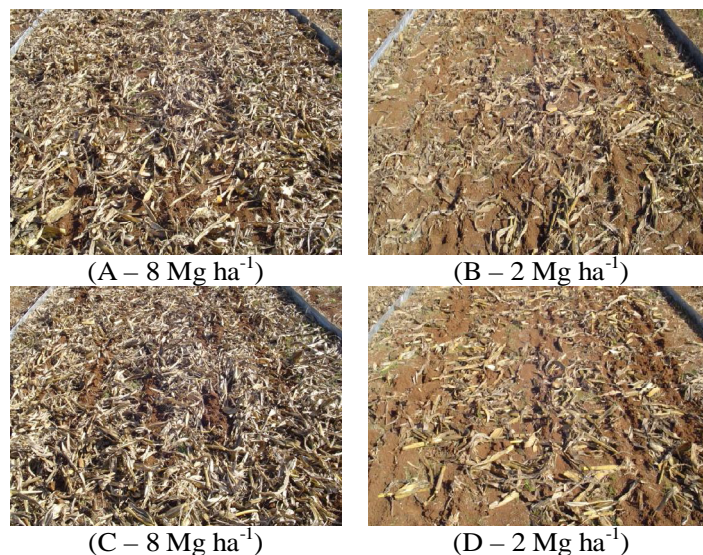


Figura 2 - Vista da superfície do solo logo após a execução dos modos de semeadura direta, em duas doses do resíduo de milho, antes da aplicação das chuvas simuladas (A e B - sem hastes sulcadoras; C e D - com hastes sulcadoras).

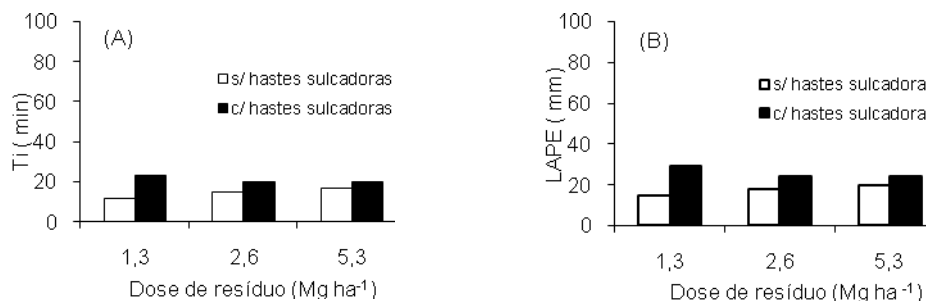


Figura 3 - Tempo de início da enxurrada (T_i - A) e altura da lâmina de água da chuva infiltrada e retida na superfície do solo no período que o antecedeu (LAPE - B), sob o resíduo de aveia preta, nos tratamentos estudados.

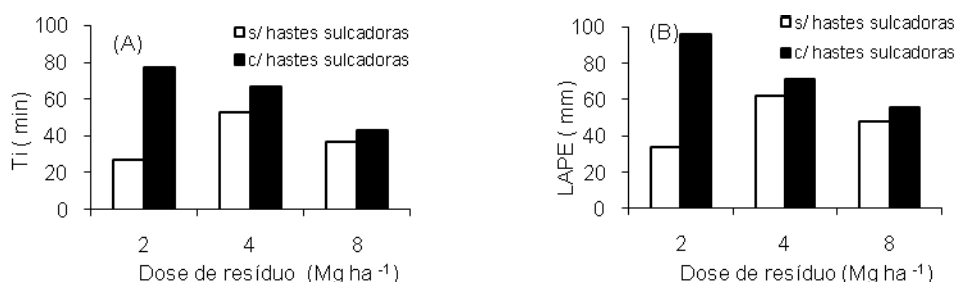


Figura 4 - Tempo de início da enxurrada (Ti - A) e altura da lâmina de água da chuva infiltrada e retida na superfície do solo no período que o antecedeu (LAPE - B), sob o resíduo de milho, nos tratamentos estudados.

o resíduo de milho do que de aveia preta, em ambos os modos de semeadura direta, podem ser explicados pelo menor teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas no mesmo (Tabela 2), devido, normalmente, o solo estar mais seco no período de verão (ciclo do milho) do que no de inverno (ciclo da aveia preta). No que se refere à diminuição dos valores de Ti e LAPE com a diminuição das doses do resíduo de milho, nos dois modos de semeadura direta, ocorreu por a menor proteção física oferecida à superfície do solo contra a ação da chuva e da enxurrada, em termos de infiltração e retenção superficial da água da chuva.

Antes de encerrar esta seção, julgou-se importante chamar a atenção para o que pode representar os valores de altura da lâmina de água da chuva infiltrada e retida na superfície do solo no período de pré-enxurrada (LAPE), do ponto de vista de aplicação prática dos resultados. É sabido que as plantas necessitam uma quantidade mínima de água para seu desenvolvimento normal e, para isto, elas extraem do solo por meio de suas raízes. Além disso, a perda de água da chuva na forma de enxurrada também depende diretamente da quantidade de água abstraída do solo pelas plantas. Assim, ao se analisar os resultados das figuras 3A e 4A, verificou-se que, qualquer dos valores de LAPE apresentados nas mesmas, seria suficiente para, em épocas de escassez de água, garantir o desenvolvimento normal das culturas que porventura nele estivessem crescendo, uma vez que os menores deles se situaram ao redor de 20 mm.

Perdas totais de água e solo por erosão hídrica

A perda total de água foi maior na semeadura direta sem hastes do que com hastes sulcadoras, em ambos os tipos de resíduo, e maior sob o resíduo de aveia preta do que de milho, nos dois modos de semeadura, tendendo a aumentar com o aumento das doses de resíduo, tanto de aveia quanto de milho (Figuras 5A e 6A).

A maior perda total de água na semeadura direta sem hastes do que com hastes sulcadoras ocorreu por à menor rugosidade superficial do solo na mesma (Tabela 3), permitindo menor infiltração e retenção superficial da água da chuva, também observado por Schick et al. (2000), Cogo e Streck (2003), Volk et al. (2004), Castro et al. (2006) e Amaral et al. (2008) em estudos análogos. Já a diferença na perda total de água entre os tipos de resíduo, pode ser explicada pelo teor de água no solo antecedente às chuvas simulada em um e outro ciclo cultural, bem como pelo tipo e tamanho das peças constituintes de tais resíduos. O solo nas parcelas da área experimental se encontrava mais seco por ocasião da aplicação das chuvas sobre o resíduo de milho do que de aveia preta (Tabela 2), em função dos ciclos dessas culturas (primavera-verão para milho e outono-inverno para aveia preta), o que resultou em maiores valores de altura de lâmina de água da chuva infiltrada e retida na superfície do solo no período de pré-enxurrada sob o primeiro tipo resíduo referido do que sob o segundo (Figuras 4A e 3A, respectivamente), conseqüentemente menores valores de perda total de água, auxiliado pela maior porosidade total do solo no mesmo (Tabela 1). Tais resultados são condizentes com

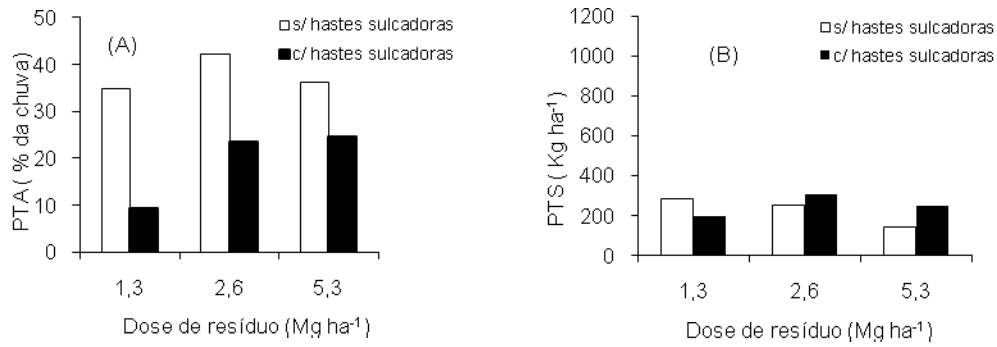


Figura 5 - Perda total de água (PTA - A) e perda total de solo (PTS - B) sob o resíduo de aveia preta, nos tratamentos estudados.

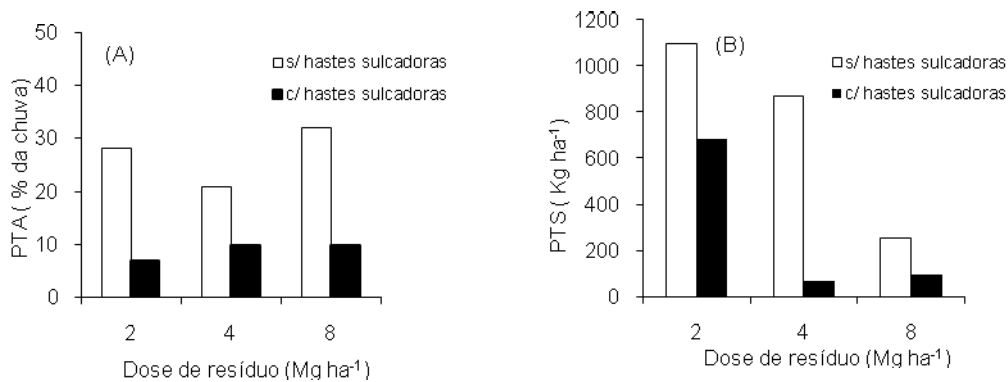


Figura 6 - Perda total de água - PTA (A) e perda total de solo - PTS (B) sob o resíduo de milho, nos tratamentos estudados.

os obtidos por Volk et al. (2004) em estudo similar.

A perda total de solo foi relativamente pequena e se diferenciou pouco entre os modos de semeadura direta e doses de resíduo cultural quando este era o de aveia preta (Figura 5B). Já com o resíduo de milho, exceto um caso isolado, ela foi grande apenas na semeadura direta realizada sem hastes sulcadoras e diminuiu muito com o aumento das doses de resíduo (Figura 6B).

A menor perda total de solo observada sob o resíduo de aveia (Figura 5B) do que do milho (Figura 6B), ocorreu por motivos interligados. A agregação do solo sob a aveia preta era melhor do que sob o milho, inferida pelos seus valores de DMP (Tabela 1). Além disso, a cobertura e rugosidade superficiais do solo (Tabela 2) eram maiores nos tratamentos com resíduo de aveia do que de milho. Essas condições resultaram numa superfície de solo mais resistente à ação dos agentes erosivos na aveia preta do que no milho.

Em adição, as condições físicas superficiais do solo nas zonas das linhas e das entre linhas eram diferentes em um e outro tipo de resíduo, uma vez que o espaçamento nas entrelinhas de milho foi maior do que o de aveia preta, o que favoreceu a concentração e a velocidade da enxurrada na situação com o resíduo de milho (nesse caso menor efeito de ancoramento do resíduo). Esses fatos permitem dizer que, para a região do estudo, o solo apresenta sazonalidade no que se refere a sua resistência à erosão hídrica, em função do tipo de cultura que é cultivada em uma e outra estação e da condição climática dominante em cada uma delas.

A pequena diferença observada nos baixos valores de perda total de solo entre os modos de semeadura direta e doses do resíduo de aveia preta, pode ser explicada pela pequena diferença nos altos valores de cobertura e rugosidade superficiais do solo sob tal tipo de resíduo (Tabela 3). Já a grande diferença nos altos valores de

perda total de solo entre as doses do resíduo de milho na semeadura direta realizada sem hastes sulcadoras, ocorreu por aos menores valores de cobertura do solo por este tipo de resíduo (Tabela 3), comparados ao de aveia preta, embora tendo ele maior quantidade de massa.

Os resultados apresentados e discutidos nesta seção se deveram, basicamente, às condições físicas superficiais do solo, determinadas pelos tratamentos aplicados, as quais agiram de forma inter-relacionada. Assim, sobressaiu-se o tipo, a quantidade e a equivalente percentagem de cobertura dos resíduos culturais, e a rugosidade superficial do solo induzida pelos modos de semeadura direta. Esses fatores foram determinantes na determinação das quantidades finais de solo e água pela erosão em cada situação da pesquisa, conforme também comentado por Schick et al. (2000), Cogo et al. (2003), Volk e Cogo (2004 e 2008) e Amaral et al. (2008).

Embora a perda total de solo ocorrida em algumas das situações da pesquisa tenha sido relativamente pequena, chama-se atenção para o fato de que a mesma foi originada de um comprimento de rampa muito curto (comprimento da parcela experimental ou 11 m), comparado aos comprimentos normalmente observados nas lavouras. Assim, considerando que a perda de solo por unidade de área é proporcional ao comprimento do declive elevado na potência 0,5 ou 0,6, provavelmente alguns valores pequenos de perda total de solo observados neste trabalho se converteriam em valores grandes em situações de lavoura, podendo, até, ultrapassar em várias vezes o valor de tolerância de perda de solo por erosão para o solo em questão (9,0 Mg ha⁻¹, segundo BERTOL e ALMEIDA, 2000). Outro ponto importante a ser comentado é que os tratamentos estudados no presente trabalho (de fato, qualquer tratamento de preparo conservacionista do solo) têm eficácia completa de redução da erosão hídrica até um determinado ponto (distância) no terreno, denominado de limite crítico de comprimento de declive. A partir desse ponto, a enxurrada poderá adquirir volume e velocidade tais que é possível remover os resíduos culturais da superfície do solo,

aumentando as taxas de erosão a partir daquele ponto. Deve-se ainda ter em mente que os limites de perda de solo por erosão, estabelecidos para fins de manutenção da capacidade produtiva do solo para as culturas, não são os mesmos a serem considerados quando se tem em mente preservar o ambiente. Para este último propósito, tais limites certamente deverão ser bem menores, uma vez que a enxurrada poderá estar carregando consigo substâncias químicas nocivas (dissolvidas e/ou adsorvidas às partículas sólidas do solo) para dentro dos mananciais superficiais de água, como o nitrogênio e o fósforo (causando eutrofização), mesmo que ela possa ter baixa carga de sólidos em suspensão, o que, então, comprometerá mais ainda a qualidade dos recursos hídricos fora do local de origem da erosão, dano denominado de indireto ou fora da lavoura.

CONCLUSÕES

De modo geral, a semeadura direta realizada com hastes sulcadoras apresentou vantagens sobre a sem hastes sulcadoras no que se refere ao controle da erosão hídrica pluvial do solo e do escoamento superficial a ela associado, diminuindo ambos.

A cobertura do solo pelos resíduos culturais de aveia preta mostrou-se mais eficaz na redução da perda de solo, enquanto que a formada pelos resíduos de milho foi mais eficaz na redução da perda de água.

As doses dos resíduos culturais influenciaram os resultados de modo variado, ora de acordo com o esperado, ora não.

A análise global dos resultados permitiu deduzir que, para efetivamente controlar a erosão hídrica pluvial e o escoamento superficial a ela associada, é necessário compatibilizar as condições físicas superficiais e subsuperficiais do solo, resultantes das operações de seu preparo e de semeadura das culturas, dando especial atenção à cobertura por resíduos culturais e à rugosidade superficial ou microrrelevo do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A.J. et al. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul-catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2145-2155, 2008.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.657-668, 2000.
- BERTOL, I. et al. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.543-553, 2006.
- BERTOL, I. et al. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.103-110, 2007.
- CASTRO, L. et al. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.339-352, 2006.
- COGO, N.P. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por método de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.
- DAVEREDE, I.C. et al. Phosphorus runoff: effect of tillage and soil phosphorus levels. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.32, p.1436-1444, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Embrapa/Produção de Informação; Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2006. 306p.
- ENGEL, F.L. et al. Water erosion under simulated rainfall in different soil management systems during soybean growth. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, p.187-193, 2007.
- ESWARAN, H. et al. Land degradation: an overview. In: BRIDGES, E.M. et al. (eds.). **Responses to Land Degradation**. Proc. 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. Oxford Press, New Delhi, India, 1992. p.1-25.
- FORSYTHE, W. **Física de solos: manual de laboratorio**. San José, IICA. 1975. 212p.
- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil Analysis, physical and mineralogical properties, including statistics, measurement and sampling**. 1. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.427-436, 2000.
- SHARPLEY, A.N. et al. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. **Plant and Soil**, Netherlands, v.237, p.287-307, 2001.
- SLONEKER, L.L.; MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, Fairmont, W. Va, v.32, p.231-236, 1977.
- STRECK, E.V.; COGO, N.P. Surface and subsurface decomposition of a desiccated Grass pastures biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.153-164, 2003.
- SWANSON, N.P. A rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, p.1738-1743, 1965.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- VOLK, L.B.S. et al. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência**

do Solo, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. Inter-relação da biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1713-1722, 2008.