

## HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM ENTRESSULCOS E EM SULCOS EM Cambissolo Háplico AMBIENTE SEMIÁRIDO<sup>(1)</sup>

**Victor Casimiro Piscoya**<sup>(2)</sup>; José Ramon Barros Cantalice<sup>(3)</sup>; Moacyr Cunha Filho<sup>(3)</sup>; Yuri Jacques Agra Bezerra da Silva<sup>(4)</sup>; Sérgio Monthezuma Santoianni Guerra<sup>(3)</sup>; Manoel Vieira de França<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Trabalho executado com recursos de projeto financiado pelo CNPq – aprovado no edital MCT/CNPq/CT-agronegócio/CTHIDRO - Nº 27/2008.

<sup>(2)</sup>Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco; Recife, PE; [vcpiscoya@hotmail.com](mailto:vcpiscoya@hotmail.com) ;

<sup>(3)</sup>Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco; Recife, PE;

<sup>(4)</sup>Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco; Recife, PE;

**RESUMO:** Os processos hidrológicos em ambiente semiárido são altamente variáveis no tempo e no espaço. O objetivo da pesquisa foi esclarecer relações entre a hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em ambiente semiárido. O experimento foi conduzido em um Cambissolo Háplico visando a determinação das taxas de erosão em sulcos e em entressulcos com chuva simulada. Os resultados da erosão em entressulcos mostraram que os valores de rugosidade hidráulica para as condições de vegetação foram maiores no solo descoberto nas condições de escoamento laminar lento de acordo com os números de Reynolds e Froude, característico da erosão em entressulcos (Guy et al., 1990; Cassol et al., 2004; Bezerra & Cantalice, 2006; Cantalice et al., 2009). O comportamento hidráulico gerado pelos resultados da erosão em sulcos pré-formados indicaram que as velocidades médias e as vazões diferenciaram-se de acordo com o objetivo de avaliação dos parâmetros de erosão na forma de uma relação de incremento potencial entre as mesmas. Os valores de perdas de solo obtidos para o Cambissolo descoberto (8,43 t ha<sup>-1</sup>) foram muito superiores aos observados pelas condições de caatinga semi-arbustiva e de solo coberto por serrapilheira. Os maiores valores de fluxos aplicados, entre 28,7 e 67,4 L min<sup>-1</sup>, caracterizaram o regime turbulento como ocorre normalmente na erosão em sulcos (Bezerra et al., 2010; Knapen & Poesen, 2010; Cantalice et al., 2005; Schäfer et al., (2001) e Simons & Senturk, 1992). As perdas de solo pela erosão em entressulcos para o solo descoberto de 8,43 t ha<sup>-1</sup> foram altas, bem como as de erosão em sulcos, com erodibilidade em sulcos de 0,0021142 kg N<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> e a tensão crítica de cisalhamento ( $\tau_c$ ) de 2,34 Pa.

**Termos de indexação:** erosão hídrica, regime de escoamento, chuva simulada.

### INTRODUÇÃO

O aumento da intensidade do uso do solo e a redução da cobertura vegetal nativa do semiárido

nordestino têm levado à degradação dos recursos naturais e, em especial à redução da fertilidade do solo (Menezes & Sampaio, 2002), além da profundidade do perfil geralmente raso, dificuldade de drenagem e excesso de sódio trocável (Silva, 2000). As características dos solos dessa região aliadas ao também singular regime de chuvas localizadas, quando submetidos à exploração agrícola, lhes conferem comportamento peculiar na sua produção de sedimentos. Estudos sobre processos envolvidos nos fenômenos de produção e entrega de sedimentos, bem como sua determinação, são de fundamental importância na busca de alternativas para um melhor manejo de bacias em regiões semiáridas.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental encontra-se inserida na bacia hidrográfica do riacho Jacu, entre as cidades de Serra Talhada e Floresta, formando parte da bacia do São Pedro, estando a mesma inserida na bacia hidrográfica do Pajeú (Figura 3). Foram determinados os parâmetros físico-hídricos da bacia utilizando-se a imagem SRTM (Schuttle Radar Topography Mission). Os solos que ocorrem na bacia são Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico (Melo, 2008) e Cambissolo Háplico (Embrapa, 2006). Para caracterização do escoamento da bacia hidrográfica do Riacho Jacu foi instalado um Sensor de Nível e Vazão (Linígrafo) na seção de controle para conhecimento do regime de vazões, e um pluviógrafo para avaliação das precipitações pluviométricas. As taxas de erosão em entressulcos foi conduzido com uma sequência de 6 eventos de chuva gerados através de um simulador de chuvas desenvolvido no laboratório de Conservação do Solo da UFRPE. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 3 repetições. Os tratamentos avaliados na erosão em entressulcos foram caatinga semi-arbustiva; solo coberto por serrapilheira e solo descoberto. Na determinação das taxas de erosão em sulcos pré-formados as 16 parcelas experimentais instaladas

foram submetidas a quatro níveis de vazão com quatro repetições. Foram determinados também os parâmetros geométricos de caracterização hidráulica do escoamento nos sulcos de erosão: área, perímetro molhado e raio hidráulico, foram mensuradas também as seções transversais dos sulcos com um perfilômetro. Os tratamentos experimentais avaliados foram aplicações de crescentes níveis de fluxo (14,95; 28,70; 39,85 e 67,405 L min<sup>-1</sup>) num delineamento experimental de blocos ao acaso com 4 repetições.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

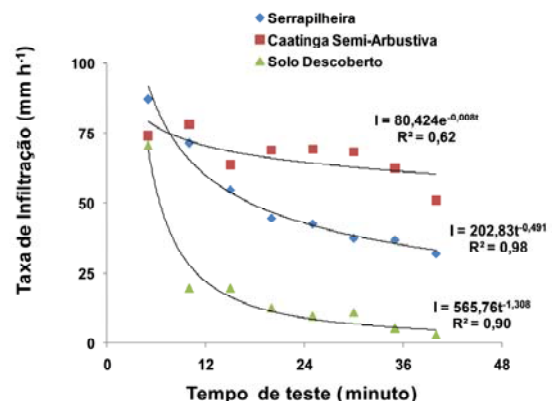
Os resultados da erosão em entressulcos apontaram que as lâminas de escoamento superficial sobre elementos de vegetação tiveram velocidades menores em relação ao solo descoberto, e o efeito do dossel da caatinga semi-arbustiva conseguiu também retardar a lâmina de escoamento, que apresentou vazão significativamente menor nessa condição (Tabela 1)

**Tabela 1** - Características hidráulicas do escoamento gerado por chuva simulada, sob as condições de caatinga semi-arbustiva, solo coberto por serrapilheira e do solo descoberto na bacia hidrográfica do Riacho Jacu.

Variáveis	Tratamentos		
	T1	T2	T3
q (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	1,4 x 10 <sup>-5</sup> B	1,9 x 10 <sup>-5</sup> A	2,9 x 10 <sup>-5</sup> A
h (mm)	0,68 ns	1,115 ns	0,68 ns
V (m s <sup>-1</sup> )	0,017 A	0,015 A	0,043 B
Re (adm.)	17,46 ns	22,36 ns	34,58 ns
Fr (adm.)	0,2391 A	0,1466 B	0,5368 A
log f (adm.)	1,0643 A	1,3940 A	0,2273 B

Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma linha não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. q=descarga líquida; h= altura da lâmina do escoamento; V= velocidade de escoamento; Re= número de Reynolds; Fr= número de Froude; log f= rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy Weisbach); T1: Caatinga semi-arbustiva; T2: Serrapilheira; T3: Solo descoberto.

Ainda na Tabela 1 observa-se que os valores de rugosidade hidráulica para as condições de vegetação foram maiores no solo descoberto, justificando as reduções de velocidade e vazão nessas condições e comprovando que os elementos de vegetação na forma de dossel da caatinga e do resíduo em contato com o solo deram origem a resistência física e hidráulica ao escoamento superficial. Observa-se que os valores de infiltração de água no solo ao longo do tempo para as três condições de coberturas vegetais avaliadas por meio do ajuste de Kostiakov apresentaram bons coeficientes de determinação (Figura 1). Maiores volumes de água atravessaram o perfil do Cambissolo para as condições de chuva e escoamento superficial sob caatinga semi-arbustiva e solo coberto por serrapilheira.

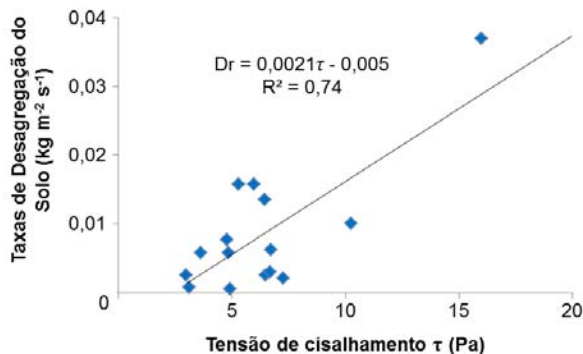


**Figura 1** - Taxas de infiltração média de água no solo para as condições da caatinga semi-arbustiva, do solo coberto por serrapilheira e do Cambissolo descoberto na bacia hidrográfica semiárida riacho Jacu

Na erosão em sulcos sobre o Cambissolo observa-se o comportamento hidráulico gerado pela aplicação de fluxos de magnitude crescente aos sulcos pré-formados. Os valores dos números de Reynolds acima de 2500 para os maiores valores de fluxos aplicados, entre 28,7 e 67,4 L min<sup>-1</sup>, caracterizaram o regime de escoamento como turbulento, e o menor fluxo aplicado de 14,95 L min<sup>-1</sup> gerou um regime de escoamento transicional, sendo, portanto, esses regimes os que normalmente ocorrem na erosão em sulcos (Bezerra et al., 2010; Knapen & Poesen, 2010; Cantalice et al., 2005; Schäfer et al., (2001) e Simons & Senturk, 1992). A partir da análise de regressão entre as taxas de desagregação de solo nos sulcos com as tensões de cisalhamento desenvolvidas pela aplicação dos fluxos foram obtidas a erodibilidade do solo em sulcos (Kr) e a tensão crítica de cisalhamento ( $\tau_c$ ) do solo pelo escoamento superficial. Dessa forma, erodibilidade em sulcos (Kr) foi obtida pelo coeficiente b ou declividade da reta (Lafren & Thomas, 1987; Flanagan, et al., 2001; Bulygina, 2007) conforme descrito em Knapen & Poesen (2010), sendo então de 0,0021142 kg N<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> e a tensão crítica de cisalhamento ( $\tau_c = -a/b$  ou o intercepto em x para y=0) de 2,34 Pa, ambos obtidos pela análise da (Figura 2) para um ajuste com R<sup>2</sup>=0,74. O valor de erodibilidade em sulcos obtido foi mais elevado que os determinados por Lafayette et al. (2011) para um Latossolo (0,0016 kg N<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>), Schäfer et al. (2001) e Braidia e Cassol (1996) para dois Argissolos, de 0,012 Kg N<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> e 0,0104 kg N<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse valor mais elevado justifica-se pelo fato do Cambissolo em questão encontrar-se menos desenvolvido e mais raso do que os Latossolos e

Argissolos comumente encontrados.

O valor de tensão crítica de cisalhamento ( $\tau_c$ ) de 2,34 também foi menor que os determinados para diversos Argissolos (Schäferet al., 2001; Giason & Cassol, 1996; Cantalice et al., 2005) e justifica-se por este Cambissolo ser um solo menos evoluído e de composição granulométrica com bastante areia, conferindo menor resistência a ação cisalhante do escoamento superficial concentrado.



**Figura 2** - Erodibilidade do solo ( $K_r$ ) em sulcos e tensão crítica de cisalhamento ( $\tau_c$ ), obtidas a partir da regressão das taxas de desagregação do solo ( $D_r$ ) com as respectivas tensões de cisalhamento do escoamento superficial gerados pelos fluxos crescentes aplicados.

**Tabela 2** - Parâmetros da erosão em sulcos obtidos nos sulcos pré-formados sobre o Cambissolo da bacia hidrográfica do Jacu

Parâmetros de erosão	Fluxos aplicados aos sulcos ( $L \cdot min^{-1}$ )			
	14,95	28,7	39,85	67,4
$\tau$ (Pa)	4,376 B	5,128 A	6,285 A	13,079 A
$D_r$ ( $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )	0,0028 B	0,0053 B	0,0096 A	0,0246 A
PS ( $t \cdot ha^{-1}$ )	3,150 B	6,601 A	13,576 A	24,889 A

Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma linha não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

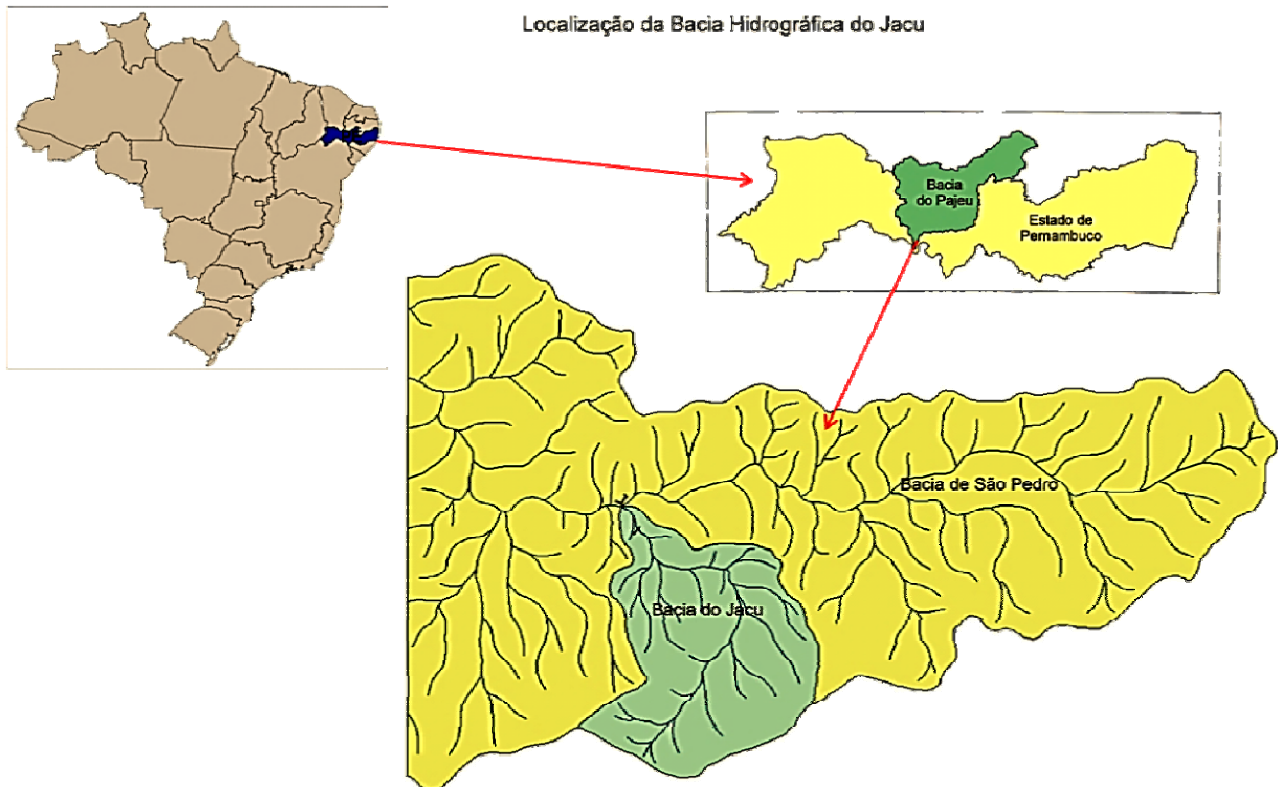
## CONCLUSÕES

– As perdas de solo pela erosão em entressulcos para o solo descoberto de  $8,43 t \cdot ha^{-1}$  foram altos, bem como as de erosão em sulcos, com erodibilidade em sulcos de  $0,0021142 kg \cdot N^{-1} \cdot s^{-1}$  e a tensão crítica de cisalhamento ( $\tau_c$ ) de 2,34 Pa.

Os valores de produção de sedimentos obtidos para a bacia do Jacu foram baixos, pois se trata de uma pequena bacia, com declividade média baixa e, transporte de sedimento limitado pelo clima semiárido.

## REFERÊNCIAS

- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA, M. F.; SOUZA, W. L. da S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um Cambissolo do semiárido do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol.34 n° 4. 2010.
- CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L.; MELO, R. O. de. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividades e doses de cobertura morta. *Caatinga*, Mossoró., v.22, n.2, p.68-74, 2009.
- CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2005. 29:597-607.
- BEZERRA, S. A. & CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo sob cultivo da cana-de-açúcar *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa – MG, 30: 565-573, 2006.
- CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L.; MELO, R. O. de. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividades e doses de cobertura morta. *Caatinga*, Mossoró., v.22, n.2, p.68-74, 2009.
- CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa agropecuária*. Brasília, v.39, n7, 2004. p. 685-690.
- GUY, B. T.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P. Hydraulics of sediment-land in sheet low and the influence of simulated rainfall. *Earth Surf. Proc. Land f.* 15:101-118, 1990.
- KNAPEN, A.; POESEN, J. Soil erosion resistance effects on rill and gully points and dimensions. *Earth Surface Processes and Landforms*, V. 35, 217-228 p. 2010.
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no semiárido paraibano. In: SILVEIRA, L. M.; PETERSEN, P & SABOURIN, E., orgs. *Agricultura familiar e agroecologia no semiárido: Avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro, AS - PTA, p 249 - 260. 2002.
- SCHÄFER, M. J.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F. & REINERT, D.J. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 419-430, 2001.
- SIMONS, D. B.; SENTÜRK, F. *Sediment transport technology*. Fort Collins, Water Resources Publications, 807 p. 1992.



**Figura 3** - Localização da bacia hidrográfica do riacho Jacu inserida na bacia do Pajeú