

José M. A. da Silva¹Fernando F. Pruski¹Lineu N. Rodrigues²Roberto A. Cecílio³

Modelo para a obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 2. Avaliação

RESUMO

Neste artigo se apresenta avaliação do desempenho do modelo para estimativa do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas apresentado por Silva et al. (2009). Monitorou-se uma bacia experimental localizada em Viçosa (MG), obtendo-se hidrogramas de escoamento superficial relativos a quatro eventos de precipitação. O modelo desenvolvido foi capaz de prover boa estimativa do hidrograma de escoamento superficial para estes eventos. A comparação destas estimativas com aquelas feitas por intermédio do Método Racional e do Método do Número da Curva possibilitou evidenciar superioridade do modelo desenvolvido na estimativa da vazão máxima e da lâmina total escoada.

Palavras-chave: método do número da curva, método racional, modelagem hidrológica

Model to obtain the runoff hydrogram in watersheds. 2. Assessment

ABSTRACT

The model developed to obtain the runoff hydrogram (presented by Silva et al., 2009) was evaluated by the comparison of the results obtained it with those measured in one experimental watershed placed in Viçosa, Minas Gerais State – Brazil, where the runoff hydrograms to four precipitation events were obtained. The model developed was able to provide good results to estimate the hydrogram. The comparison of the results obtained with the model with those estimated by the Rational Method (to estimate the maximum flow rate) and the Curve Number Method (to estimate the maximum surface runoff depth) showed a better performance of the first.

Key words: Curve number method, rational method, hydrologic modelling

¹ Dep. de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 36570-000, jmarcio@gprh.ufv.br, fpruski@ufv.br

² EMBRAPA Cerrados, BR 020, km 18, Rod. Brasília/ Fortaleza, Caixa postal 08223, 73301-970, Planaltina/DF, lineu@cpac.embrapa.br

³ Dep. de Eng. Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, cx postal 16, Guararema, Alegre/ES, 29500-000, racecilio@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Dentre os inconvenientes causados pelo escoamento superficial, a erosão hídrica destaca-se como um dos graves problemas nas áreas agrícolas e florestais, sendo responsável direto pela perda de nutrientes e redução da produtividade das culturas (Mamo & Bubenzer, 2001), além de causar destruição de habitats aquáticos e redução da capacidade de armazenamento de reservatórios (Rauhofer et al., 2001), devido ao transporte de agroquímicos e partículas de solo. Neste contexto, estimativas de escoamento superficial são fundamentais para se verificar o risco da ocorrência de erosão em estradas e áreas agrícolas (Young et al., 2002) e florestais, para a análise do risco de ocorrência de inundações (Gomes & Mattos, 1999) e em estudos de impacto ambiental.

Medições de escoamento superficial no campo são caras e demandam tempo, o que tem motivado o desenvolvimento e uso de modelos matemáticos para estimá-lo (Ma et al., 1998). O Método Racional e o Método do Número da Curva vem sendo amplamente utilizados devido à sua simplicidade e facilidade de aplicação. O Método Racional é capaz de estimar apenas a vazão máxima de escoamento superficial, mas não prevê estimativas do volume total escoado nem da distribuição temporal das vazões. Por outro lado, o Método do Número da Curva (Soil Conservation Service, 1972) é capaz de estimar a lâmina total escoada, mas não a vazão máxima de escoamento.

Todavia, o caráter empírico associado à determinação dos parâmetros necessários para a aplicação dos métodos Racional e do Número da Curva é alvo de críticas referentes à aplicação destes métodos nas condições edafoclimáticas do Brasil, uma vez que estes foram desenvolvidos em condições típicas de países de clima predominantemente temperado.

Em muitos estudos hidrológicos, assim como em planejamentos conservacionistas de uso do solo, é conveniente conhecer o comportamento da vazão de escoamento ao longo do tempo, isto é, o hidrograma de escoamento superficial. Visando atender esta demanda é que desenvolveu-se, em Silva et al. (2009), um modelo físico que permite a obtenção do hidrograma de escoamento superficial em posições situadas na encosta e nos canais de drenagem de uma bacia hidrográfica, realizando-se, em uma base diária, o balanço hídrico a partir de dados relativos à precipitação, cobertura vegetal, solo, topografia e evapotranspiração.

Do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho do modelo desenvolvido na parte I e comparar seu desempenho àquele obtido com o emprego dos métodos Racional e do Número da Curva para condições de uma bacia hidrográfica localizada em Viçosa, MG.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção dos dados experimentais

Procedeu-se à avaliação do desempenho do modelo pela comparação dos valores obtidos pela sua aplicação com os valores observados experimentalmente. Para tal, registraram-

se todos os eventos de precipitação e de escoamento superficial ocorridos durante o período de novembro de 2001 a fevereiro de 2002, em uma bacia hidrográfica situada no distrito de Palmital, município de Viçosa (MG), com uma área de 3,99 ha e na qual não apresenta curso d'água permanente.

Para a obtenção dos pluviogramas e hidrogramas experimentais foi instalada, na seção de deságüe da bacia, uma estação para o monitoramento da vazão e da precipitação, constituída de um linígrafo, um vertedor, um pluviógrafo e um "data logger", para armazenamento dos dados.

Realizou-se o levantamento topográfico da bacia por meio de topografia digital, sendo os ângulos e distâncias determinados eletronicamente por meio dos métodos da poligonização por caminhamento e irradiação. Posteriormente obteve-se o modelo digital de elevação do terreno (Figura 1) contendo 264 colunas e 284 linhas, sendo o tamanho de cada célula igual a 1 m².

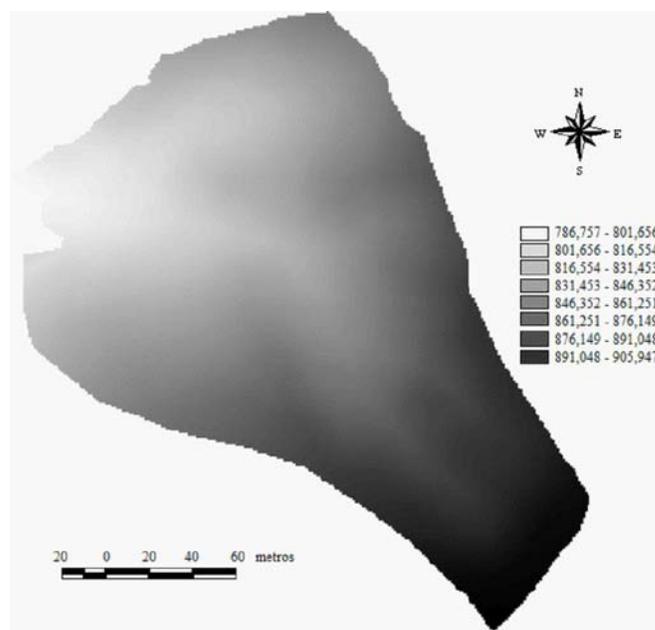


Figura 1. Representação do modelo digital de elevação da bacia hidrográfica

Figure 1. Digital elevation model of the watershed

Durante o período de coleta de dados, verificou-se que apenas quatro eventos de precipitação proporcionaram escoamento superficial expressivo na bacia hidrográfica, sendo os hidrogramas observados em cada evento apresentados na Figura 2.

Na Tabela 1 apresentam-se, para os quatro eventos em que houve escoamento superficial, os valores referentes ao total precipitado (PT, em mm), à duração da precipitação (t_d , em minutos) e ao seu período de retorno equivalente (T). O valor de T, em anos, foi obtido a partir da equação de chuvas intensas da localidade de Viçosa, MG (equação 1), determinada por Pinto et al. (1996), considerando-se a intensidade máxima média de precipitação (i_m , em mm h⁻¹) igual a $(PT/t_d) \cdot 60$ e substituindo o valor da duração da precipitação (t, em minutos) pelo valor de t_d .

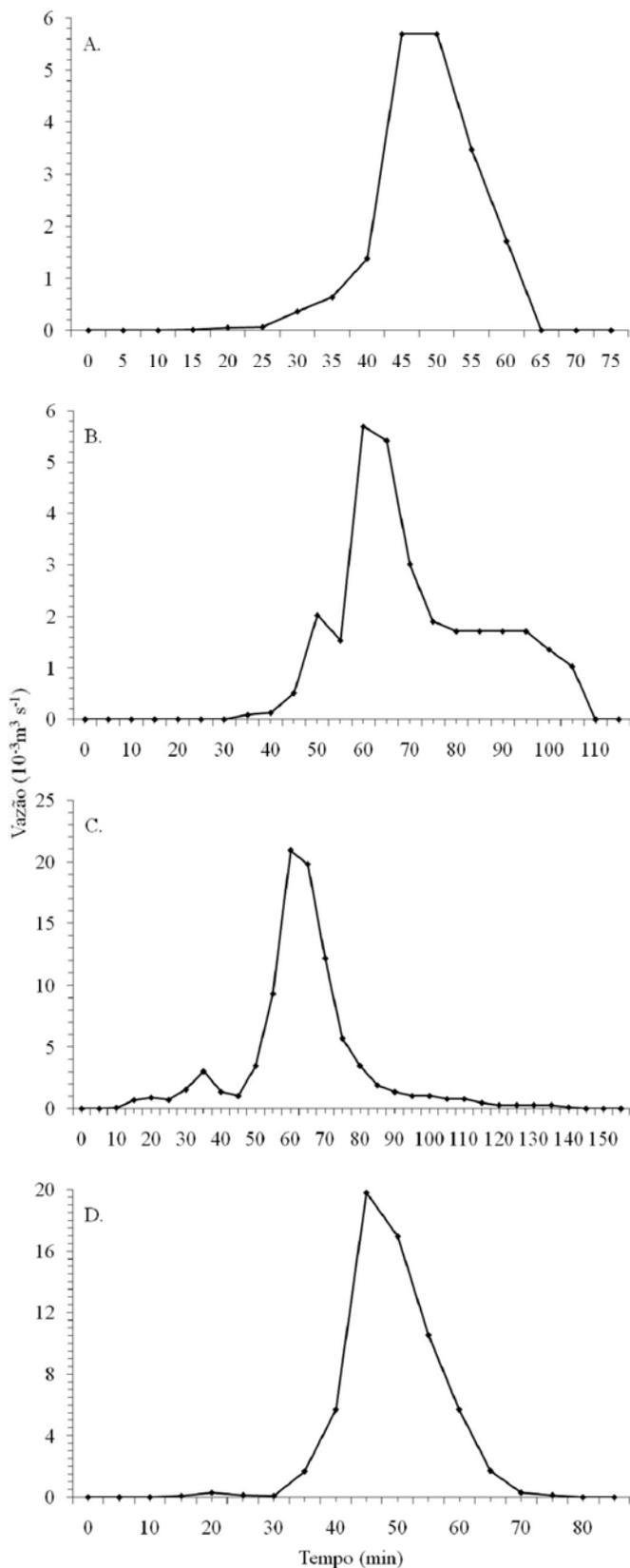


Figura 2. Hidrogramas experimentais de escoamento superficial ocorridos na bacia: (a) evento 1 - dia 01/12/2001; (b) evento 2 - dia 02/01/2002; (c) evento 3 - dia 02/02/2002; e (d) evento 4 - dia 16/02/2002 (Evento 4).

Figure 2. Experimental runoff hydrographs for the watershed: (a) event 1 - day 12/01/2001; (b) event 2 - day 01/02/2002; (c) event 3 - day 02/02/2002; and (d) event 4 - day 02/16/2002.

Tabela 1. Total precipitado, duração da precipitação e período de retorno equivalente para os eventos de precipitação que geraram escoamento na bacia experimental

Table 1. Depth, duration and return period of the rainfall events for four events that occurred in the experimental watershed

| | Evento 1* | Evento 2** | Evento 3*** | Evento 4**** |
|---|-----------|------------|-------------|--------------|
| Total precipitado - PT (mm) | 108,6 | 23,6 | 56,8 | 56,6 |
| Duração da precipitação - t_d (min) | 455 | 35 | 80 | 65 |
| Período de retorno equivalente - T (anos) | 5,6 | 0,6 | 3,9 | 5,4 |

* Evento de precipitação ocorrido no dia 30/11/2001; ** Evento de precipitação ocorrido no dia 01/01/2002; *** Evento de precipitação ocorrido no dia 02/02/2002; **** Evento de precipitação ocorrido no dia 16/02/2002.

$$i_m = \frac{1082,798 T^{0,265}}{(t + 23,781)^{0,775}} \quad (1)$$

Em laboratório, realizou-se, além da determinação da análise granulométrica do solo da bacia, a determinação da massa específica ($\rho = 1,27 \text{ g cm}^{-3}$), da porosidade ($\varepsilon = 0,52 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e da curva de retenção da água no solo.

Utilizando-se o método do infiltrômetro de anéis (Bernardo, 1995), determinou-se a taxa de infiltração estável da água no solo (Tie), obtendo-se o valor de 68 mm h^{-1} .

Estimativa do escoamento superficial

Aplicação do modelo desenvolvido

Tendo em vista o fato de que o solo da bacia experimental era uniforme e possuía apenas um tipo de cobertura vegetal, correspondente a pastagem, optou-se por utilizar, na aplicação do modelo desenvolvido, condições uniformes para os parâmetros de entrada: condutividade hidráulica do solo saturado (K_s), potencial matricial na frente de umedecimento (S_w), umidade de saturação (θ_s), umidade inicial (θ_i), interceptação pela cobertura vegetal (ICV), armazenamento superficial (ARM) e coeficiente de rugosidade de Manning (n).

Com relação aos parâmetros utilizados na estimativa da infiltração, considerou-se a proposta feita por Cecílio et al. (2003), tomando-se o θ_w igual a $0,79 \varepsilon$, ou seja, $0,41 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; valor de K_s igual à Tie; e calculando-se S_w por meio da equação 2 (Risse et al., 1995), obtendo-se o valor $61,6 \text{ mm}$. O valor de q_i era obtido por intermédio do balanço hídrico diário do solo.

$$S_w = 0,01e^{(P1+P2+P3)} \quad (2)$$

$$P1 = 6,531 - 7,326 \varepsilon + 15,8 \text{ Ag}^2 + 3,809 \varepsilon^2$$

$$P2 = 3,44 \text{ Ar Ag} - 4,989 \text{ Ar p} + 16,1 \text{ Ar}^2 \varepsilon^2$$

$$P3 = 16 \text{ Ag}^2 \varepsilon^2 - 13,6 \text{ Ar}^2 \text{ Ag} - 34,8 \text{ Ag}^2 \varepsilon - 7,99 \text{ Ar}^2 \varepsilon$$

em que:

Ar - teor de areia, decimal; e

Ag - teor de argila, decimal.

Como toda a área da bacia encontrava-se ocupada por pastagem, utilizou-se o valor de $1,0 \text{ mm}$ para a ICV (Woolhiser et al. (1990); Morgan et al. (1998)). Em relação a ARM, considerou-se o valor $1,98 \text{ mm}$, obtidos pela equação 3, utilizando-se o banco de dados fotográfico constante em Renard et al. (1997) para obtenção da rugosidade randômica da su-

perfície da bacia (RR, em mm), e tomando a declividade média da bacia (S_t) igual a 56,1%.

$$ARM = 112 RR + 3.100 RR^2 - 1,2 RR S_t \quad (3)$$

O valor de n foi selecionado de forma a contemplar condições de pastagem, sendo igual a $0,12 \text{ s m}^{-1/3}$.

Os valores referentes à capacidade de campo (CC) e ponto de murcha (PMP) foram obtidos a partir da curva de retenção, adotando-se a CC como a umidade do solo referente à tensão de 10 kPa ($0,323 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e o PMP referente à tensão de 1.500 kPa ($0,164 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

A lâmina de escoamento superficial (LES, em mm) foi obtida pela equação

$$LES = 1.000 \frac{Vol}{Ad} \quad (4)$$

em que:

Vol - volume escoado superficialmente, m^3 ; e

Ad - área da bacia de drenagem, m^2

Aplicação do Método Racional

A equação para obtenção da vazão máxima pelo Método Racional é expressa por

$$Q_{\max} = \frac{C i_m A_d}{3,6 \cdot 10^6} \quad (5)$$

em que:

Q_{\max} - vazão máxima de escoamento superficial, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$; e

C - coeficiente de escoamento superficial, adimensional

Para a obtenção de C utilizou-se tabelas específicas, apresentadas em Pruski et al. (2006), encontrando-se um valor igual a 0,6 para as condições da bacia experimental. O valor de i_m foi calculado por meio da equação 1, substituindo o valor de t pelo tempo de concentração (t_c , em minutos) e utilizando os períodos de retorno (T) apresentados na Tabela 1. A obtenção de t_c foi feita com o uso da equação de Kirpich, encontrando-se o valor de 2,75 minutos

Aplicação do Método do Número da Curva

O Método do Número da Curva permite obter a lâmina de escoamento superficial pela equação

$$LES = \frac{(PT - 0,2S)^2}{(PT + 0,8S)} \quad (6)$$

em que:

PT - lâmina total precipitada, mm; e

S - infiltração potencial, mm.

O valor de S_p é estimado pela equação

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (7)$$

em que CN é o número da curva, cujo valor pode variar entre 1 e 100, e depende do uso e manejo da terra, grupo de solo, condição hidrológica e umidade antecedente do solo.

As lâminas totais precipitadas utilizadas para cada evento foram aquelas apresentadas na Tabela 1 e os valores de CN

foram obtidos de tabelas específicas (Pruski et al., 2006). Para tal, o solo da bacia foi caracterizado como pertencente ao tipo B, devido à sua Tie, sendo seu uso caracterizado como pastagem sem tratamento e com condição hidrológica regular (cobertura entre 50 e 75 % da área). A obtenção da lâmina precipitada nos cinco dias anteriores ao evento foi feita diretamente dos pluviogramas, sendo esta necessária para a correção dos valores de CN associados a cada evento de escoamento superficial. Em todos os eventos obteve-se um valor de CN igual a 49,8, correspondente à condição AMC I, e associado à condição de mais baixa umidade do solo quando da ocorrência da precipitação.

Para todos os métodos de estimativa do escoamento superficial calculou-se a diferença percentual para a vazão máxima ($\Delta Q\%$) e para a lâmina escoada ($\Delta LES\%$), expressas, respectivamente, por:

$$\Delta Q\% = 100 \frac{(Q_{sim} - Q_{obs})}{Q_{obs}} \quad (8)$$

$$\Delta LES\% = 100 \frac{(LES_{sim} - LES_{obs})}{LES_{obs}} \quad (9)$$

em que:

Q_{sim} - vazão máxima obtida pelo modelo;

Q_{obs} - vazão máxima observada na bacia experimental;

LES_{sim} - lâmina escoada obtida pelo modelo; e

LES_{obs} - lâmina escoada observada na bacia experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do modelo desenvolvido estimou escoamento superficial nulo para os eventos 1, 2 e 3, sendo que a Figura 3 apresenta os hidrograma experimental e estimado pelo modelo desenvolvido para o evento 4.

O fato do modelo desenvolvido não ter apresentado escoamento nestes três eventos não apresenta uma importância prática relevante devido à baixa magnitude do escoamento nestes, o que acaba por acarretar uma diferença absoluta pouco expressiva nos valores de lâmina total e vazão máxima escoada, conforme descrito na seqüência.

A Tabela 2 apresenta, para os quatro eventos de escoamento, os valores de Q_{\max} experimentais e calculados pelo

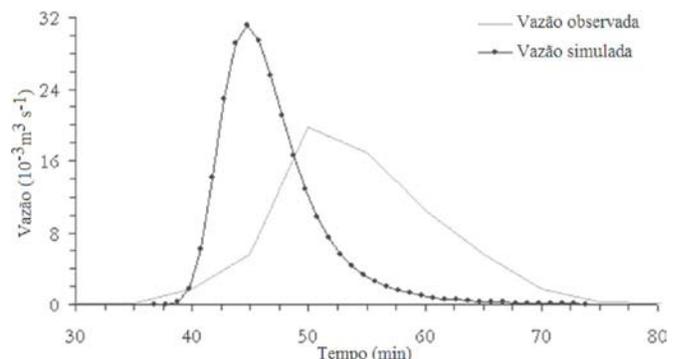


Figura 3. Hidrogramas experimental e estimado pelo modelo para o Evento 4

Figure 3. Experimental and simulated runoff hydrographs for the event 4

Tabela 2. Vazões máxima de escoamento superficial ($10^{-3}m^3 s^{-1}$) experimentais e calculadas pelo Método Racional e pelo modelo desenvolvido

Table 2. Maximum runoff rate ($10^{-3}m^3 s^{-1}$) observed in the watershed and calculated by the Rational Method and by the developed model

| | Evento 1 | | Evento 2 | | Evento 3 | | Evento 4 | |
|---------------------------|------------------|----------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | Q _{max} | ΔQ% | Q _{max} | ΔQ% | Q _{max} | ΔQ% | Q _{max} | ΔQ% |
| Observada | 5,7 | - | 5,8 | - | 21,0 | - | 19,9 | - |
| Método Racional (Kirpich) | 898,0 | 15.654,4 | 496,7 | 8.463,2 | 816,0 | 3.785,7 | 889,3 | 4.369,0 |
| Modelo desenvolvido | - | - | - | - | - | - | 31,9 | 60,1 |

Método Racional (MR) e pelo modelo desenvolvido, bem como as respectivas diferenças percentuais entre os valores calculados e observados.

Observa-se que os valores de $Q_{máx}$ obtidos pelo MR superaram expressivamente os valores observados na bacia experimental. Ressalta-se que os eventos de escoamento superficial ocorridos na bacia hidrográfica estudada se deram em momentos nos quais o solo não encontrava-se com umidade próxima à de saturação, condição capaz de gerar a máxima vazão de escoamento superficial e preconizada para a aplicação do MR.

Todavia, diversos pesquisadores (Euclides, 1987; Bonta e Rao, 1992) já evidenciaram que o Método Racional superestima a vazão máxima de escoamento superficial, pois admite que esta é gerada por uma precipitação de intensidade uniforme e constante, ocorrendo quando todas as partes da bacia contribuem simultaneamente com escoamento na seção de deságüe, o que nem sempre é um fato observado em condições reais. Desconsidera ainda a real influência dos componentes referentes ao processo de escoamento superficial: interceptação pela cobertura vegetal, armazenamento superficial, infiltração, perfil da precipitação, rede drenagem, entre outros.

Verifica-se que o modelo desenvolvido estimou a não ocorrência de escoamento superficial em três dos quatro eventos verificados experimentalmente, todavia a magnitude do escoamento foi muito pequena, o que torna aceitável tal estimativa. No evento 4 evidenciou-se proximidade entre os valores experimental e estimado pelo modelo desenvolvido, com um erro percentual igual a 60,1% e, portanto, bem inferior ao erro de 4369% evidenciado para o Método Racional.

A Tabela 3 apresenta os valores das lâminas precipitadas, calculadas pelo método do Número da Curva (MNC), observadas na bacia experimental e simuladas pelo modelo desenvolvido.

Na Tabela 3 nota-se a grande discrepância entre os valores observados e calculados pelo MNC, principalmente para os eventos 1 e 2. Embora tenha simulado escoamento nulo para três eventos, o modelo desenvolvido apresentou melhores resultados que o MNC.

Os valores de lâmina de escoamento superficial calculadas pelo MNC demonstram uma incoerência relativa ao emprego do método, uma vez que eventos com lâminas menores de precipitação (evento 2) resultaram em maiores lâminas de escoamento superficial (3,3 mm) do que eventos possuidores

Tabela 3. Lâminas de escoamento superficial (mm) experimentais e calculadas pelo Método do Número da Curva e pelo modelo desenvolvido

Table 3. Runoff depth (mm) observed in the watershed and calculated by the Curve Number Method and by the developed model

| Lâminas | Evento 1 | | Evento 2 | | Evento 3 | | Evento 4 | |
|---------------------|----------|---------|----------|---------|----------|-------|----------|-------|
| | ES (mm) | ΔV% | ES (mm) | ΔV% | ES (mm) | ΔV% | ES (mm) | ΔV% |
| Observada | 0,2 | - | 0,2 | - | 0,7 | - | 0,5 | - |
| Número da Curva | 10,5 | 7.000,8 | 3,3 | 1.346,9 | 0,1 | -85,8 | 0,1 | -79,0 |
| Modelo desenvolvido | - | - | - | - | - | - | 0,4 | -20,0 |

de maiores lâminas precipitadas (eventos 3 e 4), os quais resultaram em lâminas escoadas de 0,1 mm, mesmo sendo o método sensível apenas à precipitação total e ao número da curva, que foi igual para todos os quatro eventos ($CN = 49,8$). Este erro decorre do fato de ser este um método empírico, sendo que esta descontinuidade evidenciada na equação utilizada para a obtenção da lâmina de escoamento superficial deve-se à formulação matemática do método. Além disto, Sartori et al. (2005), em seu estudo, apontam também para a natureza aleatória do parâmetro CN, como observado por Hjelmfelt (1991).

O MNC não considera o perfil da precipitação (como observado também por Pruski et al. (2006)), pois a formulação (Soil Conservation Service, 1972), pressupõe uma variação linear da precipitação acumulada com o tempo, o que corresponde a dizer que a intensidade de precipitação assumida é constante para uma dada duração de precipitação.

Este método também não considera a real umidade que se encontra o solo quando da ocorrência da precipitação, sendo esta umidade estimada apenas pela condição de umidade antecedente.

Do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho do modelo desenvolvido por Silva et al. (2009) e comparar seu desempenho àquele obtido com o emprego dos métodos Racional e do Número da Curva para condições de uma bacia hidrográfica localizada em Viçosa, MG.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no trabalho pode-se concluir que:

O modelo desenvolvido foi capaz de prover boas estimativas do hidrograma de escoamento superficial.

Os valores de vazão máxima de escoamento, estimados pelo modelo desenvolvido, foram muito mais próximos aos valores observados que aqueles estimados pelo Método Racional.

Os valores de lâmina de escoamento superficial, estimados pelo modelo desenvolvido, foram mais representativos do que aqueles estimados pelo Método do Número da Curva

LITERATURA CITADA

Bernardo, S. Manual de Irrigação. 5.ed. Viçosa: UFV, 1995. 596p.

- Bonta, J.V.; Rao, A.R. Estimating peak flows for small agricultural watersheds. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.118, n.1, p.122-137, 1992.
- Cecílio, R.A.; Silva, D.D.; Pruski, F.F.; Martinez, M.A. Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.415-422, 2003.
- Euclides, H.P. Saneamento agrícola. Atenuação das cheias: metodologia e projeto. Belo Horizonte: RURALMINAS, 1987. 320p.
- Gomes, B.M.; Mattos, A. Avaliação de variáveis físicas e geomorfológicas na resposta das vazões mínimas. *Irriga*, v.4, n.1, p.25-40, 1999.
- Griebeler, N.P.; Pruski, F.F.; Martins Júnior, D.; Silva, D.D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, n.2, p.411-417, 2001.
- Hjelmfelt, A.T. Investigation of curve number procedure. *Journal of Hydraulic Engineering*, v.117, n.6, p.725-737, 1991.
- Ma, Q.L.; Wauchope, R.D.; Hook, J.E.; Johnson, A.W.; Truman, C.C.; Dowler, C.C.; Gascho, G.J.; Davis, J.G.; Sumner, H.R.; Chandler, L.D. GLEAMS, Opus and PRZM-2 model predicted versus measured runoff from a coastal plain loamy sand. *Transactions of the ASAE*, v.41, n.1, p.77-88, 1998.
- Mamo, M.; Bubenzer, G.D. Detachment arte, soil erodibility, and soil strength as influence by living plant roots. Part II: field study. *Transactions of the ASAE*, v.44, n.5, p.1175-1181, 2001.
- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Rickison, R.J. EUROSEM: a user guide. Version 2. Silsoe: Silsoe College/Cranfield University. 86p. 1998.
- Pinto, F.A.; Ferreira, P.A.; Pruski, F.F.; Alves, A.R.; Cecon, P.R. Estimativas de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. *Revista Engenharia Agrícola*, v.16, n.2, p.8-21, 1996.
- Pruski, F.F.; Brandão, V.S.; Silva, D.D. Escoamento superficial. Viçosa: Editora UFV, 2006. 87p.
- Rauhofer, J.; Jarret, A.R.; Shannon, R.D. Effectiveness of sedimentation basins that do not totally impound a runoff event. *Transactions of the ASAE*, v.44, n.4, p.813-818, 2001.
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K.; Yoder, D.C. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Springfield: United States of Department of Agriculture, 1997. 384p. (Agriculture Handbook, n.703).
- Risse, L.M.; Nearing, M.A.; Zhang, X.C. Variability in Green-Ampt effective conductivity under fallow conditions. *Journal of Hydrology*, v.169, n.1, p.1-24, 1995.
- Sartori, A.; Genovez, A.M.; Lombardi Neto, F. Classificação hidrológica de solo brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos - parte 2: aplicação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.10, n. 4, p.19-29, 2005.
- Soil Conservation Service. Hidrology. In: National engineering handbook. Washington DC: United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1972. Section 4, p.1.1-22.11.
- Silva, J.M.A.; Pruski, F.F.; Rodrigues, L.N.; Cecílio, R.A. Modelo para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 1. Desenvolvimento e análise de sensibilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.1, p.78-84, 2009.
- Young, M.D.B.; Gowing, J.W.; Wyseure, G.C.L.; Hatibu, N. Parched-Thirst: development and validation of a process-based model of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management*, v.55, n.2, p.121-140, 2002.
- Woolhiser, D.A., Smith, R.E., Goodrich, D.C. KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. Report ARS-77, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC, USA. 130p. 1990.