



Estimativa do escoamento superficial com base em dados de precipitação pluvial, classe e uso do solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.

José de Oliveira Melo Neto⁽¹⁾; Carlos Rogério de Mello⁽²⁾; Geovane Junqueira Alves⁽³⁾; Alisson Souza de Oliveira⁽⁴⁾; Danielle Vieira Guimarães⁽⁵⁾; Maria Isidória Silva Gonzaga⁽⁶⁾.

⁽¹⁾Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas; Universidade Federal de Lavras; Lavras, MG; joseneto_86@hotmail.com; ⁽²⁾Professor; UFLA; Lavras, MG; crmello@deg.ufla.br; ⁽³⁾Graduando em Engenharia Agrícola; UFLA; Lavras, MG; geovane@agricola.eng.br; ⁽⁴⁾Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas; UFLA; Lavras, MG; alissonso@hotmail.com; ⁽⁵⁾Mestranda em Ciência do Solo; UFLA; Lavras, MG; danyvguimaraes@hotmail.com; ⁽⁶⁾Professora; Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE; mariaisilva@gmail.com.

RESUMO: O método da Curva-Número (Método CN-SCS) é empregado mundialmente para estimativa do escoamento superficial direto. Objetivo no presente estudo foi estimar o escoamento superficial direto para a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho com base no Método CN associado a uma distribuição de probabilidade para eventos de precipitação máxima diária anual. Foi utilizada uma série de 45 valores de dados de precipitação máxima diária anual no período entre 1963 e 2012 e aplicada a distribuição de Gumbel para eventos máximos. O teste do Qui-Quadrado foi aplicado para avaliar a aderência dos dados estimados pela distribuição de probabilidade. Foram estimados valores de precipitação pluvial para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos e aplicado o método do CN para estimativa do deflúvio (enxurrada). Os resultados indicam uma alta produção de escoamento superficial direto sugerindo uma vulnerabilidade importante da bacia no tocante à ocorrência de cheias e transporte de sedimentos.

Termos de indexação: Curva Número, Escoamento superficial, Distribuição de Probabilidade.

INTRODUÇÃO

O escoamento superficial direto corresponde à parcela do ciclo hidrológico relacionada ao deslocamento da água sobre a superfície do solo. Contudo, sua estimativa muitas vezes é limitada pela ausência de dados observados representativos da área em questão ou do emprego de modelos complexos que requerem muitas informações.

Uma alternativa a esta dificuldade em estimar o escoamento superficial direto é o emprego do método Curva-Número (CN) que foi desenvolvido na década de 50 pelo Serviço de Conservação do Solo norte-americano (SCS-USDA) (Cao et al., 2011).

O Método CN vem sendo empregado com bastante frequência no Brasil nas últimas décadas (Mello et al., 2003) e permite estimar o escoamento superficial direto a partir de eventos individuais de precipitação pluvial com base na sua interação com o uso e classe de solo da bacia (Mello et al., 2008; Tyagi et al., 2008).

Por sua vez, a distribuição da precipitação pluvial em uma região é dependente de fatores geográficos (latitude, distância do oceano, efeito orográfico) e dinâmicos (movimentação das massas de ar) que, associados entre si, caracterizam os índices pluviométricos de uma região (Montebeller et al., 2007).

De acordo com Sansigolo (2008), eventos raros ou extremos têm grande relevância para a hidrologia e conservação do solo e da água, e suas estimativas probabilísticas são imprescindíveis para o planejamento e desenvolvimento das atividades sujeitas a seus efeitos adversos.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi estimar o escoamento superficial direto para a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho com base no Método CN associado a uma distribuição de probabilidade para eventos de precipitação máxima diária anual.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Como uma subunidade da bacia hidrográfica do Rio Grande, a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho (BHRV) tem sua relevância associada a um contexto local, principalmente para a população do município de Lavras onde está inserida.

A referida bacia possui área de drenagem de 56,2 km² e está localizada entre as coordenadas planas 7647795 e 7657448 Sul e 491872 e 505365 Oeste sob a projeção UTM e referencial geodésico SAD 69 zona 23. Na **figura 1** está espacializada a área de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.

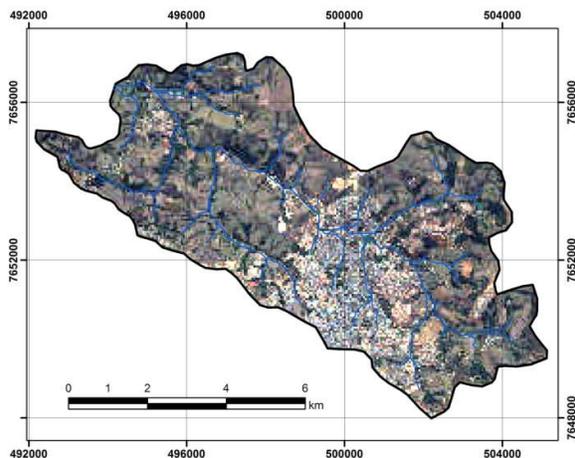


Figura 1 – Área de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.

Metodologia

Os dados de precipitação pluvial foram obtidos da estação climatológica principal localizada no campus da Universidade Federal de Lavras em parceria com Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) estando localizada na bacia em estudo e é representativa da mesma.

Foi utilizada uma série histórica com dados diários de precipitação pluvial no período entre 01 de janeiro de 1963 até 31 de dezembro de 2012 apresentando apenas cinco anos de falhas. A partir desta base de dados foi gerada uma série com os valores máximos de precipitação pluvial diária para cada ano, resultando em 45 valores.

Com esta série, aplicou-se a distribuição de probabilidade assintótica de valores máximos do tipo I ou distribuição de Gumbel (Gumbel, 1958) conforme as equações 1, 2 e 3.

$$P(x \geq x_i) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (2)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,45 * s \quad (3)$$

Em que, α e μ são parâmetros da distribuição e \bar{x} e s são a média e desvio padrão dos dados, respectivamente.

Para verificação da adequabilidade da distribuição de Gumbel foi aplicado o teste do Qui-Quadrado (χ^2) conforme equação 4 e comparado com o valor tabelado com base em graus de liberdade da distribuição e nível de significância (Ferreira, 2005).

$$\chi^2_{calculado} = \sum_{i=1}^n \frac{(f_{obsi} - f_{teoricoi})^2}{f_{teoricoi}} \quad (4)$$

Em que n corresponde ao número de classes, f_{obsi} e $f_{teoricoi}$ são, respectivamente, as frequências observada e teórica na classe i .

Em seguida, foram estimadas as chuvas máximas em função dos tempos de retorno (TR) com 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos de recorrência com base nas equações 5, 6 e 7.

$$y_{TR} = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad (5)$$

$$k_{TR} = -0,45 + 0,78 * y_{TR} \quad (6)$$

$$x_{TR} = \bar{x} + k_{TR} * s \quad (7)$$

O escoamento superficial direto ou precipitação efetiva foi estimado a partir do método da Curva-Número (NRCS, 2013) que é representado pelas equações 8 e 9.

$$Pe = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)} \quad (8)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

Em que, Pe corresponde a precipitação efetiva que gera o escoamento superficial direto (mm), P a precipitação pluvial máxima em dado período de retorno (mm), S a infiltração potencial (mm) e CN o número da curva (adimensional).

O parâmetro CN é definido com base na associação do uso e ocupação do solo e suas condições de manejo, grupos hidrológicos do solo e umidade do solo no período que antecede o evento chuvoso.

Os grupos hidrológicos do solo foram definidos de acordo com a classificação proposta por Sartori et al. (2005) a partir do mapa de classes de solos da bacia elaborado por Curi et al. (1990). Já o mapa de uso do solo foi elaborado a partir da classificação supervisionada de uma imagem RAPIDEYE com resolução de 5 metros do ano de 2010.

O valor do CN foi determinado em função da equação 10 tomando como base a condição de umidade antecedente padrão (AMCII) de acordo com tabela apresentada por Tucci (2000).

$$CN = \frac{\sum(CN_i * A_i)}{A} \quad (10)$$

Em que, CN_i corresponde ao valor do CN para



uma combinação i de grupo hidrológico e uso do solo, A_i corresponde a área equivalente a combinação i (ha) e A refere-se a área total da bacia (ha).

Por fim, foi calculado o coeficiente de escoamento superficial (C) para avaliar o quanto da precipitação era convertido em escoamento superficial direto (Equação 11).

$$C = \frac{Pe}{P} * 100 \quad (11)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na BHRV há predomínio de Latossolos Vermelho-Amarelo e Argissolos Vermelho-Amarelo que são classificados no grupo hidrológico do solo na categoria B e em menor proporção Cambissolos háplicos que são enquadrados na categoria C segundo Sartori et al. (2005). Na **tabela 1** estão expressos os grupos hidrológicos do solo, as classes de uso do solo e suas respectivas áreas na BHRV, bem como o respectivo valor para o CN.

Tabela 1 – Classes de uso, grupo hidrológico do solo e valores de CN para a BHRV.

Grupo hidrológico	Classe de Uso do solo	Área (km ²)	CN
B	Água	0,03	100
	Vegetação	12,80	60
	Área urbana	14,50	85
	Solo exposto	2,25	79
	Pastagem	18,84	69
	Uso agrícola	4,47	74
C	Vegetação	0,95	73
	Área urbana	0,26	90
	Solo exposto	0,04	86
	Pastagem	1,94	79
	Uso agrícola	0,12	82

De acordo com Tyagi et al. (2008), quanto menor for o valor do CN, maior será o armazenamento inicial da bacia hidrográfica reduzindo assim a possibilidade de gerar escoamento superficial direto.

O valor representativo do CN para a BHRV é de 72,44. Este alto valor para o referido parâmetro é justificado pela presença de 26,2% de áreas urbanas na bacia, além de 4,0% associado à presença de solo exposto. Estes usos aumentam o grau de impermeabilização da bacia e favorecem o processo de escoamento superficial direto, servindo também como um indicativo de fragilidade ambiental da BHRV.

O valor obtido pelo teste do Qui-Quadrado quando aplicado às frequências teóricas da distribuição de Gumbel foi 2,19. Ao comparar este valor com o valor tabelado com nível de significância de 5% (11,07) percebe-se que o ajuste teórico da distribuição de Gumbel para eventos

máximos foi adequado para representar as precipitações máximas diárias anuais para a BHRV.

Na **tabela 2** estão expressos os valores de precipitação máxima, precipitação efetiva e coeficiente de escoamento superficial associados aos períodos de retorno analisados.

Tabela 2 – Precipitação efetiva e coeficiente de escoamento superficial associados a períodos de retorno para a BHRV.

TR (Anos)	P (mm)	Pe (mm)	C (%)
2	74,53	20,07	26,9
5	96,27	34,11	35,4
10	110,66	44,38	40,1
20	124,46	54,78	44,0
25	128,84	58,18	45,2
50	142,33	68,88	48,4
100	155,72	79,83	51,3

Pode-se observar que com um tempo de recorrência muito curto (2 anos) cerca de 27% do que é precipitado escoou sobre a superfície na BHRV. Com base na série utilizada de dados máximos diários anuais cerca de 54% dos dados apresentam uma lâmina precipitada superior a associada a este tempo de retorno.

Pelos menos dois eventos na série foram registrados com valores próximos ao estimado para um período de retorno de 100 anos. Estes eventos são bastante danosos para a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho provocando enchentes, erosão e assoreamento da rede de drenagem.

CONCLUSÕES

Uma característica marcante da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho representada pelo alto valor do parâmetro CN e pelos valores do coeficiente de escoamento superficial é a conversão de uma parcela considerável da lâmina precipitada em escoamento superficial direto.

A distribuição de probabilidade de Gumbel para valores máximos demonstrou desempenho satisfatório na estimativa da precipitação máxima diária anual conforme foi explicitado pelo teste de aderência do Qui-Quadrado.

REFERÊNCIAS

CAO, H., VERVOORT, R. W., DABNEY, S. M. Variation in curve numbers derived from plot runoff data for New South Wales (Australia). *Hydrological Processes*, 25:3774-3789, 2011.

CURI, N. et al. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). *Ciência e Prática*, 14:(3)297-307, 1990.



FERREIRA, D. F. Estatística Básica. Lavras: Editora UFLA, 2005. 664p.

GUMBEL, E. J. Statistics of Extremes. New York: Columbia University Press, 1958. 375p.

MELLO, C. R., LIMA, J. M., SILVA, A. M. S., LOPES, D. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental, 7(3)494-500, 2003.

MELLO, C. R., VIOLA, M. R., NORTON, L. D., SILVA, A. M. & WEIMAR, F. A. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. Catena, 75:235-247, 2008.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B., CARVALHO, D. F., VIEIRA, S. R. & FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. Engenharia Agrícola, 27:426-435, 2007.

NRCS - Natural Resources Conservation Service. Chapter 7: Hydrologic Soil Groups. In: National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology. 2009. Disponível em: <<http://directives.sc.egov.usda.gov/>>. Acesso em: 02 de maio de 2013.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). Revista Brasileira de Meteorologia, 23(3)341-346, 2008

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 10(4)5-18, 2005.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH: EDUSP, 1993. 943p.

TYAGI, J. V.; MISHRA, S. K.; SINGH, R.; SINGH, V. P. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. Journal of Hydrology, 352:388-403, 2008.