

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## PROPORÇÃO E TAMANHO DE SEDIMENTOS E TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NA ENXURRADA E NO SOLO PARA DOIS CULTIVOS E DUAS FORMAS DE SEMEADURA<sup>(1)</sup>

Fabício Tondello Barbosa<sup>(2)</sup>, Ildegardis Bertol<sup>(3)</sup>, Rodrigo Vieira Luciano<sup>(4)</sup> & Jorge Paz-Ferreiro<sup>(5)</sup>

### RESUMO

O tipo de cultura e a orientação de semeadura em relação ao declive do terreno podem modificar a proporção e o tamanho dos sedimentos transportados na enxurrada, além da relação do teor de C orgânico nos sedimentos e no solo erodido. Este trabalho teve o objetivo de determinar a proporção e o tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada sob taxa constante desta e o teor de C orgânico contido nos sedimentos e no solo erodido, sob duas formas de semeadura das culturas de aveia e ervilhaca. Quatro testes de chuva simulada foram aplicados entre março e novembro de 2006, durante o ciclo vegetativo das culturas, com intensidade constante de 64 mm h<sup>-1</sup> e 1 h de duração de cada teste, em Lages, SC, num Cambissolo Húmico com declividade média de 11,9 cm m<sup>-1</sup>. Os tratamentos eram formados pela combinação de duas culturas e duas orientações de semeadura em relação ao declive. As culturas utilizadas foram aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*); as formas de semeadura eram: mecanizada em linhas em contorno ao declive e mecanizada em linhas paralelas ao declive (morro abaixo). As amostras de enxurrada para a coleta dos sedimentos foram obtidas sob taxa constante de enxurrada, aos 50 min de duração de cada teste de chuva. A aveia reduziu a quantidade de sedimentos na enxurrada em 46 % em relação à ervilhaca, e a semeadura em contorno, em 56 % em relação à semeadura morro abaixo. A proporção de sedimentos na enxurrada foi diminuída em 63 % entre o início e o final do ciclo das culturas. Na classe de menor tamanho dos sedimentos ( $\leq 0,038$  mm), a aveia aumentou sua proporção em 17 % em relação à ervilhaca, e o contorno os aumentou em 10 % em relação à semeadura morro abaixo. O índice

---

<sup>(1)</sup> Trabalho com apoio financeiro da UDESC e CNPq. Recebido para publicação em outubro de 2009 e aprovado em agosto de 2010.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC. Av. Luis de Camões 2090, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a6ftb@cav.udesc.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos e Recursos Naturais, CAV/UDESC. Bolsista PQ do CNPq, E-mail: a2ib@cav.udesc.br

<sup>(4)</sup> Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo, CAV/UDESC. E-mail: agro.luciano@gmail.com

<sup>(5)</sup> Facultad de Ciencias, Universidad da Coruña, La Coruña, Espanha. E-mail: jpaz@udc.es

**D<sub>50</sub> dos sedimentos presentes na enxurrada foi de 0,043 mm na aveia e 0,119 mm na ervilhaca, e de 0,047 mm na semeadura em contorno e 0,117 mm na semeadura morro abaixo. A razão entre o teor de C orgânico dos sedimentos transportados pela enxurrada e o teor de C do solo na camada de 0–2,5 cm foi de 1,39 na aveia e 1,21 na ervilhaca, e de 1,43 na semeadura em contorno e 1,17 na semeadura morro abaixo.**

**Termos de indexação: erosão, perda de solo, enxurrada, sistema de cultivo.**

**SUMMARY: SEDIMENT SIZE AND ORGANIC CARBON CONTENT IN RUNOFF AND SOIL UNDER TWO CROPS AND TWO SEED ROW DIRECTIONS**

*The crop type and seed row direction in relation to the land slope can modify the total amount and size of runoff-transported sediment. They may alter the relation between organic carbon levels in the sediments and the eroded soil. The current study aimed to quantify the sediment size and proportion transported at constant runoff rate and the organic carbon level in the sediments and the eroded soil, under oat and vetch sown in two row directions. Four simulated rainfalls were applied between March and November 2006, during the crop cycle, at a constant intensity of 64 mm h<sup>-1</sup> for one hour, in Lages, Santa Catarina, Brazil, to an Inceptisol with a slope of 0.119 m m<sup>-1</sup>. The treatments consisted of the combination of two crops and two seed row directions in relation to the slope. Oat (*Avena strigosa*) and vetch (*Vicia sativa*) were sown mechanically in parallel downhill rows and contour rows of the slope. Runoff sediment was sampled in a set of sieves that collected the constant rate runoff flow for 50 min during each rain test. Oat cropping decreased the amount of runoff-transported sediment by 46 % in comparison to vetch cropping and the contour seed row reduced this by 56 % in relation to downhill seed row. The proportion of sediments in runoff decreased 63 % from the start to the end of the crop cycle. The proportion of the fine size sediment class ( $\leq 0.038$  mm) was 17 % higher under oat than vetch, and the contour seed row increased the proportion by 10 % in comparison with the downhill seed row. The D<sub>50</sub> sediment index in runoff was 0.043 mm in oat and 0.119 mm in vetch; it reached 0.047 mm in the contour and 0.117 mm in the downhill seed rows. The ratio between organic carbon level in sediments and in the 0–2.5 cm soil layer was 1.39 in oat, 1.21 in vetch, 1.43 in the contour and 1.17 in downhill seed rows.*

*Index terms: erosion, soil loss, runoff, crop system.*

## INTRODUÇÃO

O manejo do solo compreende as operações que são desenvolvidas com o fim de criar condições favoráveis à produção das culturas. O manejo das culturas, por outro lado, compreende a maneira como as culturas são semeadas e manejadas durante o seu ciclo. A semeadura constitui-se numa importante operação de manejo do solo, em especial na semeadura direta, podendo ser realizada de várias formas e, por isso, influenciar a erosão hídrica (Quinton & Catt, 2004; Luciano et al., 2009). Em decorrência disso, a forma de semeadura pode modificar também o teor de C orgânico contido nos sedimentos produzidos pelo escoamento superficial nas áreas agrícolas (Schick et al., 2000; Barbosa, 2008). Distintos tamanhos de sedimentos na enxurrada diferem na quantidade de C orgânico (Bertol et al., 2007) e, por isso, tais sedimentos podem apresentar distintos potenciais de contaminação do ambiente fora do local erodido.

A forma de semeadura das culturas influencia fortemente o comportamento do escoamento superficial e, conseqüentemente, da erosão hídrica. A semeadura efetuada na direção paralela ao sentido do declive do terreno facilita o escoamento superficial em relação à semeadura em contorno no declive. Os sulcos deixados pela semeadora canalizam a água da enxurrada e esta, com maior energia, desagrega e transporta maior quantidade de sedimentos do que os sulcos em contorno no declive (Quinton & Catt, 2004; Bertoni & Lombardi Neto, 2005; Luciano et al., 2009). Em decorrência da maior energia, o escoamento pelos sulcos paralelos ao sentido do declive pode transportar também sedimentos de maior tamanho do que em contorno no declive do terreno. Esse fato tem relação também com a forma de rugosidade superficial resultante do tipo de semeadura, ou seja: a rugosidade orientada nas direções paralela e transversal ao declive, que ocorre na semeadura morro abaixo e em contorno, respectivamente, resulta em distintas condições de

superfície do solo. Isso efetivamente influencia o escoamento superficial e a erosão hídrica (Bertol et al., 2007) e, em especial, a quantidade e o tamanho dos sedimentos transportados (Cogo et al., 1983).

O preparo do solo efetuado antes e, ou, após a semeadura altera algumas de suas características físicas, devido ao efeito mecânico dos implementos, e, com isso, influencia a erosão hídrica (Bertol et al., 2007). O manejo do solo em que se utiliza o arado e a grade para o seu preparo, por exemplo, pode resultar numa condição de degradação da estrutura, ou seja, desagregação na superfície e compactação abaixo dela (Amado et al., 2007). Por sua vez, o não revolvimento mecânico do solo com arado e grade pode resultar em melhor condição física na superfície, sem grandes modificações abaixo dela, como é o caso da semeadura direta (Eltz et al., 1989). Como consequência, nesse sistema de manejo ocorre aumento de densidade do solo, além da manutenção de resíduos vegetais, que aumentam o teor de matéria orgânica na superfície.

Diferentes cultivos resultam em distintas condições físicas do solo. Essas condições são determinadas pela diversidade natural que existe entre as plantas, tanto no sistema radicular quanto na parte aérea, e pela forma de mecanização do solo durante a operação de semeadura, no caso da semeadura direta. As gramíneas possuem a característica de serem mais eficazes do que as leguminosas na redução da erosão hídrica (Luciano et al., 2009).

O fluxo de água concentrado nos sulcos de erosão apresenta maior tensão cisalhante e, por isso, maior capacidade de desagregação e transporte de sedimentos do que o fluxo de água superficial distribuído nas áreas entre sulcos, o qual tem baixa energia de desagregação e transporte de sedimentos (Gabriels & Moldenhauer, 1978; Foster, 1982; Lu et al., 1989). A erosão em sulcos é mais importante em solo sem cultivo e desagregado pelo preparo mecânico contínuo. Neste, a superfície é mais sujeita ao sulcamento pela enxurrada do que em solo cultivado e adensado, no

qual a superfície é mais densa e resistente ao sulcamento, devido ao efeito positivo das culturas (Foster, 1982).

O objetivo deste trabalho foi determinar a quantidade e o tamanho de sedimentos transportados pela enxurrada e o teor de C orgânico contido em tais sedimentos quando a enxurrada se encontrava sob taxa constante de fluxo, em duas formas de semeadura das culturas de aveia e ervilhaca.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em campo, entre março e novembro de 2006, em um solo Cambissolo Húmico aluminico léptico (Embrapa, 1999). A área experimental está localizada em Lages, SC, Brasil, a 27° 46' 57" de latitude sul e 50° 18' 20" longitude oeste de Greenwich, a uma altitude média de 937 m, com clima Cfb do tipo subtropical úmido (Köppen). O solo no local do experimento apresenta 271 g kg<sup>-1</sup> de argila total; 76 g kg<sup>-1</sup> de argila dispersa em água; 493 g kg<sup>-1</sup> de silte; 39 g kg<sup>-1</sup> de areia grossa; 197 g kg<sup>-1</sup> de areia fina; e 27 g kg<sup>-1</sup> de C orgânico no horizonte A. Na camada de 0–2,5 cm do solo, o teor de C orgânico é de 31 g kg<sup>-1</sup> (Luciano, 2008).

O terreno da área experimental inicialmente estava coberto com campo 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 do solo com a incorporação de 15 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT = 80 %), por meio de uma operação com arado e duas com grade.

A pesquisa, sob condições de chuva simulada, foi realizada com auxílio de um aparelho simulador de chuvas de braços rotativos (Swanson, 1965), que cobria simultaneamente duas parcelas experimentais (Figura 1), distanciadas de 3,5 m entre si, com o qual eram aplicadas chuvas de intensidade constante.



Figura 1. Aparelho simulador de chuvas de braços rotativos tipo Swanson em operação.

A unidade experimental era constituída de uma parcela com dimensões de 3,5 m de largura por 11,0 m de comprimento paralelo ao sentido do declive. Cada parcela era limitada na extremidade superior e nas laterais por chapas galvanizadas com 20 cm de altura, cravadas a 10 cm no solo. Na extremidade inferior encontrava-se uma calha coletora da enxurrada, conectada a um tubo de PVC que conduzia a enxurrada até o local de coleta, 6 m abaixo deste. Utilizaram-se oito parcelas, compreendendo quatro tratamentos com duas repetições, cuja declividade média era de 11,9 cm m<sup>-1</sup>, variando de 8,8 a 14,9 cm m<sup>-1</sup>.

Em maio de 2006, foram semeadas aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*), em contorno e na direção da pendente, em duas repetições. As parcelas foram distribuídas inteiramente ao acaso, totalizando oito unidades experimentais: semeadura mecanizada de aveia em linhas paralelas ao declive (AD); semeadura mecanizada de aveia em linhas em contorno no declive (AC); semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas paralelas ao declive (ED); e semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas em contorno no declive (EC). A semeadora foi regulada para sulcar o solo na profundidade de 4 cm. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 20 cm. Os tratamentos apresentavam apenas duas repetições, como normalmente é feito em todo o mundo nesse tipo de experimento, devido às dificuldades de operacionalização em campo, relacionadas à natureza do trabalho.

O solo foi adubado, sendo os fertilizantes incorporados por meio de uma grade niveladora um dia antes da operação de semeadura. Foram aplicadas as doses de 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no solo cultivado com aveia; e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no solo cultivado com ervilhaca, nas formas de superfosfato triplo e cloreto de K, respectivamente. No solo cultivado com aveia, aplicaram-se ainda 15 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia em cobertura antes da aplicação do primeiro teste de chuva simulada.

Durante o ciclo vegetativo das culturas, aplicaram-se quatro testes de chuva simulada, na seguinte sequência: o primeiro foi aplicado 30 d após a semeadura das culturas, e os testes 2, 3 e 4, aplicados, respectivamente, aos 70, 105 e 110 d após a semeadura. As chuvas aplicadas tinham duração de 1 h e apresentaram variações em altura, intensidade e erosividade entre chuvas (Quadro 1). Pelo fato de a duração de chuva aplicada em todos os testes ter sido de 1 h, a intensidade e a altura das chuvas são representadas pelo mesmo valor numérico no quadro 1. A erosividade (EI<sub>30</sub>) das chuvas simuladas foi calculada com base no método proposto por Meyer (1958). Imediatamente antes das chuvas simuladas, eram coletadas amostras do solo, na camada de 0–2,5 cm, para posterior determinação do C orgânico por combustão a úmido, conforme método indicado por Tedesco et al. (1995).

**Quadro 1. Altura, intensidade e erosividade das chuvas simuladas aplicadas, com duração de uma hora**

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Total
Altura (mm); Intensidade (mm h <sup>-1</sup> )					
AD	63	67	63	63	256
AC	58	77	70	66	271
ED	67	76	76	72	291
EC	76	84	79	76	315
Erosividade (EI <sub>30</sub> , MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					
AD	827	935	827	827	3.416
AC	701	1.235	1.021	907	3.864
ED	935	1.203	1.203	1.080	4.421
EC	1.203	1.470	1.300	1.203	5.176

AD: aveia no sentido paralelo ao declive; AC: aveia em contorno no declive; ED: ervilhaca no sentido paralelo ao declive; EC: ervilhaca em contorno no declive.

Os sedimentos transportados pela enxurrada foram coletados aos 50 min de duração de cada chuva simulada, seguindo o critério recomendado por Cogo et al. (1983) para esse tipo de estudo. Esse critério foi utilizado porque, nesse momento, a vazão do escoamento superficial estava sob taxa constante. Nesse momento, a taxa de erosão não era influenciada pela variação da taxa de descarga que ocorria antes de esta atingir taxa constante, conforme verificado por Bertol et al. (1989). Para a coleta, foi utilizado um conjunto de peneiras com aberturas de malha de 4,75; 2; 1; e 0,25 mm. Essas peneiras foram colocadas, nessa ordem, sobre um recipiente com capacidade de 2,5 L e o conjunto todo posicionado sob o fluxo até completo preenchimento do referido recipiente. O conteúdo do recipiente, em laboratório, foi passado através de novo conjunto de peneiras, com aberturas de malha de 0,125; 0,053; e 0,038 mm, colocado sobre outro recipiente. Assim, obtiveram-se os seguintes tamanhos de sedimentos: > 4,75; 2 a 4,75; 1 a 2; 0,25 a 1; 0,125 a 0,25; 0,053 a 0,125; 0,038 a 0,053; e ≤ 0,038 mm. A distribuição do tamanho de sedimentos foi calculada pela relação da massa de sedimentos contida em cada peneira pela massa total de sedimentos coletados no conjunto das peneiras. Assim, os sedimentos transportados pela enxurrada e retidos nas peneiras foram expressos na forma relativa. Utilizando um procedimento semelhante ao adotado por Gilley et al. (1987), calculou-se o índice D<sub>50</sub> dos sedimentos. O D<sub>50</sub> dos sedimentos contidos na enxurrada é um valor numérico em que 50 % da massa dos sedimentos apresenta tamanho maior do que esse valor numérico e os outros 50 % da massa dos sedimentos apresentam tamanho menor do que o valor numérico do D<sub>50</sub>.

Os sedimentos distribuídos nas oito classes recém-descritas e nas duas repetições dos tratamentos foram juntados uns aos outros, de modo a se ter uma repetição e a se estabelecerem quatro classes de tamanho: > 2; 0,25 a 2; 0,053 a 0,25; e ≤ 0,053 mm.

Esse procedimento foi adotado para análise do C orgânico, devido à pequena quantidade de sedimentos provenientes de cada uma das repetições e de cada uma das oito classes de tamanho disponível para análise. Por isso, não se efetuou a análise estatística para essa característica. Nesses sedimentos determinou-se o teor de C orgânico pelo mesmo procedimento adotado para o C orgânico do solo. Com os dados de teor de C calculou-se a relação entre o C orgânico dos sedimentos e o da camada de 0–2,5 cm do solo de origem dos sedimentos.

Os dados de distribuição de tamanho dos sedimentos, em porcentagem, foram transformados por  $\arcsen\sqrt{x/100}$ , com o objetivo de normalizar os dados, e submetidos à análise de variância. Na análise de variância dos dados de sedimentos utilizou-se a massa, porém os resultados foram expressos na forma relativa, em que o maior valor foi considerado 100 %, e os demais, proporcionais a este. Quanto à análise de variância da massa de sedimentos transportados na enxurrada, utilizou-se esquema fatorial 2 (forma de semeadura) x 2 (tipo de cultura) x 4 (teste de chuva). Para análise de variância da distribuição de tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada, utilizou-se esquema fatorial 2 (forma de semeadura) x 2 (tipo de cultura) x 8 (tamanho dos sedimentos). Realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 % para os testes de chuva e, para as culturas e formas de semeadura, pelo teste F a 5 %.

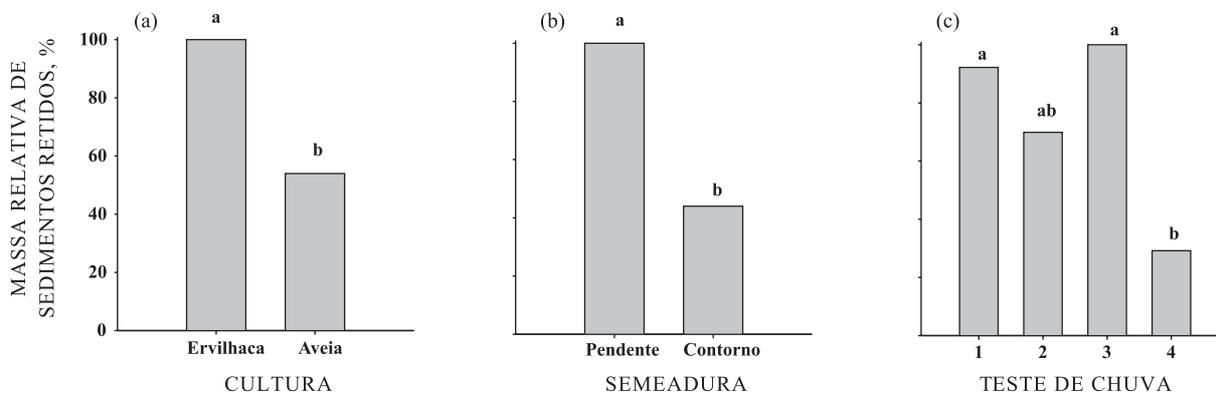
**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**Massa relativa de sedimentos transportados na enxurrada**

A massa relativa de sedimentos transportados pela enxurrada e retidos nas peneiras foi influenciada pelo tipo de cultura, pela forma de semeadura e pelo teste de chuva simulada (Figura 2). A enxurrada proveniente do cultivo de aveia produziu menor porcentagem de

sedimentos do que a ervilhaca, sendo essa redução de 46 % (Figura 2a). Isso evidencia que a cultura de aveia é mais eficaz do que a de ervilhaca na filtragem de sedimentos e, conseqüentemente, no controle das perdas de solo. Segundo Luciano et al. (2009), as raízes de aveia melhoram a agregação do solo na zona radicular da planta e, com isso, aumentam a resistência do solo à desagregação e transporte pela enxurrada em relação à ervilhaca. A melhoria da estrutura do solo aumenta a infiltração de água e reduz o volume e a velocidade do escoamento superficial. Isso resulta em diminuição da carga de sedimentos no fluxo proveniente dessa cultura, em relação àquela proveniente da ervilhaca. Segundo observações feitas por esses autores, a aveia, por ser uma gramínea, apresenta crescimento vegetativo mais rápido no início do ciclo do que a ervilhaca, por ser uma leguminosa. Além disso, a aveia apresenta alta capacidade de perfilhamento dos colmos, o que rapidamente aumenta a proteção do solo contra a energia cinética da chuva, pela parte aérea da cultura.

Quanto à forma de semeadura, aquela realizada em contorno ao declive reduziu em 56 % a massa de sedimentos retidos nas peneiras, comparada à semeadura realizada paralela ao sentido do declive (Figura 2b). No cultivo em contorno, as fileiras das plantas, os sulcos formados pela semeadora e as marcas dos pneus formadas pelo rodado do trator na superfície do solo, em sentido oposto ao declive, formaram obstáculos contra o percurso livre da enxurrada. Isso diminuiu a velocidade do fluxo superficial e a sua capacidade de arrastamento de sedimentos. Além disso, uma parte dos sedimentos transportados pelo escoamento foi depositada nos sulcos e outra foi retida pelos colmos das plantas. Eficiência semelhante da semeadura em contorno, na retenção de sedimentos, foi constatada por Bertoni & Lombardi Neto (2005), em que, comparando as duas orientações de semeadura, o contorno reduziu em 50 % as perdas de solo. Conforme observado por esses autores e por Luciano et al. (2009), na semeadura paralela ao



**Figura 2. Massa relativa de sedimentos retidos nas peneiras, sob taxa constante de enxurrada: (a) cultura de ervilhaca e aveia; (b) semeadura no sentido paralelo ao declive e em contorno no declive; c) teste de chuva simulada. Médias sucedidas por mesma letra não diferem pelo teste F (a e b) e pelo teste de Tukey (c) a 5 % (aplicável para teste de chuva). Não houve interação entre as variáveis, por análise de variância a 5 %. CV = 38 %.**

sentido do declive a enxurrada concentra-se nos sulcos e aumenta o transporte de sedimentos.

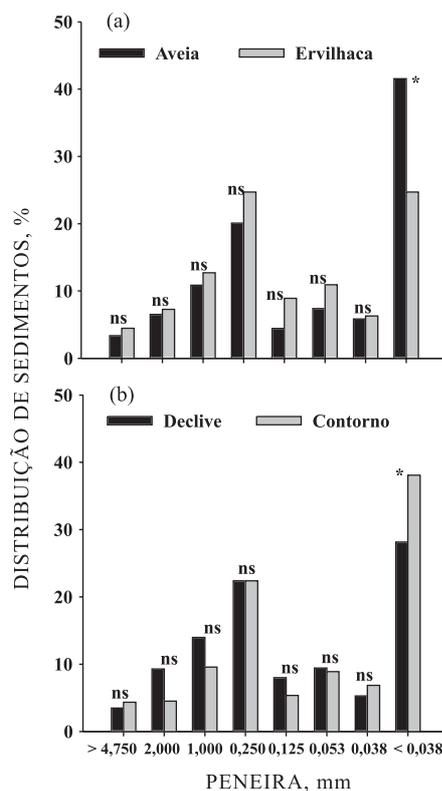
Nos testes de chuva simulada, a massa relativa de sedimentos presentes no fluxo diminuiu do início para o final do ciclo das culturas, tendo sido, no último teste, 63 % menor do que no primeiro (Figura 2c). Parte disso deve-se ao revolvimento do solo antes da implantação das culturas. Com isso, a percentagem de sedimentos prontamente disponíveis ao transporte pela enxurrada era maior no início do ciclo, logo após o preparo, do que ao final, quando os sedimentos já haviam sido transportados em sua maior parte. Outro fator que contribuiu para a redução da carga de sedimentos na enxurrada ao longo do ciclo das culturas foi o efeito das plantas. O desenvolvimento das plantas de aveia e ervilhaca no tempo aumentou a proteção da superfície do solo (parte aérea) e a densidade do solo (raízes) e, conseqüentemente, reduziu a carga de sedimentos no escoamento. Comportamento semelhante foi observado por Leite et al. (2004) trabalhando com os cultivos de milho e feijão em Nitossolo e, no mesmo solo sob cultivo de soja, por Engel et al. (2007), ambos sob chuva simulada.

### Distribuição de tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada

A distribuição de tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada variou entre as classes de tamanho, sendo influenciada pelo tipo de cultura e pela forma de semeadura (Figura 3). Houve aumento na frequência dos sedimentos com a diminuição de tamanho destes até a classe de 0,25 mm; nas classes de menor tamanho, a frequência de ocorrência dos sedimentos diminuiu, aumentando na classe de tamanho  $\leq 0,038$  mm. Essa tendência ocorreu tanto para o tipo de cultura quanto para a forma de semeadura. Parte da justificativa para essas tendências está no fato de que a distribuição de tamanho dos sedimentos está associada às características intrínsecas do solo, conforme destacado por Defersha et al. (2010). Trabalhando com três tipos de Latossolo, sob chuva simulada com intensidade de  $88 \text{ mm h}^{-1}$  durante 90 min, esses autores encontraram diferenças na distribuição de tamanho de sedimentos erodidos entre os solos. Eles atribuíram os resultados às diferenças de grau de estruturação, de textura e de mineralogia dos solos, cujos atributos interferiram na desagregação e no transporte dos sedimentos. Outra parte da justificativa para essas tendências está relacionada com as características da chuva aplicada, conforme observado por Foster (1981), especialmente a intensidade e duração. Essas características influenciam a altura de chuva e o volume e velocidade da enxurrada e a sua energia de transporte dos sedimentos, modificando a distribuição destes na enxurrada.

A forma de semeadura e o tipo de cultura apresentaram diferenças significativas quanto à percentagem de sedimentos na menor classe ( $\leq 0,038$  mm). No solo cultivado com aveia, 42 % dos

sedimentos encontravam-se nessa classe de tamanho e, no solo cultivado com ervilhaca, 25 %. Portanto, para o solo cultivado com aveia, a proporção de sedimentos de tamanho  $\leq 0,038$  mm foi 17 % maior do que no solo cultivado com ervilhaca. Assim, no tratamento aveia percebe-se mais claramente o aumento de sedimentos nesta classe de tamanho, já que, nas demais, os valores foram ligeiramente menores neste tratamento do que no tratamento com ervilhaca (Figura 3a). A cultura da aveia apresenta maior densidade de colmos do que a de ervilhaca; por isso, a aveia é mais eficaz na filtragem de sedimentos mais grosseiros, deixando passar preferencialmente os sedimentos de menor tamanho, aumentando a proporção de sedimentos menores em relação à ervilhaca. Distintas distribuições de tamanho de sedimentos transportados pela enxurrada foram verificadas também por Leite et al. (2004), o que demonstra que efetivamente as diferentes culturas apresentam distintas capacidades para filtrar sedimentos transportados pela enxurrada.



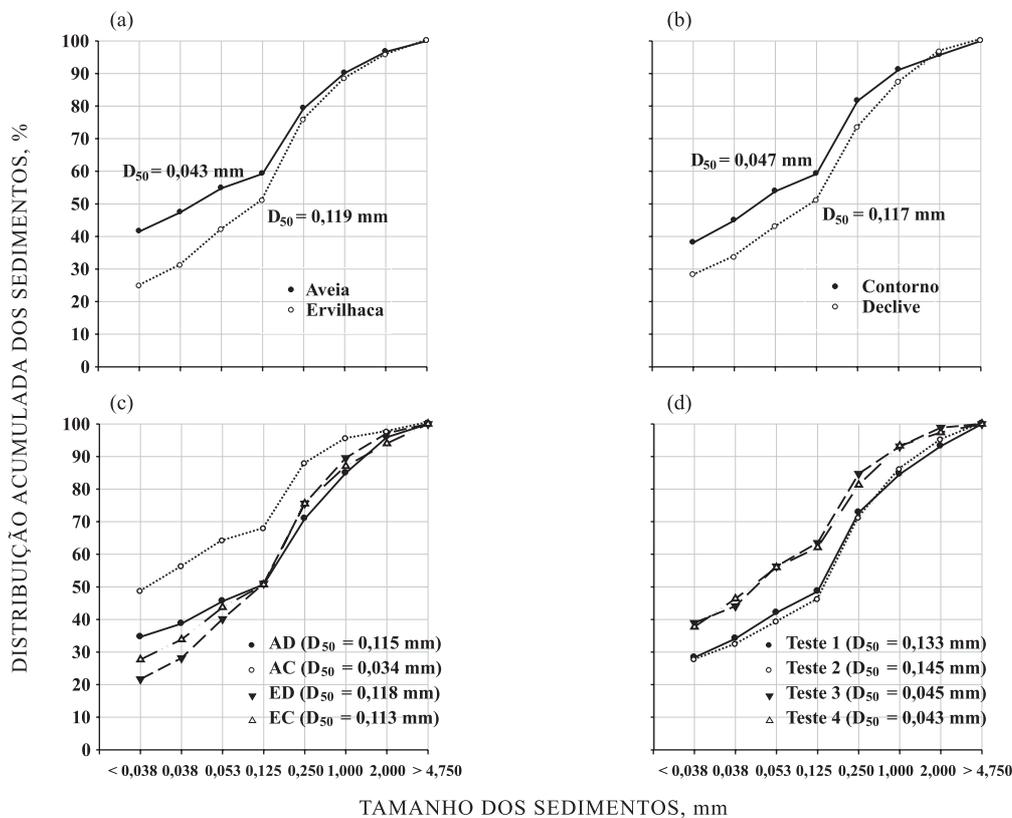
**Figura 3. Distribuição relativa dos sedimentos transportados pela enxurrada: (a) cultura de aveia e ervilhaca; (b) semeadura no sentido paralelo ao declive e em contorno no declive. Efeito dentro de cada peneira: (ns) não significativo; (\*) significativo pelo teste F a 5 %. Houve interação significativa entre os fatores tipo de cultura e peneira e entre forma de semeadura e peneira, por análise de variância a 5 %. Não houve interação tripla significativa entre as variáveis estudadas, por análise de variância a 5 %. CV = 33 %.**

A semeadura realizada em contorno aumentou em 10 % a percentagem dos sedimentos presentes na classe  $\leq 0,038$  mm, em relação à semeadura morro abaixo. A ocorrência dos sedimentos para contorno e morro abaixo foi de 38 e 28 %, respectivamente, dentro desta classe de tamanho (Figura 3b). Segundo Quinton & Catt (2004), Bertoni & Lombardi Neto (2005) e Luciano et al. (2009), a semeadura em contorno dissipa parte da energia do escoamento superficial. Com isso, houve diminuição da capacidade de arrastamento de sedimentos, em especial os de maior tamanho, o que facilitou a deposição dos sedimentos de maior densidade dentro dos sulcos. Nas demais classes de tamanho dos sedimentos não houve diferença significativa entre as culturas e entre as formas de semeadura. Portanto, a cultura de aveia e a forma de semeadura em contorno ao declive reduziram a massa relativa de sedimentos na enxurrada, em comparação, respectivamente, com a cultura de ervilhaca e a forma de semeadura morro abaixo, mas aumentaram a proporção de sedimentos menores. Isso indica que a aveia e o contorno são mais eficazes na redução da erosão hídrica global do que a ervilhaca e o morro abaixo, respectivamente. No entanto, a aveia e o contorno apresentam pouca eficácia no controle das perdas de sedimentos finos. Segundo Defersha et al. (2010), sedimentos finos têm maior probabilidade de chegar até os cursos e reservatórios de água do que sedimentos mais

grosseiros, principalmente se tais sedimentos forem constituídos de partículas de argila em suspensão. Além disso, se os sedimentos forem ricos em argila, terão maior capacidade de adsorção de nutrientes, pesticidas e carbono, podendo contribuir para a contaminação ambiental fora do local de origem da erosão.

**Índice  $D_{50}$  dos sedimentos**

Entre as culturas, a aveia apresentou menor índice  $D_{50}$  do que a ervilhaca, com valores de 0,043 e 0,119 mm, respectivamente (Figura 4a). Isso confirma o resultado dos dados de distribuição de tamanho de sedimentos, em que a aveia aumentou a proporção de sedimentos menores em relação à ervilhaca, devido à sua melhor eficiência no controle da velocidade de enxurrada e na filtragem dos sedimentos mais grosseiros, conforme já comentado anteriormente. Já entre as formas de semeadura, os valores do índice  $D_{50}$  foram de 0,047 e 0,117 mm, para contorno e morro abaixo, respectivamente (Figura 4b). No cultivo em contorno ocorreu maior dissipação de energia do escoamento e deposição de sedimentos de maior densidade dentro dos sulcos. Na figura 4a,b, observa-se que a maior amplitude de variação na proporção de sedimentos ocorreu dentro da classe de menor tamanho ( $\leq 0,038$  mm), tanto entre aveia e ervilhaca quanto entre contorno e morro abaixo. Isso mostra que os



**Figura 4. Distribuição acumulada relacionada ao tamanho dos sedimentos e índice  $D_{50}$  dos sedimentos transportados pela enxurrada: (a) cultura de aveia e ervilhaca; (b) semeadura no sentido paralelo ao declive e em contorno no declive; (c) tratamento; (d) testes de chuva.**

sedimentos de menor tamanho foram mais afetados do que os de maior tamanho pela mudança de cultura e de orientação de semeadura, conforme já demonstrado estatisticamente na figura 3. Leite et al. (2004) também observaram variação no índice  $D_{50}$  dos sedimentos.

Na combinação de cultura e forma de semeadura, o menor índice  $D_{50}$  foi o do tratamento aveia em contorno, com valor de 0,034 mm, enquanto nos demais tratamentos os valores de  $D_{50}$  pouco oscilaram entre 0,113 e 0,118 mm (Figura 4c). Os efeitos da aveia e do contorno, que, separadamente, apresentaram os menores índices  $D_{50}$ , explicam esses resultados. Quanto aos testes de chuva simulada, o índice  $D_{50}$  distinguiu-se em dois grupos: o primeiro grupo, composto pelos testes 1 e 2, apresentou valores semelhantes entre si e maiores do que o segundo grupo, formado pelos testes 3 e 4 (Figura 4d). Nos primeiros testes de chuva simulada, a superfície do solo estava mais desagregada do que nos testes finais, pelo fato de ter sido revolvida mecanicamente para implantação das culturas. Nos testes 3 e 4, a superfície do solo encontrava-se mais bem estruturada devido ao desenvolvimento e à proteção das culturas, o que contribuiu para diminuir o índice  $D_{50}$ , assim como as perdas de solo, conforme verificado também por Leite et al. (2004) e Engel et al. (2007).

### Carbono orgânico dos sedimentos

Os teores de C orgânico dos sedimentos transportados pela enxurrada foram superiores aos teores da camada superficial de 0–2,5 cm do solo de onde se originaram os sedimentos (Quadro 2). Isso ocorreu pelo fato de a matéria orgânica possuir menor densidade do que a fração mineral do solo, sendo, por isso, facilmente removível pela erosão hídrica. Em trabalhos realizados por Schick et al. (2000) e Bertol

et al. (2007), os autores encontraram comportamento semelhante para esse constituinte do solo, trabalhando sob chuva natural em Cambissolo e chuva simulada em Nitossolo, respectivamente.

Em todas as classes de tamanho dos sedimentos estudados, o teor de C orgânico foi maior nos sedimentos provenientes da cultura de aveia do que da ervilhaca e maior nos sedimentos produzidos na semeadura em contorno ao declive do que naqueles provenientes do morro abaixo (Quadro 2). A cultura de aveia e a semeadura em contorno, ao reduzirem a velocidade do fluxo superficial, diminuíram a capacidade de arrastamento das partículas e, com isso, houve aumento na proporção da fração orgânica, de menor densidade, em detrimento da fração mineral do solo que possui maior densidade. Esse comportamento fica mais evidente ao se calcular a razão entre o teor de C orgânico dos sedimentos e o C orgânico da camada de 0–2,5 cm do solo. Nas culturas de aveia e ervilhaca, a razão foi de 1,39 e 1,21, respectivamente, e, na semeadura em contorno e morro abaixo, a razão foi de 1,43 e 1,17, respectivamente. Razão maior que a unidade indica que o teor de C dos sedimentos é maior que o da camada superficial do solo. Assim, quanto maior que a unidade, mais os sedimentos retiveram C orgânico. No caso, a cultura de aveia e a semeadura em contorno apresentaram razões maiores do que a cultura da ervilhaca e a semeadura morro abaixo, ambas maiores do que a unidade. Schick et al. (2000) e Bertol et al. (2004) encontraram taxas de enriquecimento maiores do que a unidade para vários tratamentos de manejo do solo.

Os dados de teor de C orgânico e classe de tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada não apresentaram tendência definida, em se tratando de relação entre eles (Quadro 2). Isso significa que não

**Quadro 2. Teor de C orgânico em diferentes intervalos de tamanho dos sedimentos, nos tratamentos (combinação de cultura e forma de semeadura), no cultivo de aveia e ervilhaca, nas formas de semeadura paralela no sentido do declive e em contorno no declive e na camada de 0–2,5 cm do solo, e a razão entre C orgânico nos sedimentos e C orgânico no solo**

Tratamento	Intervalo de tamanho dos sedimentos, mm				Média	Solo (0–2,5 cm)	Razão COsed/COsolo
	> 2	0,25–2	0,053–0,25	≤ 0,053			
	CO (%)						Adimensional
AC	3,94	4,20	3,92	4,12	4,05	2,47	1,64
AD	2,67	3,43	3,12	3,67	3,22	2,76	1,17
EC	3,49	3,82	3,34	3,87	3,63	2,89	1,26
ED	2,93	3,51	2,91	3,30	3,16	2,70	1,17
Cultura							
A	3,31	3,82	3,52	3,90	3,64	2,62	1,39
E	3,21	3,67	3,13	3,59	3,40	2,80	1,21
Semeadura							
C	3,72	4,01	3,63	4,00	3,84	2,68	1,43
D	2,80	3,47	3,02	3,49	3,20	2,73	1,17

AD: aveia no sentido paralelo ao declive; AC: aveia em contorno no declive; ED: ervilhaca no sentido paralelo ao declive; EC: ervilhaca em contorno no declive.

houve tendência de aumento ou de diminuição no teor de C com o aumento ou diminuição no tamanho dos sedimentos, dentro de cada tratamento. Provavelmente, esse comportamento ocorreu pelo fato de a mesma enxurrada ter transportado diferentes tamanhos de sedimentos, em proporções semelhantes, os quais ficaram retidos nas peneiras com respectivas aberturas de malha.

### CONCLUSÕES

1. O tipo de cultura e a forma de semeadura de aveia e ervilhaca influenciaram a quantidade de sedimentos na enxurrada; a aveia reduziu os sedimentos na enxurrada em 46 % em relação à ervilhaca, e a semeadura em contorno os reduziu em 56 % em comparação com a semeadura morro abaixo.

2. A proporção de sedimentos na enxurrada foi influenciada pelo desenvolvimento das culturas de aveia e ervilhaca e pelos testes de chuva simulada, independentemente da forma de semeadura; essa proporção diminuiu em 63 % entre o início e o final do ciclo das culturas.

3. O tipo de cultura e a forma de semeadura de aveia e ervilhaca influenciaram diferentemente a percentagem das distintas classes de tamanho dos sedimentos na enxurrada; na classe de menor tamanho ( $\leq 0,038$  mm), a aveia aumentou os sedimentos em 17 % em relação à ervilhaca, e o contorno os aumentou em 10 % em relação à semeadura morro abaixo.

4. O tipo de cultura e a forma de semeadura de aveia e ervilhaca influenciaram o índice  $D_{50}$  dos sedimentos presentes na enxurrada; esse índice foi de 0,043 mm na aveia e 0,119 mm na ervilhaca, e de 0,047 mm na semeadura em contorno e 0,117 mm na semeadura morro abaixo.

5. A razão entre o teor de C orgânico dos sedimentos transportados pela enxurrada e o teor de C do solo na camada de 0–2,5 cm foi influenciada pelo tipo de cultura e pela forma de semeadura de aveia e ervilhaca; essa razão foi de 1,39 na aveia e 1,21 na ervilhaca, e de 1,43 na semeadura em contorno e 1,17 na semeadura morro abaixo.

### LITERATURA CITADA

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C. & ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo "soil quality kit test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:109-121, 2007.

BARBOSA, F.T. Erosão hídrica em três formas de semeadura de aveia e ervilhaca em um Cambissolo Húmico: Perdas de nutrientes e C orgânico. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2008. 73p. (Tese de Mestrado)

BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:373-379, 1989.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C. & RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e C orgânico. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:1045-1054, 2004.

BERTOL, I.; ENGEL, F.L.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J. & RITTER, S.R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentration in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. *Soil Tillage Res.*, 94:142-150, 2007.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 5.ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Effect of crop residue, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1005-1008, 1983.

DEFERSHA, M.B.; QURAIISHI, S. & MELESSE, A. Interrill erosion, runoff and sediment size distribution as affected by slope steepness and antecedent moisture content. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7: 6447-6489, 2010.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparos do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção e Informação, 1999. 412p.

ENGEL, F.L.; BERTOL, I.; MAFRA, A.L. & COGO, N.P. Water erosion under simulated rainfall in different soil management systems during soybean growth. *Sci. Agric.*, 64:187-193, 2007.

FOSTER, G.R.; LANE, L.J.; NOWLIN, J.D.; LAFLEN, J.M. & YOUNG, R.A. Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 24:1253-1261, 1981.

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: BASSELMAN, J.A. Hydrological modeling of small watersheds. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineering, 1982. p.297-300.

GABRIELS, D. & MOLDENHAUER, W.C. Size distribution of eroded material from simulated rainfall: Effect over a range of texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:954-958, 1978.

GILLEY, J.E.; FINKNER, S.C. & VARVEL, G.E. Size distribution of sediment as affected by surface residue and slope length. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 30:1419-1424, 1987.

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.

- LU, J.Y.; CASSOL, E.A. & MOLDENHAUER, W.C. Sediment transport relationships for sand and silt loam soils. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 36:1923-1931, 1989.
- 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. 84p. (Tese de Mestrado)
- LUCIANO, R.V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; VÁZQUEZ, E.V. & FABIAN, E.L. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:669-676, 2009.
- MEYER, L.D. An investigation of methods for simulating rainfall a standard runoff plots and a study of the drop size, velocity, and kinetic energy of selected spray nozzles. West Lafayette, USDAARS-SWCRD-ESWMRB/Purdue University, 1958. 43p. (Special Report, 81)
- QUINTON, J.N. & CATT, J.A. The effects of minimal tillage and contour cultivation on surface runoff, soil loss and crop yield in the long-term Woburn Erosion Reference Experiment on sandy soil at Woburn, England. *Soil Use Manag.*, 20:343-349, 2004.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JR., A.A. & BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e C orgânico. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:437-447, 2000.
- SWANSON, N.P. A rotating-boom rainfall simulator. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.*, 8:71-72, 1965.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.