



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROÇÃO HÍDRICA SIMULADAS EM VERTENTES DA BACIA DE ARVOREZINHA, RS, UTILIZANDO O MODELO WEPP

Flávio Pereira de Oliveira⁽¹⁾; **Elemar Antonino Cassol**⁽²⁾; **Gustavo Henrique Merten**⁽³⁾; **Jean Paolo Gomes Minella**⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Professor Adjunto, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba – DSER/CCA/UEPB. Rodovia PB 079 – Km 12, Cidade Universitária, CEP 58397-000, Areia (PB). E-mail: pereira@cca.ufpb.br; ⁽²⁾ Professor Associado, Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – DS/UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970, Porto Alegre (RS). E-mail: cassolea@orion.ufrgs.br; ⁽³⁾ Professor Adjunto, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre (RS). E-mail: merten@iph.ufrgs.br; ⁽⁴⁾ Professor Adjunto, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria – CCR/UFSM. Av. Roraima 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). E-mail: jminella@gmail.com

Resumo – Os modelos de predição da erosão hídrica do solo são utilizados para melhor compreender os processos erosivos, analisar o desempenho de práticas de manejo e avaliar os riscos e os benefícios de diferentes usos do solo. Dentre os inúmeros modelos existentes, o modelo de base física *WEPP* é um dos mais relevantes na predição da erosão hídrica. Este trabalho foi realizado com objetivo de avaliar o desempenho do modelo *WEPP* em duas vertentes geomorfologicamente distintas localizadas na bacia hidrográfica da comunidade de Cândido Brum, município de Arvorezinha, na região das encostas basálticas do Estado do Rio Grande do Sul. O modelo foi utilizado sem calibração onde os parâmetros de entrada (erodibilidade do solo em entressulcos e em sulcos, tensão crítica de cisalhamento do solo, condutividade hidráulica saturada) foram obtidos experimentalmente e estimados por equações da rotina interna do modelo. Para fins de avaliação dos valores sedimentológicos simulados esses foram comparados com valores hidrossedimentológicos medidos no exutório da bacia que contem as vertentes utilizadas na simulação. Os resultados mostraram que as diferenças entre os valores sedimentológicos simulados pelo modelo e os medidos foram menores quando os parâmetros de entrada foram obtidos experimentalmente ao invés daqueles estimados por equações da rotina interna do modelo. Os valores de coeficientes de escoamento simulados pelo modelo com dados do componente solo obtidos sob condição experimental de campo, nas duas vertentes estudadas, se assemelharam em relação aos valores observados por meio de monitoramento da bacia. O modelo *WEPP* apresenta boas condições para ser aplicado nas condições edafoclimáticas da região sul do Brasil, especialmente quando seus principais parâmetros são determinados nas condições locais.

Palavras-Chave: modelagem da erosão e do transporte de sedimentos; pequenas bacias, *WEPP*.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas são naturalmente bem estruturados funcionalmente e apresentam forte resiliência. Entretanto, por não serem infalíveis, estão sempre sujeitos à degradação. Alguma interferência sobre a vegetação ou que cause alterações que modifiquem as propriedades do solo pode comprometer a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, levando-os a um estado inicial de disfunção que pode atingir um processo degenerativo de suas funções que culmina com a degradação.

Dentre as causas de redução da capacidade produtiva dos solos e da degradação do meio ambiente, a erosão hídrica é uma das formas mais intensas de degradação do solo, uma vez que reduz a capacidade produtiva das culturas, além de causar sérios danos ambientais. Este fenômeno varia com as características edafoclimáticas locais, sofrendo assim grande variação em diferentes condições ambientais.

Visando o controle do processo erosivo, um manejo agrícola efetivo requer o entendimento das interações complexas entre os processos químicos, físicos, hidrológicos e meteorológicos. Por esse motivo, para identificar áreas com problemas erosivos em bacias hidrográficas, modelos vêm sendo utilizados com mais frequência, já que estes permitem descrever matematicamente os processos de desprendimento, transporte e deposição de partículas do solo.

Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados, desde a década de 50, com o intuito de prever a magnitude das perdas de solo por erosão. Entre esses estão modelos empíricos como a “*Universal Soil Loss Equation*” (*USLE*) (Wischmeier & Smith, 1978), a “*Revised Universal Soil Loss Equation*” (*RUSLE*) (Renard et al., 1997) e o “*Soil and Water Assessment Tool*” (*SWAT*) (Arnold et al., 1998) e modelos baseados em princípios físicos, como o “*Water Erosion Prediction Project*” (*WEPP*) (Lane et al., 1987; Laflen et al., 1991; United State Department of Agricultural, USDA, 1995; Flanagan & Nearing, 1995).

O modelo *WEPP* foi desenvolvido e os seus parâmetros ajustados para condições de clima temperado. Em razão disso, torna-se de fundamental importância uma verificação da aplicabilidade para condições edafoclimáticas

brasileiras, uma vez que o desenvolvimento de um modelo torna-se oneroso em termos de tempo e recursos necessários, tanto do ponto de vista de coleta de dados quanto dos diversos níveis do conhecimento que envolve o processo erosivo.

Este trabalho foi realizado com objetivo de avaliar o desempenho do modelo *WEPP* em duas vertentes geomorfologicamente distintas localizadas na bacia hidrográfica da comunidade de Cândido Brum, município de Arvorezinha, na região das encostas basálticas do Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em duas vertentes da bacia hidrográfica rural do Lajeado Ferreira, localizada na comunidade de Cândido Brum, município de Arvorezinha, região centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul (28° 52' S e 52° 05' W), a cerca de 240 km de Porto Alegre-RS.

As vertentes estudadas estão inseridas na bacia hidrográfica rural que possui área total de, aproximadamente, 1,19 km². No ano de 2002 iniciou-se o monitoramento hidrossedimentológico na bacia de Arvorezinha. Desde então foram monitorados, intensivamente, os principais eventos de cheia, concentração de sedimentos em suspensão, bem como a variabilidade espacial e temporal do uso e manejo dos solos (Minella et al., 2009; Minella, 2007).

O clima da área onde se localiza a bacia, segundo classificação de Koppen, é do tipo Cfb, subtropical úmido com verões quentes, inverno com geadas frequentes e precipitação média de 1600 mm, bem distribuída ao ano (Minella et al., 2007).

As unidades de solos encontradas na região e na bacia hidrográfica são classificadas como Argissolos, Cambissolos e Neossolos (EMBRAPA, 2006). Nas vertentes selecionadas, o solo predominante é classificado como Argissolo.

O solo é utilizado para atividades agrícolas, entre as quais se destaca o cultivo do fumo com preparo tradicional. Entretanto, os usos atuais encontrados na área da bacia compõem-se de áreas agrícolas com lavouras anuais em sistema de cultivo mínimo, áreas agrícolas com lavouras anuais em sistema tradicional, áreas de pastagem perene, áreas de mata, áreas de capoeira e estradas (Mello, 2006).

Experimentos para determinação de parâmetros de entrada da componente solo do modelo WEPP

Simulações realizadas com o modelo *WEPP* necessitam da elaboração de arquivos de entrada de dados para as componentes de solo, clima, topográfico, uso e manejo do solo. Esses arquivos foram montados por meio de informações locais e por meio da realização de estudos visando à determinação dos principais parâmetros de entrada no modelo.

Trabalhos experimentais sob condição de campo e laboratório foram realizados para obtenção dos dados requeridos pelo arquivo de solos do modelo *WEPP*. Os parâmetros de erodibilidade do solo em entressulcos (fator K_i), erodibilidade do solo em sulcos (fator K_r), tensão crítica de cisalhamento do solo (τ_c) e

condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) foram determinados sob condição experimental de campo e de laboratório. Albedo, bem como informações processadas em laboratório referente à porcentagem de argila e areia, percentual de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions também foram determinadas.

A estimativa do valor do fator de erodibilidade do solo (entressulcos e em sulcos) foi também realizada utilizando equação de regressão da rotina interna do modelo *WEPP* (Flanagan & Nearing, 1995), considerando superfícies de solos cultivados contendo menos de 30 % de areia.

Simulações da dinâmica de desagregação e deposição de sedimentos pelo modelo WEPP

Para realização de simulações com *WEPP*, associados aos dados do componente solo, foi necessária a elaboração de arquivos de clima, obtidos da estação climatológica mais próxima do local. Também foram levantados dados topográficos, com informações de comprimento e altitudes obtidas em diversos pontos ao longo de cada vertente. Com referência ao uso e manejo do solo foi elaborado um calendário anual formulado por meio de informações locais considerando o uso atual da área.

Diferentes períodos de simulações foram realizados utilizando o modelo *WEPP*, visando avaliar a produção de sedimentos em cada vertente. Realizaram-se simulações utilizando dados do componente solo do modelo *WEPP* (K_i , K_r , τ_c e K_{sat}) obtidos sob condição experimental de campo e estimados por equações da rotina interna do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Simulações realizadas com dados do componente solo (K_i , K_r , τ_c e K_{sat}) do modelo WEPP obtidos sob condição experimental de campo

Com base nas determinações de campo efetuadas por Oliveira (2010), utilizaram-se os valores de $0,64 \times 10^{-6} \text{ kg s m}^{-4}$ para erodibilidade do solo em entressulcos (K_i), $0,0035 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ para erodibilidade do solo em sulcos (K_r), $3,95 \text{ Pa}$ para tensão crítica de cisalhamento (τ_c) e 22 mm h^{-1} para condutividade hidráulica saturada do solo (K_{sat}) para obtenção dos valores anuais para diferentes períodos de simulação pelo modelo *WEPP* referentes à precipitação, escoamento superficial e produção de sedimentos (Tabela 1). Observou-se que, entre as vertentes estudadas, as médias dos valores anuais entre os períodos simulados para precipitação apresentaram amplitude de variação entre 1751 e 1790 mm. Em relação aos valores obtidos de escoamento superficial, a primeira vertente apresentou volume de escoamento variando 333 a 386 mm, enquanto na segunda essa variação foi de 334 a 381 mm.

Nas duas condições, considerando períodos de simulação de 1 e 100 anos, os coeficientes de escoamento superficial foram de 19 e 21 % na primeira vertente e 19 e 20 % na segunda vertente, obtidos por meio da relação entre a lâmina de escoamento superficial e a lâmina precipitada. Assim, do total de chuva precipitado, 81 e 79 % infiltraram no solo e 19 e 21 % resultaram em escoamento superficial, na primeira vertente. Na segunda vertente, do total de chuva precipitado, 81 e 80 % infiltraram no solo e 19 e 20 % resultaram em escoamento superficial.

Minella et al. (2009) verificaram trabalhando em uma escala de pequena bacia (1 km²), onde situam-se as duas vertentes, valores de coeficientes de escoamento de 16 e 35 % obtidos de valores médios de eventos monitorados durante o período de maio de 2002 a março de 2006 e de evento extremo ocorrido em 25/10/2003, respectivamente. Nesta comparação entre os valores simulados pelo modelo *WEPP* e observados por meio de monitoramento da bacia, observa-se que os valores de coeficientes de escoamento simulados, nas duas vertentes estudadas, se assemelharam aos valores médios obtidos na bacia.

As médias dos valores anuais de produção de sedimentos nas vertentes simuladas pelo *WEPP* com dados do componente solo obtidos sob condição experimental de campo, na primeira vertente variaram entre 10,83 e 2,38 t ha⁻¹ ano⁻¹ e na segunda vertente variaram entre 8,69 e 2,26 t ha⁻¹ ano⁻¹, considerando períodos de simulação de 1 e 100 anos (Tabela 1). A média anual da produção de sedimentos observada em cinco anos de monitoramento hidrossedimentológico na bacia de Arvorezinha foi de 1,23 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 3). Observaram-se valores simulados superiores nas condições estudadas, principalmente na primeira vertente. Os valores de produção de sedimentos simulados, na primeira vertente foram 8,8 e 1,9 vezes e na segunda vertente foram 7,1 e 1,8 vezes superiores na observado na bacia, considerando períodos de simulação de 1 e 100 anos.

Simulações realizadas com dados do componente solo (K_b , K_r , τ_c e K_{sat}) estimados por equações da rotina interna do modelo *WEPP*

Uma segunda simulação foi realizada utilizando dados do componente solo do *WEPP* estimados por equações da rotina interna do modelo. Com base nessas equações, Oliveira (2010) determinou os valores de $4,25 \times 10^{-6}$ kg s m⁻⁴ para erodibilidade do solo em entressulcos (K_{ib}), 0,0071 kg N⁻¹ s⁻¹ erodibilidade do solo em sulcos (K_{rb}), 3,50 Pa para tensão crítica de cisalhamento (τ_{cb}) e 3,6 mm h⁻¹ para condutividade hidráulica saturada do solo (K_b). Com isso, as médias dos valores anuais referentes à precipitação, escoamento superficial e produção de sedimentos, são mostrados na Tabela 2.

Os valores médios de precipitação foram semelhantes entre as vertentes estudadas assim como na primeira simulação realizada utilizando dados do componente solo do modelo obtidos sob condição experimental de campo. Em relação aos valores obtidos de escoamento superficial, a primeira vertente apresentou volume de escoamento variando 402 a 689 mm, enquanto na segunda essa variação foi de 393 a 675 mm (Tabela 2). Ambas as condições apresentaram valores superiores comparadas à primeira de simulação.

Nas duas condições, considerando períodos de simulação de 1 e 100 anos, os coeficientes de escoamento superficial foram de 23 e 39 % na primeira vertente e 22 e 38 % na segunda vertente. Comparados a primeira simulação realizada e ao observado por meio de monitoramento da bacia, os valores dos

coeficientes de escoamento superficial foram superiores.

As médias dos valores anuais de produção de sedimentos nas vertentes simuladas pelo *WEPP* com dados do componente solo estimados por equações da rotina interna do modelo, na primeira vertente variaram entre 26,85 e 5,33 t ha⁻¹ ano⁻¹ e na segunda vertente variaram entre 14,19 e 3,28 t ha⁻¹ ano⁻¹, considerando períodos de simulação de 1 e 100 anos (Tabela 2). À média anual da produção de sedimentos observada em cinco anos de monitoramento hidrossedimentológico na bacia de Arvorezinha foi de 1,23 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 3). Observaram-se valores obtidos nessa forma de simulação bem superiores nas condições estudadas, principalmente na primeira vertente. Os valores de produção de sedimentos simulados, na primeira vertente foram 21,8 e 4,3 vezes e na segunda vertente foram 11,5 e 2,7 vezes superiores na observado na bacia, considerando períodos de simulação de 1 e 100 anos.

A utilização de dados da componente solo do *WEPP* (K_i , K_r , τ_c e K_{sat}) obtidos sob condição experimental de campo comparados à utilização de dados estimados por equações da rotina interna do modelo nas simulações realizadas, especificamente para os períodos de simulação de 1 e 100 anos, promoveu uma redução na média dos valores anuais simulados de produção de sedimentos em 148 e 124 % na primeira vertente e 122 e 45 % na segunda vertente, respectivamente. Em relação ao escoamento superficial, a utilização da condutividade hidráulica obtida sob condição experimental de campo melhorou as médias dos valores simulados em 21 e 87 % na primeira e 18 e 85 % na segunda vertente.

CONCLUSÕES

1. Os coeficientes de escoamento simulados pelo modelo *WEPP* com dados obtidos sob condição experimental, nas duas vertentes estudadas, se assemelharam em relação aos valores observados por meio de dados obtidos em cinco anos de monitoramento hidrossedimentológico da bacia.
2. A produção de sedimentos nas simulações com o modelo *WEPP* foram superestimadas comparadas ao observado nos cinco anos de monitoramento sedimentológico da bacia, principalmente nas simulações de curto período.
3. Os resultados mostraram que as diferenças entre os valores sedimentológicos obtidos nas diferentes formas de simulação pelo modelo e os medidos foram menores quando os parâmetros de entrada foram obtidos experimentalmente ao invés daqueles estimados por equações da rotina interna do modelo.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modelling and assessment: Part I. Model development. Journal of the American Water Resources Association, Herndon, v. 34, n. 1, p. 73–89, 1998.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (RJ). Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 2006. 306p.
- FLANAGAN, D.C.; NEARING, M.A. United States Department of Agriculture–USDA: Water erosion prediction project. West Lafayette : National Soil Erosion Research Laboratory – NSERL, 1995. (Technical Documentation, 10).

- LAFLEN, J.M.; LANE, L.J.; FOSTER, G.R. The water erosion prediction project – a new generation of erosion prediction technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v. 46, p. 34-38, 1991.
- LANE, L.J.; FOSTER, G.R.; NICKS, A.D. Use of fundamental erosion mechanics in erosion prediction. St. Joseph, ASAE, 1987.
- MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; WALLING, D.E.; REICHERT, J.M. Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in southern Brazil. *Catena*, Amsterdam, v. 79, p. 228-236, 2009.
- MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; REICHERT, J.M.; SANTOS, D.R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 1637-1646, 2007.
- MELLO, N.A. Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo. 2006. 248 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- OLIVEIRA, F. P. de. Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica em bacia rural em Arvorezinha, RS, utilizando o *WEPP*. 2010. 151 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington DC : US Department of Agriculture, 1997. 384 p. (Agriculture Handbook, 703).
- USDA. Water erosion prediction project – *WEPP*. United State Department of Agricultural, West Laffayette, 1995 (Technical documentation, NSERL, Report, n. 10).
- UZEIKA, T. Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural. 2009. 132f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. Washington : USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

Tabela 1. Médias dos valores anuais de precipitação, escoamento e produção de sedimentos nas vertentes estudadas, para simulações realizadas com dados do componente solo do modelo *WEPP* obtidos sob condição experimental de campo.

Simulação	Segmento	Precipitação	Escoamento	Produção de sedimentos
ano	m	mm	mm	t ha ⁻¹ ano ⁻¹
<u>Vertente 01</u>				
1	142	1751	333	10,83
25	142	1790	386	10,07
50	142	1778	373	5,05
100	142	1761	366	2,38

<u>Vertente 02</u>				
1	199	1751	334	6,39
25	199	1790	381	8,69
50	199	1778	368	4,78
100	199	1761	361	2,26

Tabela 2. Médias dos valores anuais de precipitação, escoamento e produção de sedimentos nas vertentes estudadas, para simulações realizadas com dados do componente solo do *WEPP* (K_i , K_r , τ_c e K_{sat}) estimados por equações da rotina interna do modelo.

Simulação	Segmento	Precipitação	Escoamento	Produção de sedimentos
ano	m	mm	mm	t ha ⁻¹ ano ⁻¹
<u>Vertente 01</u>				
1	142	1751	402	26,85
25	142	1790	685	21,36
50	142	1778	689	11,33
100	142	1761	683	5,33

<u>Vertente 02</u>				
1	199	1751	393	14,19
25	199	1790	671	12,59
50	199	1778	675	6,61
100	199	1761	669	3,28

Tabela 3. Resultados da produção de sedimentos anual medidas na bacia de Arvorezinha (Uzeika, 2009).

Ano	Produção de sedimentos observada
	t ha ⁻¹ ano ⁻¹
2002	1,84
2003	1,94
2004	0,61
2005	1,19
2006	0,58
Média	1,23