



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Vieira Luciano, Rodrigo; Bertol, Ildegaridis; Tondello Barbosa, Fabrício; Vidal Vázquez, Eva; Fabian, Evandro Luiz

Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 33, núm. 3, junio, 2009, pp. 669-676

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214234018>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

PERDAS DE ÁGUA E SOLO POR EROSÃO HÍDRICA EM DUAS DIREÇÕES DE SEMEADURA DE AVEIA E ERVILHACA⁽¹⁾

**Rodrigo Vieira Luciano⁽²⁾, Ildegardis Bertol⁽³⁾, Fabrício Tondello
Barbosa⁽⁴⁾, Eva Vidal Vázquez⁽⁵⁾ & Evandro Luiz Fabian⁽⁶⁾**

RESUMO

A direção de semeadura influencia a rugosidade da superfície do solo, e, associada à chuva e outras variáveis, como a cobertura do solo pela copa das plantas, provoca a erosão hídrica do solo. Utilizando um simulador de chuvas de braços rotativos, foram feitos, em campo, cinco testes de chuva simulada sobre as culturas de aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), com intensidade constante de 64 mm h⁻¹, entre agosto e novembro de 2006, para avaliar as perdas de água e solo nos seguintes tratamentos, em duas repetições: semeadura mecanizada de aveia em linhas no sentido paralelo ao declive (AP); semeadura mecanizada de aveia em linhas em contorno no declive (AC); semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas no sentido paralelo ao declive (EP); e semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas em contorno no declive (EC). O experimento foi conduzido em um Cambissolo Húmico alumínico léptico, com declividade média 0,119 m m⁻¹. A cobertura do solo pela copa das plantas foi maior na aveia do que na ervilhaca até o teste 2 de chuva simulada e maior na ervilhaca nos testes 3 e 4, não tendo variado com a direção de semeadura das culturas e tendo aumentado do início ao final do período de cultivo. O tempo de início da enxurrada foi maior na semeadura em contorno do que na semeadura em direção à pendente, nas duas culturas; o contorno apresentou menor taxa máxima de enxurrada e maior tempo para enxurrada máxima do que a pendente. A concentração de sedimentos na enxurrada diminuiu ao longo dos testes de chuva, tendo sido menor na aveia do que na ervilhaca, tendo sido 52 % menor na semeadura em contorno do que na direção da pendente. As perdas de solo diminuíram ao longo dos testes de chuva. Tais perdas na semeadura em contorno foram 12 % menores na aveia e 56 % menores na ervilhaca do que na pendente. As perdas de água apresentaram o mesmo comportamento das perdas

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Recebido para publicação em janeiro de 2008 e aprovado em fevereiro de 2009.

⁽²⁾ Mestrando do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC. CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista (PROMOP). E-mail: a6rvl@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos do Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV/UDESC. CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista PQ (CNPq). E-mail: a2ib@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Mestrando do Departamento de Solos, CAV/UDESC. Bolsista (CNPq). E-mail: a6ftb@cav.udesc.br

⁽⁵⁾ Professora da Universidade de Coruña, UDC, Faculdade de Ciencias, 15071, Coruña, Espanha. E-mail: evavidal@mail2.udc.es

⁽⁶⁾ Aluno do Curso de Agronomia, CAV/UDESC. Bolsista IC (CNPq). E-mail: a4elf@cav.udesc.br

de solo, porém com diferenças de menor magnitude. As perdas acumuladas de solo (PS) aumentaram com a lâmina (LC) e a erosividade (EI_{30}) acumulada das chuvas, entre os testes 1 e 4, segundo as equações: $PS = 0,859(1-e^{-0,0059LC})$ ($R^2 = 0,99$) e $PS = 0,832(1-e^{-0,0004EI_{30}})$ ($R^2 = 0,99$).

Termos de indexação: chuva simulada, semeadura em contorno, semeadura em direção à pendente, plantas de cobertura do solo.

SUMMARY: WATER AND SOIL LOSSES THROUGH WATER EROSION UNDER OAT AND VETCH SOWN IN TWO DIRECTIONS

*The sowing direction influences soil surface roughness, which, combined with rainfall and other variables, e.g., canopy cover, affects soil water erosion. Using a rotating-boom rainfall simulator, five tests of simulated rainfall were applied to black oat (*Avena strigosa*), and vetch (*Vicia sativa*), at a constant intensity of 64 mm h⁻¹, between August and November 2006, to assess water and soil loss in the following treatment: mechanized seeding of oats in downslope rows; mechanized seeding of oats along contour lines; mechanized seeding of vetch in downslope rows, and mechanized seeding of vetch along contour lines. The experiment was conducted in two replications on an Inceptisol, with a mean slope of 0.119 m m⁻¹. The canopy cover was greater in oat than vetch until rainfall test 2 and higher in vetch in the tests 3 and 4, with no variation due to the sowing direction of the crops and increasing from the beginning to the end of the growth period. The time until the water started to run off was longer in the treatments with seeding along contour lines than downslope, in both crops; the maximum runoff rate along the contour lines was lower and the time until maximum runoff rate longer. The sediment concentration in runoff decreased over the rainfall tests; it was lower in oat than vetch, and 52 % lower in contour than downslope sowing. Soil loss decreased over the rainfall tests; these losses were 12 % lower in oat and 56 % lower in vetch contour than downslope sowing; the water loss had the same performance as soil loss, although with lower magnitudes. The accumulated soil losses increased with accumulated rain volume (VR) and rain erosivity (EI_{30}), between the first and fourth test, according to the equations: $SL = 0.859(1-e^{0.0059VR})$ ($R^2 = 0.99$) and $SL = 0.832(1-e^{-0.0004EI_{30}})$ ($R^2 = 0.99$).*

Index terms: simulated rainfall, contour seeding, slope seeding, soil cover plants.

INTRODUÇÃO

A forma de semeadura das culturas em relação ao declive modifica as condições superficiais do solo quanto ao manejo da água de enxurrada, porque a forma de semeadura acarreta mudanças principalmente na orientação da rugosidade superficial e, consequentemente, na capacidade de armazenamento de água, de retenção de sedimentos na superfície do solo, e erosão hidrálica (Silva et al., 1986; Cogo et al., 2007; Luciano, 2008).

A semeadura em direção à pendente do terreno pode proporcionar um aumento de até 100 % nas perdas de solo em relação à semeadura em contorno, em especial nos sistemas de manejo convencional do solo (Wischmeier & Smith, 1978; Luciano, 2008). Os sulcos abertos pelo sulcador da semeadura em direção à pendente funcionam como canais escoadouros, nos quais a água de enxurrada se concentra ao longo do declive, desagregando e transportando o solo com maior energia.

No cultivo em contorno, as fileiras de plantas e os restos culturais ficam dispostos transversalmente à pendente, diminuindo a velocidade da enxurrada e filtrando os sedimentos nela contidos, o que torna esta forma de cultivo mais eficaz no controle da erosão hidrálica do que a semeadura morro a baixo (Silva et al., 1986; Cogo et al., 2007; Luciano, 2008). Na semeadura em contorno, os sulcos ocasionados armazemam água e sedimentos, aumentando a infiltração e retardando o início da enxurrada (Cogo et al., 2007; Luciano, 2008).

As características morfológicas das plantas, como o tipo de raiz e de folha, o ângulo de disposição das folhas em relação ao colmo, a quantidade e espessura dos colmos e o hábito de crescimento das plantas, influenciam a erosão hidrálica, especialmente em solos sem resíduo cultural na superfície como é o caso do preparo efetuado com arado e grade (Silva et al., 1986; Luciano, 2008), em parte devido à diferença de cobertura do solo ocasionada pelas copas, como constatado por Baldissara (1985). Esse autor

argumenta que a proteção do solo proporcionada pela copa das plantas no controle da erosão hídrica fundamenta-se na densidade da folhagem e na altura das copas, determinada pela diversidade, pelo manejo e pelo crescimento das plantas vivas.

O objetivo deste trabalho foi quantificar as perdas de água e solo por erosão hídrica sob chuva simulada, em duas direções de semeadura em relação ao declive, durante o ciclo da aveia-preta e da ervilhaca-comum.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo, entre março e novembro de 2006, em um Cambissolo Húmico alumínico léptico argiloso (Embrapa, 1999), com substrato composto de siltitos e argilitos. A área experimental está localizada em Lages, SC, a 27° 46' 57" de latitude sul e 50° 18' 20" longitude oeste, a uma altitude média de 900 m, a oeste de Greenwich, com clima Cfb do tipo subtropical úmido (Köeppen).

O terreno da área experimental inicialmente estava coberto com vegetação natural e, em abril de 2006, foi preparado com uma operação de arado e três de grade. Em seguida, realizou-se a correção da acidez e da fertilidade do solo com a incorporação de 15 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT= 80 %) por meio de uma operação com arado e duas com grade. Em maio de 2006, foram instalados os tratamentos de direção de semeadura de aveia (*Avena strigosa*) e de ervilhaca (*Vicia sativa*), distribuídos ao acaso, em duas repetições: semeadura mecanizada de aveia em linhas paralelas ao declive (AP); semeadura mecanizada de aveia em linhas em contorno no declive (AC); semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas paralelas ao declive (EP); e semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas em contorno no declive (EC). A semeadura foi regulada para sulcar o solo em profundidade de 0,04 m. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,17 m, com 20 linhas por parcela para o sentido paralelo ao declive e 64 linhas para a semeadura em contorno.

As culturas receberam as adubações do seguinte modo: na aveia, aplicaram-se 195 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo, 121 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e 10 kg ha⁻¹ de N na base, além de 15 kg ha⁻¹ de N em cobertura no dia anterior ao teste 1 de chuva simulada. Na ervilhaca, aplicaram-se 146 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 121 kg ha⁻¹ de KCl na base. Durante o ciclo das culturas, o controle de ervas daninhas foi realizado manualmente. Em plena floração, em novembro de 2006, as culturas foram roçadas com roçadora costal, distribuindo-se uniformemente o resíduo verde sobre o solo.

A unidade experimental era constituída de uma parcela com 3,5 x 11 m (38 m²), instalada conforme descrito em Bertol et al. (1987). Utilizaram-se oito parcelas e, para a aplicação das chuvas simuladas,

foi usado um simulador de braços rotativos que cobria simultaneamente duas parcelas (Swanson, 1975), que eram repetições dos tratamentos.

Durante o ciclo vegetativo das culturas, foram feitos quatro testes de chuva simulada e, depois da roçada das plantas, mais um. Os testes 1, 2, 3, 4 e 5 foram realizados a 30, 70, 105, 110 e 140 dias após a semeadura das culturas. As chuvas aplicadas tinham duração de uma hora, com intensidade e altura variável (Quadro 1).

Antes dos testes 1, 2, 3 e 4 de chuva simulada, determinou-se a cobertura do solo pela copa das plantas, utilizando-se o método do "metro rígido" (Adams & Arkin, 1977). O metro foi estendido ao lado da linha e sob a copa das plantas, em três locais na parcela (três repetições) e, a cada 0,1 m, media-se a extensão transversal da projeção da copa sobre o metro. A média dessas medidas era dividida pelo espaçamento entre as linhas, resultando na cobertura do solo. Foi visualmente estimada a cobertura do solo pelos resíduos culturais, antecedendo o teste 5 de chuva, considerada igual 1 m² m⁻² em todos os tratamentos. Coletaram-se ainda amostras do solo, na profundidade de 0–0,2 m, para posterior determinação do teor de água no solo, conforme Forsythe (1975) (Quadro 1).

Quadro 1. Teor de água no solo (Ug), intensidade (I) e lâmina (A) das chuvas simuladas aplicadas com uma hora de duração, em semeadura e testes de chuva sobre um Cambissolo Húmico

Tratamento	Ug g g ⁻¹	I	A mm
		mm h ⁻¹	
		Teste 1	
AP	0,32	63	63
AC	0,30	58	58
EP	0,35	67	67
EC	0,35	76	76
		Teste 2	
AP	0,33	67	67
AC	0,31	77	77
EP	0,35	76	76
EC	0,34	84	84
		Teste 3	
AP	0,32	63	63
AC	0,32	70	70
EP	0,35	76	76
EC	0,29	79	79
		Teste 4	
AP	0,32	63	63
AC	0,37	66	66
EP	0,37	72	72
EC	0,36	76	76
		Teste 5	
AP	0,35	68	68
AC	0,34	67	67
EP	0,33	78	78
EC	0,34	81	81

AP: aveia pendente; AC: aveia contorno; EP: ervilhaca pendente; EC: ervilhaca contorno

Durante os testes de chuva simulada, amostrou-se a enxurrada e mediu-se a taxa de descarga, em intervalos fixos de 3 em 3 min, para posterior cálculo e determinação das perdas de água e solo pela erosão, conforme Cogo (1981). Os dados de perdas de solo observados foram ajustados para o declive médio das parcelas experimentais de $0,119 \text{ m m}^{-1}$ por causa da variação de declividade entre as parcelas dos tratamentos (AP: $0,15 \text{ m m}^{-1}$, AC: $0,09 \text{ m m}^{-1}$, EP: $0,13 \text{ m m}^{-1}$ e EC: $0,12 \text{ m m}^{-1}$), utilizando o procedimento recomendado por Wischmeier & Smith (1978), pela seguinte expressão:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 65,41 (\operatorname{sen} \theta)^2 \quad (1)$$

θ = o ângulo do declive.

Devido à variação na intensidade das chuvas simuladas, após o ajuste das perdas de solo para a inclinação das parcelas, essas perdas foram ajustadas para a intensidade de chuva planejada de 64 mm h^{-1} , conforme proposto por Cogo (1981).

A erosividade das chuvas simuladas aplicadas foi calculada de acordo com o método descrito em Meyer (1958).

Relações não lineares foram feitas entre os dados de perdas de solo e de lâmina de água e erosividade das chuvas simuladas aplicadas, utilizando o modelo $y = a(1-e^{-bx})$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cobertura do solo pela copa das plantas foi influenciada pelo tipo de cultura, conforme observado também por Baldissara (1985), mas praticamente não foi alterada pela direção de semeadura (Quadro 2). Além disso, a referida cobertura aumentou ao longo do ciclo das culturas (do teste 1 ao teste 4), devido ao crescimento das plantas, conforme constatado também por Mello et al. (2003) e Leite et al. (2004). A massa foliar da aveia cresceu mais rapidamente do que a ervilhaca até o teste 2 e, partir daí, a ervilhaca superou

a aveia na taxa de crescimento, cobrindo mais o solo do que a aveia nos testes 3 e 4. Isto é normal, devido ao fato de a aveia ser mais precoce do que a ervilhaca no que se refere ao crescimento nessa região. A cobertura do solo pelos resíduos culturais no teste 5 foi igual nos tratamentos e nas culturas, pois, ao serem manejados, os resíduos vegetais foram uniformemente distribuídos na superfície do solo, ocasionando completa cobertura do solo.

A direção de semeadura em contorno apresentou tempo para início da enxurrada 2,8 vezes maior do que na direção da pendente, na média dos tratamentos e dos testes de chuva (Quadro 3), o que é explicado pela rugosidade superficial ocasionada pela semeadura em contorno no declive, cujos sulcos armazenaram água por mais tempo, conforme verificado também por Cogo et al. (2007) e Luciano (2008). Esse curto intervalo para iniciar a enxurrada nos tratamentos de semeadura na direção da pendente se justifica também pela rugosidade orientada no sentido paralelo ao declive (sulcos morro a baixo), que facilitaram a concentração do fluxo. No cultivo da aveia, a semeadura em contorno aumentou o tempo de início da enxurrada em 3,3 vezes, enquanto na ervilhaca a diferença foi de 2,4 vezes, em relação à semeadura na direção da pendente, na média dos testes de chuva. Este fato, muito positivo, diminuiu fortemente o volume de enxurrada, decorrente do aumento da infiltração de água no solo, e é explicado principalmente pela diferença de sistema radicular das culturas: na aveia, as raízes são fasciculadas e em maior número do que na ervilhaca, onde são em menor número e pivotantes e, por isso, aumentam a porosidade do solo em relação à ervilhaca. Dados semelhantes a estes foram obtidos por Cogo et al. (2007) e Luciano (2008).

Os diversos tratamentos apresentaram variados aumento de taxa de enxurrada ao longo das chuvas, sendo o mais rápido aumento verificado nos tratamentos AP e EP (Figura 1). A semeadura em contorno retardou o início da enxurrada, mas, após seu início, aumentou rapidamente. Isto é explicado pelo fato de que os sulcos formaram diques em contorno e, quando cheios de água, romperam-se, ocasionando rápido aumento da enxurrada. A

Quadro 2. Cobertura do solo pela copa das plantas antes dos testes 1, 2, 3 e 4 de chuva simulada durante os ciclos da aveia e ervilhaca e pelos resíduos vegetais das culturas antes do teste 5, em duas direções de semeadura sobre um Cambissolo Húmico

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$					
AP	0,30	0,74	0,89	0,95	1,00
AC	0,31	0,77	0,91	0,95	1,00
EP	0,23	0,56	1,00	1,00	1,00
EC	0,24	0,52	1,00	1,00	1,00

AP: aveia pendente; AC: aveia contorno; EP: ervilhaca pendente; EC: ervilhaca contorno.

Quadro 3. Tempo necessário para o início da enxurrada em duas direções de semeadura e cinco testes de chuva simulada sobre um Cambissolo Húmico

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
			min			
AP	8	8	8	8	26	12
AC	46	37	43	37	34	39
EP	8	8	14	14	25	14
EC	40	35	44	35	35	34

AP: aveia pendente; AC: aveia contorno; EP: ervilhaca pendente; EC: ervilhaca contorno.

importância do conhecimento da taxa máxima de enxurrada está relacionada com a possibilidade de dimensionamento de terraços agrícolas de drenagem, para situações semelhantes aos tratamentos deste experimento. As diferenças de taxa máxima de enxurrada entre os tratamentos foram relativamente grandes, situando-se no intervalo entre 35 mm h^{-1} na AC e 45 mm h^{-1} na AP. A maior taxa máxima de enxurrada na AP é justificada pela facilidade de concentração de água nos sulcos resultantes da semeadura paralelos ao declive. Com o tempo necessário para a enxurrada atingir taxa máxima (tempo de equilíbrio), podem-se calcular a intensidade máxima média de chuva para determinado período de retorno e a taxa máxima de enxurrada e, com isso, dimensionar terraços agrícolas para drenagem da água de enxurrada em determinada região. O tempo de equilíbrio foi longo, porque a provável boa estrutura e a elevada porosidade do solo mantiveram alta a taxa de infiltração de água. O tratamento EP apresentou o menor tempo de equilíbrio (54 min), seguido da EC (58 min), enquanto nos demais tratamentos tal tempo não foi alcançado até o final da chuva. O volume de enxurrada pode subsidiar o planejamento de terraços agrícolas para armazenagem de enxurrada. Neste estudo, o volume de enxurrada estimado pela área sob as curvas do hidrograma variou entre os tratamentos, influenciado pela direção de semeadura e tipo de cultura. O tratamento AC apresentou o menor volume de enxurrada, seguido do EC, em razão do efeito conjunto da direção de semeadura e tipo de cultura, o que influenciou a infiltração de água no solo.

A concentração de sedimentos na enxurrada apresentou ampla variação entre tratamentos, testes de chuva e culturas, com clara tendência de diminuir do teste 1 ao teste 4 (Figura 2). A variação entre tratamentos foi normal devido à influência da direção de semeadura e do tipo de cultura. A tendência de diminuição da concentração de sedimentos na enxurrada, do teste 1 (solo recém-preparado e recém-semeado) ao teste 4 (solo mais consolidado e com as culturas em pleno desenvolvimento), foi devida à sequência de chuvas simuladas aplicadas ao longo do ciclo das culturas. Assim, a quantidade de sedimentos prontamente disponível ao transporte na enxurrada

era expressivamente maior no teste 1, pois os sedimentos que estavam prontamente disponíveis ao transporte neste teste haviam sido transportados na sua quase totalidade nos testes finais. Ainda, o crescimento das culturas (parte aérea e raízes) ao longo do ciclo aumentou a proteção do solo. Dados semelhantes foram observados também por Levien et al. (1990), Mello et al. (2003) e Leite et al. (2004).

A semeadura em contorno reduziu a concentração de sedimentos na enxurrada em 62 % no caso da aveia e em 48 % no caso da ervilhaca, em relação à semeadura em direção à pendente na média dos testes de chuva (Figura 2). A maior eficácia do contorno na aveia do que na ervilhaca na redução desta variável explica-se pela característica da aveia, tanto da parte aérea (maior densidade de colmos) quanto das raízes (fasciculadas e mais densas), concordando com os trabalhos de Dechen et al. (1981), Boni et al. (1994),

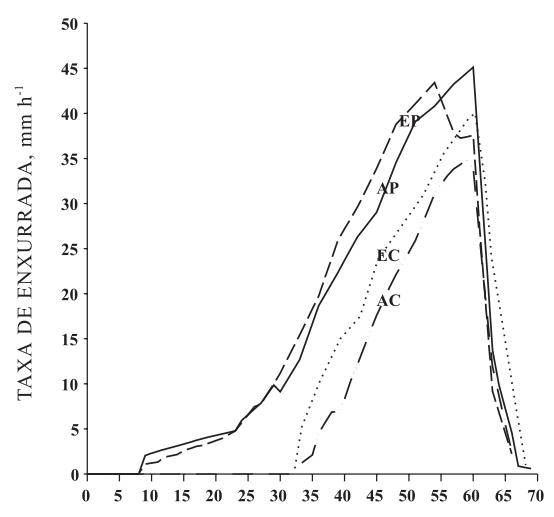


Figura 1. Hidrograma unitário gerado em duas direções de semeadura e dois tipos de cultura sobre um Cambissolo Húmico (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada).
AP: aveia pendente; AC: aveia contorno; EP: ervilhaca pendente; EC: ervilhaca contorno.

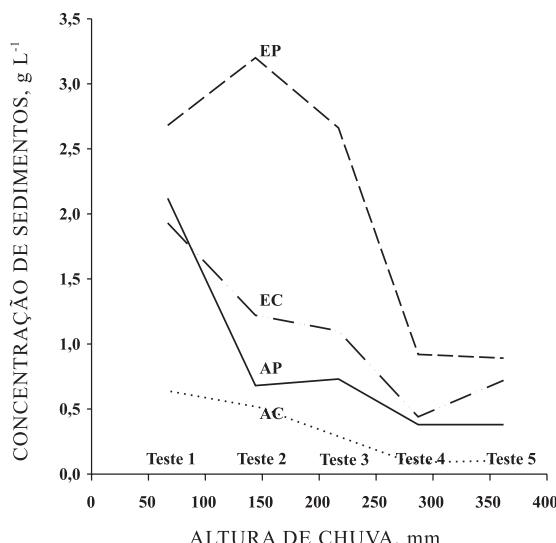


Figura 2. Concentração de sedimentos na enxurrada em duas direções de semeadura, dois tipos de cultura e cinco testes de chuva simulada sobre um Cambissolo Húmico (média de duas repetições). AP: aveia pendente; AC: aveia contorno; EP: ervilhaca pendente; EC: ervilhaca contorno.

Mello et al. (2003) e Leite et al. (2004). Os colmos da aveia proporcionaram maior capacidade de reter sedimentos, e as raízes, maior resistência do solo à desagregação pela ação da enxurrada do que a ervilhaca. Esta diferença acentuou-se nos testes 3 e 4 de chuva, quando as diferenças dessas características morfológicas das plantas se acentuaram devido ao crescimento. Em especial, essa diferença foi maior no teste 5, efetuado já sobre os resíduos culturais deixados no solo. Nesse caso, com cobertura do solo em 100 %, não houve impacto das gotas de chuva sobre o solo, portanto a desagregação de sedimentos deu-se somente pelo fluxo da enxurrada sob a palha, principalmente dentro dos sulcos na semeadura em direção à pendente. Isto justifica a influência da direção dos sulcos na retenção de sedimentos no teste 5 de chuva. Este fato torna importante a direção de semeadura quando a cobertura do solo é de resíduos culturais. A maior eficácia do contorno em relação à pendente em ambas as culturas explica-se pelo efeito positivo dos sulcos em reter sedimentos em relação aos sulcos na direção da pendente, conforme resultados encontrados também por Silva et al. (1986), Cogo et al. (2007) e Luciano (2008).

As perdas de água na forma de enxurrada foram influenciadas pelos tratamentos e pelas culturas durante seu ciclo (Quadro 4), de acordo com o que constataram também Silva et al. (1986), Cogo et al. (2007) e Luciano (2008). A semeadura na direção da pendente apresentou maior volume de enxurrada do que em contorno, em ambos os cultivos e testes de chuva.

No cultivo da aveia, a enxurrada na direção da pendente foi 9 % maior do que em contorno, enquanto na ervilhaca essa diferença foi de 12 %, em relação ao volume de chuva, na média dos testes. Considerando a direção da pendente, a cultura e o teste de chuva, as perdas de água apresentaram variação relativamente grande, entre 9 % (ervilhaca contorno nos testes 1 e 3) e 41 % (aveia pendente no teste 5) em relação ao volume de chuva, ou seja, uma variação de 4,5 vezes. Os diversos tratamentos diferiram em relação ao volume de enxurrada entre os testes de chuva. Este comportamento foi influenciado principalmente pelo teor de água no solo antecedente à chuva, pelo tipo e crescimento das culturas e pela consolidação do solo, combinadamente, como constatado também por Silva et al. (1986) e Cogo et al. (2007).

As perdas de solo diferiram amplamente com a direção de semeadura, com a cultura e com o teste de chuva, as quais variaram entre 0,036 Mg ha⁻¹ (aveia contorno no teste 4) e 0,462 Mg ha⁻¹ (ervilhaca pendente no teste 2) (Quadro 4). Tal variação foi de 12,8 vezes, portanto muito superior àquela verificada para o caso das perdas de água (4,5 vezes). A semeadura em contorno reduziu as perdas de solo em 12 % na aveia e em 56 % na ervilhaca, em relação à semeadura em direção à pendente, na média dos testes de chuva. Na média das culturas e dos testes, a redução das perdas de solo no contorno em relação à pendente foi de 43 %, portanto semelhante à redução verificada por Wischmeier & Smith (1978) e utilizada na formulação do modelo Equação Universal de Perda de Solo (USLE). A menor perda de solo no contorno explica-se pela influência dos sulcos que, em contorno, armazenaram sedimentos. No caso da aveia, este efeito foi também devido aos colmos das plantas, os quais, dispostos em contorno, dissiparam a energia da enxurrada e ocasionaram a deposição dos sedimentos por ela transportados. Além disso, o crescimento do sistema radicular, principalmente da aveia (gramínea), aumentou no solo sua resistência à desagregação pela enxurrada, promovendo maior resistência do solo à erosão hidrálica, em relação à ervilhaca (leguminosa). Por isso, o tratamento AC apresentou maior eficácia no controle das perdas de solo do que o EC, com exceção do teste 1 de chuva. Resultados iguais foram obtidos por Luciano (2008), trabalhando com as mesmas culturas.

Houve clara tendência de diminuir as perdas de solo do teste 1 ao teste 4 (Quadro 4), de acordo com o que ocorreu principalmente com a concentração de sedimentos na enxurrada (Figura 2), explicado do mesmo modo como fora feito para a concentração de sedimentos. Essa tendência também foi observada por Levien et al. (1990), trabalhando com a cultura do milho. Do teste 4 (realizado sobre as culturas em pleno florescimento) para o 5 (realizado sobre os resíduos culturais), as perdas de solo apresentam tendência de aumento em todos os tratamentos, o que não é normal, devido à completa cobertura do solo pelos resíduos no teste 5. No entanto, essa tendência é

explicada: no caso da aveia, isso ocorreu principalmente devido ao aumento de perda de água na forma de enxurrada no teste 5 (Quadro 4), enquanto, no caso da ervilhaca, especialmente em contorno, foi devido ao aumento da concentração de sedimentos na enxurrada neste teste (Figura 2).

As perdas acumuladas de solo aumentaram com o aumento do volume acumulado de chuva (Figura 3), explicadas pelo efeito conjunto da concentração de sedimentos na enxurrada e volume de enxurrada. Este tipo de crescimento das perdas acumuladas de solo se deve ao fato de que as taxas de perda de solo decresceram do teste 1 ao teste 4 de chuva. O valor de R^2 (0,99) indica que praticamente 100 % das perdas de solo dependeram do volume de chuva nos testes de chuva simulada realizados. Ao relacionarem-se as

perdas acumuladas de solo com a erosividade (EI_{30}) acumulada das chuvas simuladas, verifica-se que o mesmo modelo utilizado na figura 3 ajustou-se aos dados na figura 4, com o mesmo valor de R^2 . A erosividade é função das características físicas da chuva, especialmente de sua intensidade e quantidade, as quais determinam sua energia cinética total (Wischmeier & Smith, 1978). As chuvas simuladas apresentaram intensidade constante ao longo de sua duração e, por isso, a relação das perdas de solo com o volume (Figura 3) e com a erosividade (Figura 4) das chuvas teve o mesmo tipo de comportamento. Portanto, em trabalhos dessa natureza, é possível utilizar tanto a lâmina de chuva quanto a erosividade para predizer as perdas de solo, utilizando o mesmo modelo empírico aqui utilizado.

Quadro 4. Perdas de água e solo em duas direções de semeadura e cinco testes de chuva simulada sobre um Cambissolo Húmico

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
Perdas de água, % da chuva						
AP	22	34	16	28	41	28
AC	10	17	10	25	33	19
EP	23	25	19	30	28	25
EC	9	14	9	16	15	13
Perdas de solo, Mg ha ⁻¹						
AP	0,291	0,129	0,048	0,046	0,082	0,119
AC	0,222	0,144	0,065	0,036	0,057	0,105
EP	0,340	0,462	0,288	0,159	0,179	0,289
EC	0,216	0,154	0,090	0,076	0,099	0,127

AP: aveia pendente; AC: aveia contorno; EP: ervilhaca pendente; EC: ervilhaca contorno.

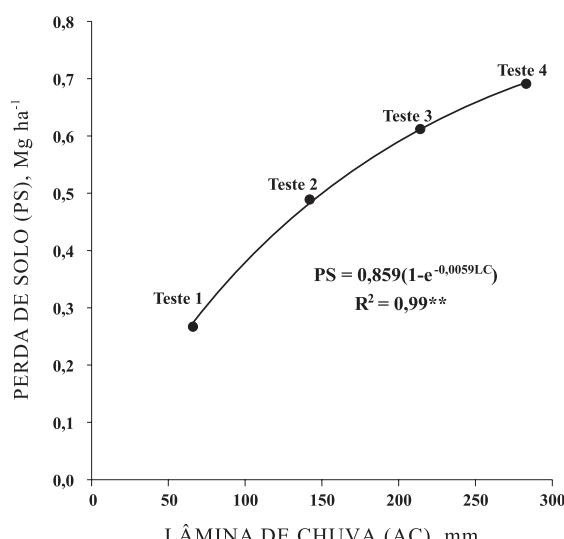


Figura 3. Relação da perda de solo (PS) acumulada com a lâmina de chuva (LC) acumulada do teste 1 ao teste 4, sobre um Cambissolo Húmico.

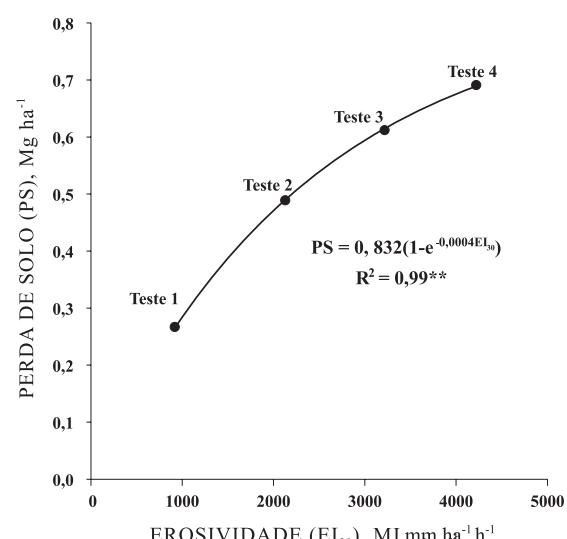


Figura 4. Relação da perda de solo (PS) acumulada com a erosividade (EI₃₀) da chuva, acumulada do teste 1 ao teste 4, sobre um Cambissolo Húmico.

CONCLUSÕES

1. A cobertura do solo pelo dossel vegetativo das plantas foi maior na aveia do que na ervilhaca até o teste 2 de chuva simulada e maior na ervilhaca nos testes 3 e 4, não tendo variado com a direção de semeadura das culturas. A cobertura aumentou do início ao final do período de cultivo.

2. O tempo necessário para início da enxurrada foi maior na semeadura em contorno do que na semeadura em direção à pendente, nas culturas de aveia e ervilhaca. O contorno apresentou também menor taxa máxima de enxurrada e maior tempo necessário para a enxurrada atingir taxa máxima do que a pendente.

3. A concentração de sedimentos na enxurrada diminuiu ao longo dos testes de chuva, tendo sido menor na aveia do que na ervilhaca; a referida concentração foi 52 % menor na semeadura em contorno do que na direção da pendente.

4. As perdas de solo diminuíram ao longo dos testes de chuva realizados durante o período vegetativo da aveia e ervilhaca. Tais perdas na semeadura em contorno foram 12 % menores na aveia e 56 % menores na ervilhaca do que na pendente; as perdas de água apresentaram o mesmo comportamento das perdas de solo, porém, com diferenças de menor magnitude.

5. As perdas acumuladas de solo aumentaram com o volume e a erosividade acumulada das chuvas simuladas entre o teste 1 e o teste 4.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, J.E. & ARKIN, G.F. A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:789-792, 1977.
- BALDISSERA, I.T. Condições físicas de um solo Terra Roxa Estruturada distrófica na Encosta Basáltica do Rio Grande do Sul sob diferentes manejos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 89p. (Tese de Mestrado)
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:187-192, 1987.
- BONI, N.R.; ESPINDOLA, C.R. & GUIMARÃES, E.C. Uso de leguminosas na recuperação de um solo decapitado. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL "RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS", 2., Foz do Iguaçu, 1994. Anais. Foz do Iguaçu, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.563-568.
- 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)
- COGO, N.P.; PORTELA, J.C.; AMARAL, A.J.; TREIN, C.R.; GILLES, L.; BAGATINI, T. & CHAGAS, J.P. Erosão e escoamento superficial em semeadura direta efetuada com máquina provida de hastes sulcadoras, influenciados pela direção da operação de semeadura e pela cobertura superficial do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007. Resumos. Gramado, 2007. CD-ROM.
- DECHEM, S.L.F.; LOMBARDI NETO, F. & CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:133-137, 1981.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção e Informação, 1999.
- FORSYTHE, W. Física de suelos: Manual de laboratório. San José, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. 209p.
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J. & RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I- Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:1033-1044, 2004.
- LEVIEN, R.; COGO, N.P. & ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:73-80, 1990.
- LUCIANO, R.V. Erosão hídrica em três formas de semeadura de aveia e ervilhaca em um Cambissolo Húmico. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2008. 83p. (Dissertação de Mestrado)
- MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:901-909, 2003.
- MEYER, L.D. An investigation of methods for simulating rainfall on standard runoff plots and study of the drop size, velocity, and kinetic energy of selected spray nozzles. West Lafayette, USDA – ARS – SWCRD – ESWMRB and Purdue University, 1958. 43p. (Special Report, 81)
- SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P.; CAMPOS FILHO, O.R. & OLIVEIRA, F.A.P. Efeito de diferentes coberturas e de práticas conservacionistas no controle da erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:289-292, 1986.
- SWANSON, N.P. Suggestions for use the rotating-boom field plot rainfall simulator to obtain data for application of the soil loss equation. Paraná - Entre Ríos, Argentina, FAO, Nebraska University, 1975. 6p. (Relatório de Consultoria)
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)