ALTERAÇÕES DO ESCOAMENTO E DAS TAXAS DE DESAGREGAÇÃO NA EROSÃO EM SULCOS EM CONDIÇÕES DE SOLO RECÉM PREPARADO E CONSOLIDADO

Elemar Antonino Cassol [(1)]; José Ramon Barros Cantalice [(2)] & José Miguel Reichert [(3)] (1) Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Agronomia, Caixa Postal 776, CEP: 90001-970, Porto Alegre – RS. Bolsista do CNPq. E-mail: cassolea@orion.ufrgs.br (2) Professor Adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Dois Irmãos, CEP: 52171-900 Recife-PE. E-mail: cantalic@terra.com.br (3) Professor Titular, Depto. de Solos, CCR-UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: reichert@ccr.ufsm.br (Financiado pelo PRONEX-CNPq e FAPERGS)

Palavras-chave: Erosão em sulcos, escoamento nos sulcos, condições de superfície do solo.

As incisões no solo que dão origem aos sulcos têm início quando a tensão de cisalhamento do fluxo concentrado em sulcos supera as condições de resistência ao início de movimento e é denominada tensão crítica de cisalhamento. O balanço entre a força erosiva do fluxo e a resistência à erosão das partículas do fundo determina as taxas de desagregação (Rauws & Govers, 1988). Sulcos de erosão apresentam variação morfológica no tempo e espaço. O fundo e as paredes dos sulcos variam sua forma quando o solo é erodido, que, dessa forma, altera o mecanismo responsável pela dinâmica de formação dos sulcos, a hidráulica do escoamento (Lei et al., 1998). A consolidação do solo é um fenômeno físico que ocorre quando o solo não é mobilizado. As condições físicas de densidade do solo, porosidade e coesão, que se desenvolvem durante o processo de consolidação, implicam em um aumento na estabilidade estrutural do solo, conferindo ao mesmo uma maior resistência à desagregação pela erosão hídrica. Os objetivos deste trabalho foram: avaliar as condições hidráulicas do escoamento em sulcos para caracterização do regime de escoamento e avaliar as taxas de desagregação de solo sob condições de sulcos pré-formados sobre solo recém preparado, e em condições de sulcos pré-formados e submetidos a um ano de consolidação.

Dois experimentos foram realizados a campo, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em sulcos pré-formados em um Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999) sob declive médio de 0,07 m m^{-1}, sendo o primeiro em condições de solo recém preparado em janeiro de 1999, e o segundo, realizado em dezembro do ano de 1999, em condições de solo consolidado durante um ano. Os sulcos mediram 7 m de comprimento no sentido do declive do terreno, 0,7 m de largura e 0,05 m de altura, delimitados superior e lateralmente pela colocação de chapas metálicas de zinco com 30 cm de altura, dos quais 15 foram enterrados. Aos sulcos foram aplicadas chuvas simuladas com intensidade planejada de 70 mm h^{-1} durante 80 minutos, sendo que nos 20 min finais foram aplicados os fluxos extras de 0, 20 e 40 L min^{-1}, aos quais acrescia-se o fluxo de aproximadamente 5 L min^{-1} devido à chuva aplicada. Um perfilômetro de 40 hastes plásticas espaçadas de 2 cm e acopladas a uma estrutura retangular de acrílico com 0,8 m de comprimento e 0,4 m de altura foi utilizado para se determinar a largura e a profundidade do escoamento nos sulcos e a forma geométrica da seção transversal do escoamento. Com essas medidas, registradas em cartões de cartolina à campo, determinou-se, posteriormente, em escritório, o perímetro molhado e a área do

escoamento, com auxílio de curvímetro e planímetro. Com essas dimensões foi determinado o raio hidráulico dos sulcos pela seguinte relação:

$$R_h = \frac{A}{P_m} \quad (1)$$

sendo R_h = raio hidráulico da seção transversal (m), A = área da seção transversal (m^2), e P_m = perímetro molhado da seção transversal (m). A declividade dos sulcos foi tomada pela variação de altura entre 2 pontos de distância determinada nos sulcos e expressa em m m^{-1}.

A velocidade superficial do escoamento em entressulcos foi obtida pela tomada do tempo para um corante (azul de metileno) percorrer uma distância conhecida, sendo expressa em m s^{-1}, valores esses que foram então multiplicados por um fator de correção (α=0,6), conforme Abrahams et al. (1986), para expressar a velocidade média do escoamento em sulcos. Para definição das condições hidráulicas do escoamento e de sua interação com a superfície do solo, foram determinadas algumas características hidráulicas conforme descrito em Simons & Senturk (1992), como o número de Reynolds (Re) e o número de Froude (Fr). A rugosidade hidráulica da superfície foi determinada pelo coeficiente de Manning (n). A tensão cisalhante média do escoamento (τ) foi obtida pela expressão:

$$\tau = \gamma R_h S, \quad (2)$$

em que τ = a tensão cisalhante (Pa), γ = peso específico da água (N m^{-3}), R_h = raio hidráulico do sulco (m), e S = declive do sulco (m m^{-1}). A descarga líquida (Q) foi determinada a partir das coletas de enxurrada em potes plásticos, colocados na extremidade inferior da calha coletora. As taxas de desagregação do solo nos sulcos foram obtidas a partir da coleta da enxurrada em potes de 920 ml em intervalos de 3 em 3 minutos até os 60 minutos de teste e de 2 em 2 minutos dos 60 aos 80 minutos de teste. A duração das coletas foi de 3 e 5 segundos, variando de acordo com as vazões aplicadas. A partir da massa de solo seco e da duração das coletas, determinaram-se as taxas de descarga sólida, em kg s^{-1}. Por fim, as taxas de desagregação de solo nos sulcos foram obtidas pela seguinte relação:

$$D_r = \frac{Q.C}{L.P_m} \quad (3)$$

sendo D_r = taxa de desagregação do solo nos sulcos (kg m^{-2} s^{-1}), Q = vazão (L s^{-1}), C = concentração (kg L^{-1}), P_m = perímetro molhado (m), e L = comprimento do sulco, (m).

O regime de escoamento nos sulcos em solo recém preparado sem adição de fluxo extra, apenas com a vazão da água da chuva (0+5 L m^{-1}), foi de transição subcrítico, com o número de Reynolds (R_e) de 1710 e o de Froude < 1, diferentemente do sulco com solo consolidado que teve um regime turbulento subcrítico para um Reynolds (R_e) de 2394 e de Froude <1 (Quadro 1). Para as vazões 20+5 e 40+5 L min^{-1}, os regimes foram turbulentos supercríticos, para Reynolds (R_e) maiores de 4000 e números de Froude >1. Portanto, o processo de consolidação do solo afetou o regime de escoamento, o que aconteceu pela diminuição da rugosidade (n) da superfície dos sulcos consolidados, que se tornou mais uniforme e menos rugosa, pela ação dos ciclos de umedecimento e secagem, como também houve remoção das partículas soltas e mais disponíveis ao movimento da superfície dos sulcos, promovida pela ação das lâminas de escoamento originadas pelas sucessivas chuvas naturais no decorrer do período de consolidação. Essa diminuição da rugosidade pode ser observada na figura 1, que relaciona o aumento da velocidade do escoamento a velocidade do escoamento com a diminuição da rugosidade, para os fluxos extras que foram aplicados tanto nos sulcos com solo recém preparado, quanto nos sulcos com solo consolidado. Ainda no quadro 1,

percebem-se menores valores de tensão cisalhante (τ) para os fluxos extras aplicados nos sulcos com solo consolidado, conseqüentes do alargamento dos sulcos durante o tempo de consolidação e do desenvolvimento de menores raios hidráulicos.

Quadro – 1 Características hidráulicas do escoamento em sulcos com solo recém preparado e consolidado: raio hidráulico (Rh), Número de Reynolds (Re), Número de Froude (Fr) e tensão cisalhante (τ).

Variável	Fluxos extras aplicados (L min^{-1}) [(1)]		
Hidráulica	0+5	20+5	40+5
	Solo recém preparado		
Rh (m)	0,0097	0,0150	0,0208
Re	1710	4538	7228
Fr	0,46	0,63	0,62
N	0,084	0,061	0,070
τ (Pa)	6,53	8,92	13,80
	Solo consolidado		
Rh (m)	0,0125	0,0098	0,0099
Re	2389	4014	4281
Fr	0,44	1,06	1,12
n	0,094	0,036	0,034
τ (Pa)	8,79	6,39	6,55

[(1)] A chuva simulada aplicada, acrescia aproximadamente 5 L min^{-1} ao fluxo extra nos sulcos

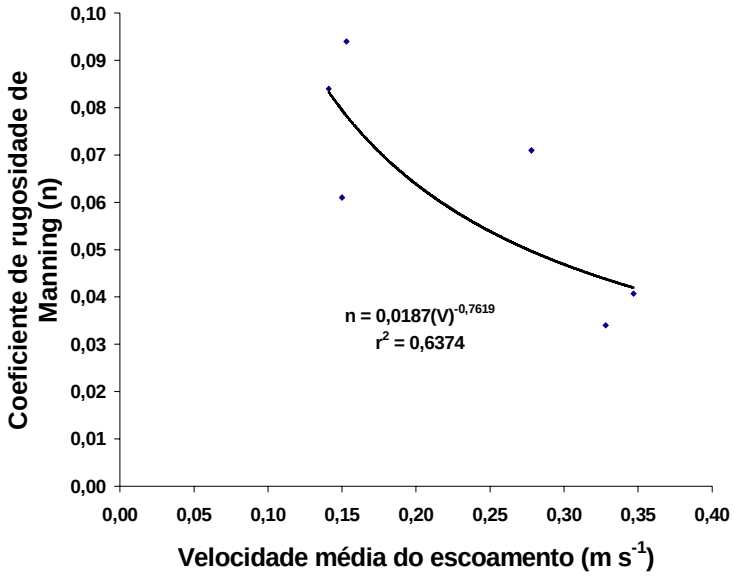

Figura 1. Coeficiente de rugosidade de Manning (n) e velocidade média do escoamento, para as vazões aplicadas de 0+5, 20+5 e 40+5 L min^{-1} nos sulcos com solo recém preparado e nos sulcos com solo consolidado durante 1 ano.

No quadro 2, tem-se uma comparação dos valores observados das taxas médias de desagregação do solo observadas nos sulcos sob solo consolidado, com as mesmas obtidas nos sulcos sob solo recém preparado. Observa-se que o processo de consolidação promoveu uma redução dos valores de desagregação de solo de 725% para o escoamento originado da chuva simulada, e de quase 2000% para as vazões extras aplicadas de 20+5 e 40+5 (L min^{-1}). A redução das taxas de desagregação de solo deveu-se às menores tensões de cisalhamento do escoamento obtidas em função dos menores raios hidráulicos atingidos, que, por sua vez, foram decorrentes do processo de consolidação da superfície do solo.

Quadro 2. Taxas de desagregação em sulcos Dr (kg m^{-2} s^{-1}) e diferenças (%), observadas nos sulcos entre o solo recém preparado e o solo consolidado.

Fluxos extras aplicados (L min^{-1})	Taxas de desagregação		$\left(\left(\frac{obs2\ ano - obs1\ ano}{obs2\ ano}\right)x100\right)$
	(1º ano)	(2º ano)	
	------- Dr (kg m^{-2} s^{-1}) (1) ------		Diferença (%)
0+5	0,0066 a	0,0008 b	-725
20+5	0,0165 a	0,0009 b	-1733
40+5	0,0261 a	0,0013 b	-1907

(1) Médias seguidas de letra diferentes na mesma linha, diferem pelo teste de Duncan a 5%.

Os resultados permitem concluir que:

1. Os regimes de escoamento do fluxo em sulcos, que com solo recém preparado foram turbulentos subcríticos, passaram a turbulentos supercríticos no solo consolidado, pela redução da rugosidade do solo ocorrida durante o processo de consolidação.
2. O processo de consolidação do solo num período de 1 ano promoveu reduções entre 700 e 1900% das taxas de desagregação em sulcos (D_r) que ocorreram em sulcos com solo recém preparado, em função das menores tensões cisalhantes desenvolvidas nos sulcos consolidados.

Referências

ABRAHMS, A. D. ; PARSONS. A. J. ; LUK, S. H. Resistance to overland flow on desert hillslopes. **Journal of Hydrology**, Amsterdan, v. 88, n3/4, p. 343-363, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília : EMBRAPA, 1999. 412 p.

LEI, T.; NEARING, M. A. ; HAGHIGHI, K.; BRALTS, V. F. Rill erosion and morphological evolution: a simulation model. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, n. 11, p. 3157-3168, 1998.

RAUWS, G. ; GOVERS, G. Hydraulics and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils. **Journal of Soil Science,** Baltimore, v. 39, p. 111-124, 1988.

SIMONS, D. B. ; SENTURK, F. **Sediment Transport Technology: water and sediment dynamics**. In: WATER Resources Publications. [Colorado] : [s.n.], 1992. 897p.