

SEÇÃO: RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

TAMANHO DE PARTÍCULAS DO SEDIMENTO PRODUZIDO POR EROSÃO EM ENTRESSULCOS SOB DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO E POR EROSÃO EM SULCOS EM UM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO¹

JOÃO ALFREDO BRAIDA², ELEMAR ANTONINO CASSOL³

RESUMO – O tamanho de partículas do sedimento é uma das características que afetam seu transporte e deposição. Para a formulação de modelos de predição da produção de sedimentos pelo processo erosivo, é necessário conhecer a distribuição de tamanho de partícula do sedimento. Em dois trabalhos realizados no Centro de Pesquisa de Florestas e Conservação do Solo, da FEPAGRO, em Santa Maria, RS, em solo Podzólico Vermelho-Escuro franco arenoso, determinou-se o tamanho de partículas do sedimento. Em um experimento, sobre erosão em entressulcos, parcelas de 0,50 x 0,75 m, montadas sobre solo recém preparado, com declividade média de 0,17 m/m, receberam doses médias de 0,00, 0,05, 0,10, 0,20, 0,40 e 0,80 kg/m² de palha de trigo e de palha de milho, em quatro repetições. Sobre essas parcelas aplicou-se chuva simulada com intensidade média de 67 mm/h e duração de 90 minutos, durante os quais coletou-se amostras de enxurrada para determinação do tamanho de partículas. Em um segundo experimento, sobre erosão em sulcos, vazões de 10, 20, 30, 40 e 50 dm³/min foram aplicadas, durante 40 minutos, em sulcos pré-formados com cinco metros de comprimento no sentido do declive, em solo recém-preparado, com declividade média de 0,116 m/m. O tamanho médio dos sedimentos produzidos pela erosão em entressulcos decresceu exponencialmente com o aumento da cobertura do solo. Na erosão em sulcos, não se observou efeito significativo da vazão aplicada sobre o tamanho das partículas, porém os sedimentos decresceram de tamanho com o tempo de aplicação de água nos sulcos. O tamanho médio de partículas, dado pelo índice D₅₀, do sedimento produzido pela erosão em entressulcos foi de 0,250 mm e na erosão em sulcos foi de 0,325 mm.

Palavras-chave: sedimentação, partícula, erosão, sulco, entressulco, erosão hídrica do solo

PARTICLE SIZE OF SEDIMENT YIELDED BY INTERRILL EROSION UNDER DIFFERENT SOIL RESIDUE COVER AND BY RILL EROSION ON A PALEUDULT SANDY LOAM SOIL

ABSTRACT – Sediment particle size is a characteristic that affects the particles transportability and deposition in the erosion process. It is necessary to know the particle size distribution in order to build a model to predict the sediment yield during an erosion process. Two field experiments were conducted at the Forest and Soil Conservation Research Center, from FEPAGRO, in Santa Maria, State of Rio Grande do Sul, Brazil, on a Paleudult sandy loam soil, to determine the particle size distribution, from interrill and rill erosion processes. In the first experiment, residues of wheat and corn were applied as a surface cover on small interrill-plots of 0.50 x 0.75 m, at amounts of 0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.40 and 0.80 kg/m², in four replications on freshly tilled soil, with an average land slope of 0.17 m/m. A simulated rainfall with intensity of 67 mm/h was applied during 90 minutes, when runoff samples were taken to determine the sediment particle size distribution. In a second field experiment, concentrated flow rates of 10, 20, 30, 40 and 50 dm³/min were

1. Artigo extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor, realizada sob a orientação do segundo autor, apresentada e aprovada no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFRGS. Trabalho realizado com recursos parciais da FAPERGS e apresentado no XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Viçosa – MG, de 23 a 29 de julho de 1995.
2. Eng. Agr., M.Sc. – Prof. do Curso de Agronomia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR), Rodovia PR 469, km 1, Caixa Postal 571, 85503-390 Pato Branco – PR/BRASIL. E-mail: Braidaja@cefet.whiteduck.com.br
3. Eng. Agr., PhD. – Pesquisador da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre – RS/BRASIL, e Prof. Adjunto do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Av. Bento Gonçalves 7712, 90001-970 Porto Alegre, RS/BRASIL. E-mail: cassolea@vortex.ufrgs.br. Bolsista de Pesquisa do CNPq.

Recebido para publicação em 30 de julho de 1996.

applied during 40 minutes, on four replications of preformed 5 m long rills in a freshly tilled soil with an average land slope of 0.116 m/m. The median size of the sediment yielded in the interrill soil erosion process decreased exponentially with the increase of the soil surface cover by crop residues. In the rill erosion process, the median size sediment particles decreased with the time from the beginning of the flow application. However, it was not observed any statistically significant difference in the median size of the particle sediment with the increase in the flow rates. The median size of sediment particle given by the D_{50} index was 0.250 mm in the interrill erosion process and 0.325 mm in the rill erosion process.

Key words: sedimentation, particle, erosion, rill, interrill, soil erosion by water

INTRODUÇÃO

A erosão do solo constitui-se em um processo de desagregação, transporte e deposição de partículas da massa do solo pelos agentes erosivos. No caso da erosão hídrica, esses agentes são as gotas da chuva e o escoamento superficial (ELLISON, 1947).

A carga de sedimentos transportada pelo fluxo superficial na erosão hídrica depende de variáveis hidráulicas como a taxa de descarga, a velocidade e a profundidade do fluxo, e de características das partículas do sedimento como o tamanho e a densidade (FOSTER et al., 1985). Essas características determinam a transportabilidade das partículas, influenciando os processos de transporte e de deposição dos sedimentos (YOUNG, 1980).

Vários fatores determinam o tamanho de partículas do sedimento transportado, incluindo a textura do solo, densidade de partículas, composição mineralógica do solo, tipo e conteúdo de matéria orgânica, rugosidade superficial, relevo, uso anterior e a forma de atuação do agente erosivo (MEYER et al., 1980; YOUNG, 1980; FOSTER, 1982).

A erosão em solos coesivos produz sedimentos formados por uma combinação de partículas primárias e secundárias (agregados), numa proporção variável com a intensidade e duração da chuva. Em solos não coesivos os sedimentos produzidos são compostos principalmente por partículas primárias (SWANSON e DEDRICK, 1967).

A desagregação pelo impacto das gotas da chuva produz partículas menores que as produzidas pelo fluxo superficial concentrado de água (ELLISON, 1947). ALBERTS et al. (1980) observaram que o fluxo concentrado em sulcos transportou uma maior proporção de partículas grandes em relação ao fluxo laminar dos entressulcos. Segundo os autores, esse fato deve-se às diferenças entre os mecanismos de desagregação e transporte em cada uma dessas áreas.

Nas áreas entre os sulcos, onde a desagregação é realizada exclusivamente pelo impacto das gotas da chuva, o processo erosivo é seletivo pois pode ser limitado pela capacidade de transporte do fluxo superficial ou pela taxa de desagregação, dependendo da declividade dessas áreas. Já nos sulcos, tanto a desagregação

como o transporte de partículas são feitos pelo fluxo concentrado, havendo uma maciça remoção das partículas desagregadas, sem seletividade (MEYER et al., 1975; FOSTER, 1982).

Para a erosão em entressulcos, MEYER et al. (1980) não observaram efeitos da duração da chuva e da cobertura do solo pelo dossel das plantas sobre o tamanho de partícula do sedimento. Entretanto, GABRIELS e MOLDENHAUER (1978) observaram que a percentagem dos agregados maiores diminuiu com o tempo de chuva, enquanto que a percentagem de agregados menores aumentou. ROCKENBACH (1992) verificou uma tendência semelhante.

GILLEY et al. (1986), trabalhando com palha de milho, observaram que o aumento da taxa de cobertura do solo resultou numa redução do tamanho de partículas do sedimento produzido por erosão em entressulcos. Entretanto ROCKENBACH (1992), que empregou palha de trigo em estudo de erosão em entressulcos, não observou efeito da taxa de cobertura do solo sobre o tamanho médio de partícula do sedimento.

No caso da erosão em sulcos, ALBERTS et al. (1980), GIASSON (1992) e GIASSON e CASSOL (1996), não observaram efeitos da taxa de descarga do sulco sobre o tamanho médio de partícula do sedimento. Entretanto, FOSTER et al. (1982) observaram um aumento do tamanho de partícula quando aumentou a taxa de descarga do sulco e não observaram efeitos significativos de diferentes condições de preparo do solo.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar o tamanho médio de partículas do sedimento produzido por erosão em entressulcos sob diferentes coberturas do solo por resíduos vegetais e por erosão em sulcos com diferentes taxas de descarga, em um solo Podzólico Vermelho-Escuro, franco arenoso, do Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos experimentais foram desenvolvidos no Centro de Pesquisa de Florestas e Conservação do Solo (antiga Estação Experimental de Silvicultura), da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) do Rio Grande do Sul, localizada no município de Santa Maria (RS), entre as latitudes 29°30' e

29°45' Sul e longitudes 54°00' e 54°15' a Oeste de Greenwich. O solo da área experimental é um Podzólico Vermelho-Escuro franco arenoso (ABRÃO et al., 1988).

Na Tabela 1 encontram-se algumas características físicas e químicas da camada superficial (0 – 20 cm) do solo da área experimental.

TABELA 1 – Algumas características físicas e químicas do horizonte superficial do solo da área experimental

Argila (<0,002mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,144
Silte (0,002 – 0,050mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,101
Areia (0,050 – 2,00mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,755
Areia muito fina (0,105 – 0,050mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,080
Areia fina (0,25 – 0,105mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,283
Areia média (0,50 – 0,25mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,310
Areia grossa (1,00 – 0,50mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,076
Areia muito grossa (2,00 – 1,00mm) ⁽¹⁾ (kg/kg)	0,006
D ₅₀ das partículas do solo disperso (mm)	0,194
Densidade do solo ⁽¹⁾ (kg/m ³)	1,510
Densidade da partícula ⁽¹⁾ (kg/m ³)	2,650
Porosidade total ⁽¹⁾ (m ³ /m ³)	0,4302
Teor de matéria orgânica ⁽²⁾ (kg/kg)	0,0102
pH em água ⁽²⁾	4,51
Capacidade de Troca de Cátions ⁽²⁾ (mmol _c /kg)	38
Teor de Al ⁽²⁾ (mmol _c /kg)	6
Teor de Ca ⁽²⁾ (mmol _c /kg)	12
Teor de Mg ⁽²⁾ (mmol _c /kg)	6

⁽¹⁾ Determinações efetuadas conforme procedimentos de EMBRAPA (1979).

⁽²⁾ Determinações efetuadas conforme procedimentos de TEDESCO et al. (1985).

Erosão em entressulcos

O tamanho de partículas do sedimento produzido por erosão em entressulcos foi determinado em um experimento realizado em fevereiro e março de 1993. Nesse experimento foram avaliadas as relações entre a erosão em entressulcos e a cobertura do solo por diferentes quantidades de palha de trigo e palha de milho. Maiores detalhes desse trabalho encontram-se em BRAIDA (1994). Daquele trabalho, será tratado aqui apenas a parte referente à distribuição do tamanho de partículas do sedimento, obtidas a partir de amostras de enxurrada coletadas em todas as parcelas experimentais, em cinco momentos durante a aplicação de chuva simulada.

Palha de trigo e palha de milho foram picadas em fragmentos com cerca de 7,5 cm e distribuídas em parcelas de 0,50 x 0,75 m, sobre o solo recentemente preparado por uma aração e duas gradagens realizadas no sentido do declive. As quantidades de palha utilizadas foram de 0,00, 0,05, 0,10, 0,20, 0,40 e 0,80 kg/m², aplicadas em quatro repetições para cada tipo de palha. As parcelas eram delimitadas por uma chapa metálica nas laterais e na extremidade superior, e por uma calha na extremidade inferior. A declividade média das parcelas era de 0,17 m/m. Foi

aplicada uma chuva simulada de intensidade média de 67 mm/h e de duração de 90 minutos.

Antes da aplicação da chuva, as parcelas experimentais foram fotografadas para a determinação da cobertura do solo pelo método proposto por MANNERING e descrito por LOPES (1984). Durante a simulação da chuva, toda a enxurrada proveniente das parcelas foi coletada em potes plásticos colocados sob a saída da calha existente na extremidade inferior das parcelas. Os potes foram trocados a cada três minutos nos 15 minutos iniciais da chuva e, depois, a cada dois minutos.

Para a avaliação do tamanho de partícula do sedimento foram utilizadas as amostras de enxurrada coletadas nos intervalos de 3 a 6, 9 a 12, 19 a 21, 39 a 41 e 79 a 81 minutos. Nos tratamentos com 0,40 e 0,80 kg/m² de palha foram utilizadas as amostras dos intervalos 3 a 9, 9 a 15, 19 a 23, 39 a 43 e 78 a 83 minutos, em função da pequena quantidade de sedimentos.

A separação das partículas, em oito classes de tamanho, foi realizado por peneiração úmida das amostras em laboratório. Foram utilizadas peneiras com abertura de malha de 2,00, 1,00, 0,50, 0,25, 0,105, 0,053 e 0,037 mm. A peneiração úmida com peneiras com malha de abertura maior ou igual a 0,25 mm foi realizada

com agitação mecânica vertical durante cinco minutos. O material que passou pela peneira com malha de abertura de 0,25 mm foi separado por peneiração manual com as restantes peneiras sobrepostas. O material que passou pela peneira com malha de abertura de 0,037 mm, foi coletado em baldes plásticos para a sedimentação das partículas, que foi acelerada pela adição de uma solução de alúmen de potássio à 3%.

Erosão em sulcos

O tamanho de partículas do sedimento produzido por erosão em sulcos foi avaliado em um experimento realizado em agosto de 1993 (BRAIDA, 1994), no qual foram aplicadas vazões de 10, 20, 30, 40 e 50 dm³/min de água em sulcos pré-formados sobre solo recém-preparado. Os sulcos tinham cinco metros de comprimento no sentido do declive e 0,50 m de largura, com seção transversal triangular com profundidade de 0,05 m. A declividade média dos sulcos era de 0,116 m/m. Foram realizadas quatro repetições dos testes, com duração de quarenta minutos, durante os quais foram medidas as taxas de descarga e a velocidade superficial do fluxo e coletadas amostras de enxurrada para a determinação da concentração e do tamanho de partículas do sedimento na enxurrada. Neste trabalho serão utilizadas apenas os dados referentes à distribuição do tamanho de partículas do sedimento.

As amostras para a determinação do tamanho de partículas foram coletadas aos 2, 11, 24 e 39 minutos do início dos testes. Essas amostras foram levadas para o laboratório, onde foram separadas em nove classes de tamanho, de modo semelhante ao utilizado para as amostras de erosão em entressulcos. Nesse caso, porém, foram usadas peneiras com malha de abertura de 4,76, 2,00, 1,00, 0,50, 0,25, 0,105, 0,053, 0,037 mm e a peneiração úmida com agitação mecânica vertical foi

usada para as peneiras com malha com abertura maior ou igual a 0,50 mm.

Tamanho médio de partículas do sedimento

A quantidade relativa de sedimentos em cada classe de tamanho, para os dois tipos de sedimentos, foi obtida dividindo-se a massa de partículas secas da classe pela soma total das massas de partículas secas em todas as classes de tamanho. Com esses dados foi calculado o índice D₅₀, que é o indicador do diâmetro médio das partículas e representa o tamanho para o qual 50% das partículas são maiores e 50% são menores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sedimentos produzidos por erosão em entressulcos

A taxa de cobertura do solo, proporcionada por diferentes quantidades de palha de trigo e palha de milho picadas, são apresentadas na Tabela 2. Os resultados mostram que para uma mesma quantidade, existem diferenças na cobertura do solo proporcionada por palha de milho e palha de trigo. Isto ocorre principalmente nas menores quantidades pois, nesses casos, a palha de milho é composta por um menor número de peças que a palha de trigo. Através da análise de regressão dos dados, obteve-se as seguintes relações matemáticas entre a quantidade de palha e a fração coberta da superfície.

Para palha de milho:

$$CS = 1 - e^{(-6,05 \cdot MR)} \quad (r^2 = 0,74^{**}) \quad [1]$$

Para palha de trigo:

$$CS = 1 - e^{(-7,91 \cdot MR)} \quad (r^2 = 0,78^{**}) \quad [2]$$

onde:

CS = cobertura do solo (m²/m²);

e = base do logaritmo natural; e,

MR = massa de resíduos (kg/m²).

TABELA 2 – Cobertura de solo (CS) em entressulcos em função do tipo e da quantidade de palha (MR) na superfície do solo. Médias de quatro repetições

Quantidade de Palha (kg/m ²)	Cobertura do Solo	
	Palha de Trigo	Palha de Milho
0,00	0,00a	0,00a
0,05	0,42a	0,18b
0,10	0,62a	0,37b
0,20	0,78a	0,69b
0,40	0,93a	0,88a
0,80	0,99a	0,98a
Média	0,62a	0,52b

(1) Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan à 5%.

Palha de Trigo: CS = 1 - e^(-6,05 · MR); r² = 0,74

Palha de Milho: CS = 1 - e^(-7,91 · MR); r² = 0,78

Relações semelhantes as apresentadas nas expressões [1] e [2] foram também obtidas por LOPES et al. (1987), AMADO et al. (1989) e CARVALHO et al. (1990). Entretanto esses autores trabalharam com o processo global de erosão hídrica, não apenas para erosão em entressulcos, como é o caso do presente estudo.

O tamanho de partículas do sedimento produzido

por erosão em entressulcos, expresso pelo índice D_{50} , é apresentado na Tabela 3, para cada tipo e quantidade de palha, nos cinco instantes de amostragens. A análise de variância mostrou que o índice D_{50} não variou com o tipo de resíduo vegetal, mas que variou em função da quantidade de resíduo vegetal e com a cobertura do solo proporcionada.

TABELA 3 – Tamanho médio de partículas do sedimento oriundo da erosão em entressulcos, dado pelo índice D_{50} , em função do tipo e da quantidade de resíduo vegetal e do tempo de chuva (t). Média de quatro repetições

Palha	Quant. (kg/m ²)	Tempo (min)					Média
		05	10	20	40	80	
		D_{50} (mm)					
	0,00	0,260	0,286	0,300	0,283	0,255	0,277
T	0,05	0,259	0,262	0,266	0,262	0,259	0,262
R	0,10	0,234	0,244	0,237	0,237	0,246	0,240
I	0,20	0,217	0,235	0,241	0,241	0,246	0,236
G	0,40	0,212	0,245	0,242	0,220	0,215	0,227
O	0,80	0,241	0,242	0,240	0,238	0,250	0,242
	Média	0,237	0,252	0,254	0,247	0,245	0,247
	0,00	0,278	0,301	0,300	0,278	0,250	0,281
M	0,05	0,260	0,283	0,282	0,280	0,246	0,270
I	0,10	0,267	0,271	0,254	0,280	0,264	0,267
L	0,20	0,250	0,260	0,231	0,257	0,235	0,247
H	0,40	0,229	0,245	0,215	0,217	0,206	0,222
O	0,80	0,224	0,228	0,227	0,247	0,242	0,233
	Média	0,251	0,265	0,252	0,260	0,240	0,253
	Média geral	0,244	0,259	0,253	0,253	0,242	0,250

O aumento da quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo reduziu significativamente o tamanho médio dos sedimentos transportados pelo fluxo superficial em entressulcos. A análise de regressão dos dados mostrou que o tamanho médio de partícula do sedimento da erosão em entressulcos correlacionou-se melhor com a cobertura do solo do que com a quantidade de resíduo aplicada. Dessa análise obteve-se a seguinte expressão:

$$D_{50} = 0,280 \cdot e^{(-0,203 \cdot CS)} \quad (r^2 = 0,87^{**}) \quad [3]$$

onde:

D_{50} = tamanho médio de partícula do sedimento (mm);

e = base do logaritmo natural; e,

CS = cobertura do solo (m²/m²).

A relação gráfica obtida com a Equação [3] é mostrada na Figura 1.

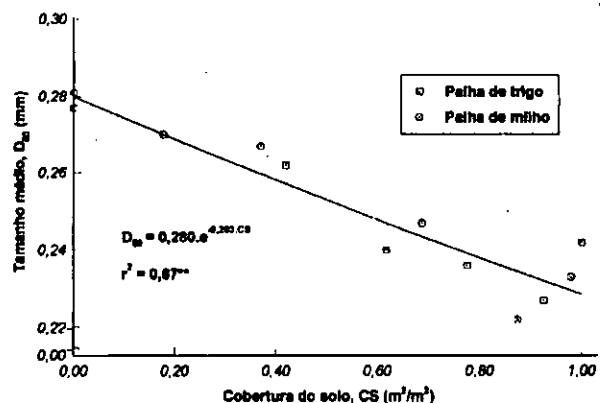


FIGURA 1 – Tamanho médio de partículas do sedimento, produzido por erosão em entressulcos, em função da cobertura do solo por palha de trigo e palha de milho

AMADO (1985) utilizou expressão semelhante a da Equação [3] para relacionar o tamanho médio dos sedimentos e a cobertura do solo. GILLEY et al. (1986) também verificaram redução do tamanho médio dos sedimentos com o aumento da cobertura do solo. Em contrapartida, ROCKENBACH (1992) não verificou tal tendência, provavelmente porque trabalhou com quantidades máximas de 0,083 kg/m² de palha de trigo, quantidade muito semelhantes às menores quantidades utilizadas no presente trabalho.

A redução do índice D₅₀, produzida pelo aumento da quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo, pode estar associada a uma diminuição da capacidade de transporte do fluxo superficial. Nas parcelas com resíduo vegetal na superfície do solo, as taxas de perdas de água mantiveram-se menores que as das parcelas sem resíduo (Figura 2), provavelmente porque a cobertura do solo reduziu o selamento superficial, mantendo taxas de infiltração de água no

solo mais elevadas durante todo o tempo de duração dos testes. Além disso, os resíduos vegetais na superfície do solo constituem um obstáculo ao livre escoamento da água, reduzindo sua velocidade e, conseqüentemente, sua capacidade de transporte. FOSTER (1982) salienta que a capacidade de transporte do fluxo superficial em entressulcos depende da taxa de precipitação pluviométrica que excede a taxa de infiltração de água, da declividade e comprimento do declive em entressulcos e da profundidade do fluxo, sendo grandemente ampliada pelo impacto das gotas de chuva. Assim, em superfícies depressionais ou com obstáculos, como os provocados pela presença de resíduos de trigo e de milho, a capacidade de transporte do fluxo em entressulcos é grandemente reduzida. De outra parte, quanto maior a quantidade de resíduo na superfície do solo, menor a ação das gotas de chuva sobre o fluxo, o qual, portanto, tem sua capacidade de transporte diminuída.

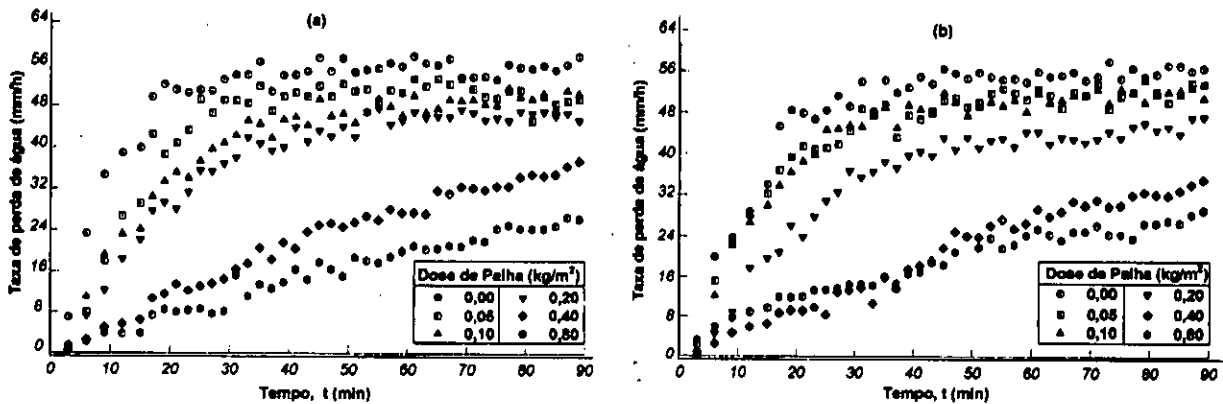


FIGURA 2 – Taxas de perdas de água nos entressulcos, em função do tempo, para diferentes quantidades de palha distribuídas sobre o solo. Médias de quatro repetições. a) Palha de trigo e b) Palha de milho

Sedimentos produzidos por erosão em sulcos

O tamanho médio de partículas do sedimento, dado pelo índice D₅₀, oriundo da erosão em sulcos é apresentado na Tabela 4, para cada vazão, em quatro momentos de amostragem e na média de quatro repetições. A

análise da variância dos dados revelou não haver variação significativa do índice D₅₀ com o aumento da vazão aplicada aos sulcos. Entretanto, verificou-se variação significativa do D₅₀ com o transcorrer do tempo de aplicação de água nos sulcos.

TABELA 4 – Tamanho médio de partículas do sedimento oriundo da erosão em sulcos, dado pelo índice D₅₀, em função da vazão aplicada e do tempo de aplicação (t). Médias de quatro repetições

Vazão (dm ³ /min)	tempo (min)				Média
	02	11	24	39	
	D ₅₀ (mm)				
10	0,354	0,332	0,330	0,304	0,330
20	0,348	0,325	0,311	0,334	0,330
30	0,333	0,326	0,310	0,328	0,324
40	0,352	0,326	0,316	0,293	0,322
50	0,337	0,316	0,312	0,306	0,318
Média	0,345	0,325	0,316	0,313	0,325

D₅₀ = 0,3144 • e^(0,1844t); r² = 0,56**

Da mesma forma que ALBERTS et al. (1980), GIASSON (1992), e GIASSON e CASSOL (1996), não foram verificados efeitos significativos das vazões aplicadas sobre o tamanho médio de partículas do sedimento erodido nos sulcos. Entretanto, na média, observou-se uma tendência de redução do tamanho médio de partículas com o aumento da vazão aplicada aos sulcos. Essa tendência contraria os resultados obtidos por FOSTER et al. (1982), que verificou aumento no tamanho médio de partícula do sedimento com o aumento da vazão do sulco. Porém, esses autores empregaram vazões de até 220 dm³/min, quatro vezes maior que as mais altas utilizadas no presente estudo.

A tendência de redução do tamanho médio das partículas do sedimento com o aumento da vazão no sulco pode estar relacionada à baixa coesão das partículas do solo em estudo. Assim, nas vazões maiores, a maior tensão cisalhante e turbulência do fluxo podem ter produzido um maior fracionamento das partículas secundárias do solo, resultando em sedimentos com partículas de menor tamanho.

Para todas as vazões estudadas, o tamanho médio das partículas do sedimento produzido na erosão em sulcos, foi maior no início dos testes. Através da análise de regressão dos dados, chegou-se a uma relação que, para as condições estudadas expressa a relação entre o tamanho médio das partículas e o tempo de aplicação do fluxo extra nos sulcos, sendo dada por:

$$D_{50} = 0,3144 \cdot e^{(0,1844t)} \quad (r^2 = 0,56^{**}) \quad [4]$$

onde:

D_{50} = tamanho médio de partícula do sedimento produzido por erosão em sulcos (mm);
 e = base do logaritmo natural; e,
 t = tempo de aplicação de água nos sulcos (min).

A relação apresentada na expressão [4] é válida para as condições particulares do presente trabalho. Essa relação, juntamente com os pontos experimentais, é apresentada graficamente na Figura 3. No início dos testes as taxas de erosão nos sulcos foram mais elevadas, em função de que o fluxo estava atuando sobre o solo desagregado pelo recente preparo do mesmo. Assim, no início dos testes o fluxo tem uma maior facilidade de remover partículas maiores da massa do solo, que tenham sido desagregadas durante o preparo do solo. À medida que o processo erosivo avança, as partículas erodidas tornam-se menores, pois são produzidas quase que exclusivamente pela ação cisalhante do fluxo que está atuando sobre o perímetro molhado do sulco. Essa tendência também foi observada por GIASSON e CASSOL (1996).

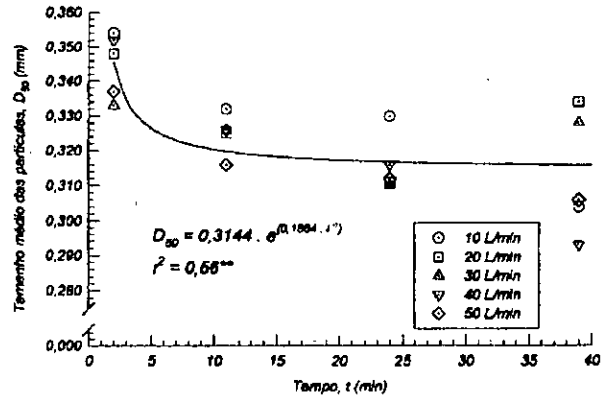


FIGURA 3 – Tamanho médio de partícula do sedimento, produzido por erosão em sulcos, em função do tempo de aplicação de água

Sedimento produzido em entressulcos vs. em sulcos

Considerando o índice D_{50} médio de 0,250 mm para as partículas do sedimento produzido pela erosão em entressulcos (Tabela 3), e de 0,325 mm obtido na erosão em sulcos (Tabela 4), verifica-se que ambos são superiores ao índice D_{50} das partículas do solo original disperso, que é de 0,194 mm (Tabela 1). Portanto, em ambos os casos, os sedimentos devem ter sido compostos por uma combinação de partículas primárias e secundárias.

ALBERTS et al. (1980) observou que o fluxo em entressulcos transportou sedimentos de menor tamanho que o fluxo concentrado em sulcos. No presente estudo, considerando apenas as parcelas sem cobertura do solo no experimento de erosão em entressulcos, obteve-se um índice D_{50} de 0,279 mm (Tabela 3), que é menor do que aquele observado no experimento em sulcos, que foi igual a 0,325 mm (Tabela 4).

Na erosão em entressulcos, o efeito repetitivo do impacto das gotas de chuva sobre os agregados do solo tendem a produzir sedimentos de menor tamanho que o produzido pela ação cisalhante do fluxo concentrado nos sulcos. Além disso, segundo FOSTER (1982) a capacidade de transporte do fluxo concentrado nos sulcos é muito maior que a do fluxo laminar nos entressulcos e, portanto, pode transportar partículas maiores.

CONCLUSÕES

1. O tamanho médio de partícula do sedimento produzido por erosão em entressulcos decresceu exponencialmente com o aumento da cobertura do solo por resíduos vegetais;
2. A variação na vazão aplicada nos sulcos não alterou o tamanho médio de partículas do sedimento produzido por erosão em sulcos;

3. A erosão em entressulcos produziu sedimentos com tamanho médio de partícula menor que a erosão em sulcos; e,

4. Tanto a erosão em entressulcos como a erosão em sulcos produziram sedimentos com D_{50} maior que o das partículas do solo original disperso.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ABRÃO, P.U.R.; GIANLUPPI, D.; AZOLIM, M.A.D. **Levantamento semidetalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis, 1988. 75 p. (Publicação IPRNR, n. 21).
- ALBERTS, E.E.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill flow. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 44, p. 590-595, 1980.
- AMADO, T.J.C. **Relações da erosão hídrica do solo com doses e formas de manejo do resíduo cultural de soja**. Porto Alegre: UFRGS: 1985. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1985.
- AMADO, T.J.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 251-257, 1989.
- BRAIDA, J.A. **Relações da erosão em entressulcos com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em um solo Podzólico vermelho-escuro**. Porto Alegre: UFRGS, 1994. 152 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1994.
- CARVALHO, F.L.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 2, p. 227-234, 1990.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies. *Agricultural Engineering*, St Joseph, v. 28, p. 145-146, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444, 1947.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. 1979, 247 p.
- FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C.T. (Ed). **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: ASAE, 1982. cap. 8, p. 297-380. (ASAE Monograph, n. 5)
- FOSTER, G.R.; OSTERKAMP, W.R.; LANA, L.J. Effect of discharge rate on rill erosion. St. Joseph, ASAE, 1982. 22 p. (Paper n. 82-2572)
- FOSTER, G.R.; YOUNG, R.A.; RÖMKENS, M.J.M.; ONSTAD, C.A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLETT, R.F.; STWART, B.A. **Soil erosion and crop productivity**. Madison, American Society of Agronomy, 1985. Cap. 9, p. 137-162.
- GABRIELS, D.; MOLDENHAUER, W.C. Size distribution of eroded material from simulated rainfall: effect over a range of texture. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 42, p. 954-958, 1978.
- GIASSON, É. **Relações da erosão em sulcos com vazões e doses de resíduos vegetais incorporados no solo**. Porto Alegre, UFRGS: 1992. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1992.
- GIASSON, É.; CASSOL, E.A. Relações da erosão em sulcos com vazões aplicadas e doses de resíduos de trigo incorporados a um plintossolo franco-argilo-arenoso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 1, p. 117-125, 1996.
- GILLEY, J.E.; FINKNER, S.C.; SPOMER, R.G.; MIELKE, L.N. Size distribution of sediment as affected by corn residue. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v. 29, n. 5, p. 1273-1277, 1986.
- LOPES, P.R.C. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. Porto Alegre, UFRGS: 1984. 116 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1984.
- LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1987.
- MEYER L.D.; FOSTER, G.R.; RÖMKENS, M.J.M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: **PRESENT AND PROSPECTIVE TECHNOLOGY FOR PREDICTING SEDIMENT YIELDS AND SOURCES**. Washington: USDA-Agricultural Research, 1975. p. 177-189. (ARS- S-40)
- MEYER, L. D.; HARMON, W. C.; McDOWELL, L.L. Sediment sizes eroded from crop row sideslopes. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v. 23, p. 891-898, 1980.
- ROCKENBACH, C. A. **Erosão em entressulcos sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um solo Podzólico Vermelho Amarelo sob chuva simulada**. Porto Alegre, UFRGS: 1992. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1992.
- SWANSON, N. P.; DEDRICK, A. R. Soil particles and aggregates transported in water runoff under various slope conditions using simulated rainfall. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v. 10, p. 246-247, 1967.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985. 188 p. (Boletim Técnico, n. 5)
- YOUNG, R.A. Characteristics of eroded sediment. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, v. 23, p. 1139-1142, 1980.

AGRADECIMENTOS

À direção e funcionários do Centro de Pesquisa de Florestas e Conservação do Solo da FEPAGRO, em Santa Maria – RS, pela cessão da área e do simulador de chuvas e pelo auxílio na realização dos trabalhos de campo e laboratório, de maneira especial ao funcionário Paulo Pedrolo e ao Eng. Agr. Dalro Castaman.