

DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL

Darione Alves Leal (*), Lorraine Campos Martins, Fernando Justino Nascimento Matias, Lisiane da Silva Mendes, Hudson de Paula Carvalho. * PPGMQ – Universidade Federal de Uberlândia, darioneleal@hotmail.com

RESUMO

Escoamento superficial ou precipitação efetiva é o evento que ocorre, durante e após uma chuva intensa, em uma Bacia Hidrográfica, assim que a água da precipitação pluviométrica tenha sua parte drenada, infiltrada e absorvida pelos diferentes pontos desta Bacia Hidrográfica. A precipitação efetiva, enfim, é a água que irá drenar pela superfície terrestre, quando não mais infiltrará, logo é a água que está diretamente relacionada com o movimento de cheias e enchentes dos corpos hídricos. Por isso, é uma das fases mais importantes do ciclo hidrológico, pois, a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. Outros fatores importantes são as obras hidráulicas construídas nas bacias, tal como uma barragem que, acumulando a água em um reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação. A precipitação efetiva apresenta grande relevância no estudo e diversos métodos de sua estimativa estão presentes na literatura. O presente trabalho tem como objetivo quantificar a precipitação efetiva em uma bacia hidrográfica experimental, por meio de hidrogramas, e comparar esses resultados com aqueles estimados pela metodologia preconizada pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (Soil Conservation Service), conhecida como método Curva Número. Obteve-se uma discrepância muito grande entre os valores da precipitação efetiva estimada na bacia hidrográfica experimental e aqueles estimados pela metodologia preconizada pelo Soil Conservation Service. A magnitude dessa discrepância pode ser observada no erro quadrático médio, um fator de correção foi determinado, diminuindo significativamente este erro.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial, chuva intensa, hidrograma, Soil Conservation Service

INTRODUÇÃO

Das fases básicas do ciclo hidrológico talvez, a mais importante, seja a da precipitação efetiva, que é a fase que trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, pois, a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. O escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas.

É de grande importância o seu estudo e dimensionamento para prevenções de cheias de leitos de águas nas bacias hidrográficas, identificando o comportamento de corpos hídricos, como a flutuação de seu nível. Diversos fatores influem diretamente no escoamento superficial direto (ESD), dentre estes, destacando-se aqueles de natureza climática, e aqueles de ordem física (como os fatores fisiográficos) da bacia hidrográfica. Com relação aos fatores climáticos, influenciam diretamente, a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for a duração. Outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento.

No que diz respeito aos fatores fisiográficos, os mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração e a topografia da bacia. A influência da área é clara, pois sua extensão está relacionada à maior ou menor quantidade de água que ela pode captar. A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação. Outros fatores importantes são as obras hidráulicas construídas nas bacias, tal como uma barragem que, acumulando a água em um reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação.

HIDROGRAMA

Hidrógrafa, Hidrograma, ou Fluviograma é a representação gráfica da variação da vazão em relação ao tempo. Isolando-se picos do hidrograma podem-se analisar alguns fenômenos de interesse em Hidrologia. No ietograma de uma precipitação ocorrida na bacia e a curva de vazão correspondente registrada em uma seção de um curso d'água a contribuição total para o escoamento na seção considerada é devido: a) à precipitação recolhida diretamente pela superfície livre das águas; b) ao escoamento superficial direto (incluindo o escoamento subsuperficial); c) ao escoamento básico (contribuição do lençol de água subterrânea).

Em geral, para obtenção do hidrograma da cheia de projeto, aplica-se um método para cálculo da precipitação efetiva seguido de uma função de transferência, também denominada hidrograma unitário, que permite a distribuição temporal do volume total de chuva efetiva (CUNHA, et al., 2015). A determinação do HU é função dos dados observados de chuva e vazão com intervalo de tempo compatível com o tempo de concentração da bacia. Nesse sentido, o HU representa o hidrograma de escoamento superficial correspondente à precipitação efetiva unitária de intensidade constante e distribuída uniformemente sobre a área de drenagem. É um modelo linear concentrado, utilizado como função de transferência de uma bacia hidrográfica para gerar hidrogramas de cheias correspondentes a chuvas efetivas, de quaisquer magnitudes e durações (PINHEIRO, 2011).

A separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo é um procedimento que permite a compreensão da magnitude e da dinâmica da descarga de águas subterrâneas e dos processos de escoamento superficial direto em bacias hidrográficas (FUREY & GUPTA, 2001; BRODIE & HOSTETLER, 2005).

CN-SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE)

A relação funcional mais empregada para estimação do escoamento superficial em bacias não monitoradas é o método do Número de Curva (CN) desenvolvido pelo U.S. Department of Agriculture (USDA) Soil Conservation Service (SCS). O método é documentado no National Engineering Handbook (NEH), Part 630: Hydrology e foi publicado pela primeira vez em 1954, sendo então seguido de diversas revisões. Esse modelo chuva-vazão é largamente aceito por sua simplicidade, número limitado de parâmetros e autoridade da instituição de origem (PONCE; HAWKINS, 1996).

O número da curva é um índice que representa a combinação empírica de três fatores: grupo do solo, cobertura do solo e condições de umidade antecedente do solo (McCUEN, 1998). Existem tabelas do número CN para bacias hidrográficas rurais e urbanas. Os valores CN obtidos poderão ou não ser corrigidos posteriormente dependendo da situação do solo, muito seco ou úmido. O número CN descreve uma situação média e útil em determinados projetos. Esse modelo, inicialmente desenvolvido para uso em áreas agrícolas, tem sido objeto de estudo, desenvolvimento e aplicação também em áreas urbanas. Com ele é possível: a) estimar a partir de informações do tipo, uso e umidade antecedente do solo, o número da curva de escoamento superficial (CN) e com este, a parcela da precipitação que resultará em escoamento superficial, ou chuva excedente; b) conhecida à chuva excedente, estimar a distribuição e o volume do escoamento superficial de uma determinada área de drenagem, baseando-se no hidrograma unitário adimensional regionalizado para pequenas bacias dos Estados Unidos (SARTORI, et al., 2005).

OBJETIVOS

O presente trabalho tem o como objetivo quantificar a precipitação efetiva em uma bacia hidrográfica experimental, por meio de hidrogramas, e comparar esses resultados com aqueles estimados pela metodologia preconizada pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (Soil Conservation Service), conhecida como método Curva Número (CN).

METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido na Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego Água Vermelha (BHEAV), que é uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, em Minas Gerais. A BHEAV possui área total de 16,35 km² e seu exutório está localizado na latitude 19°05'50'' S e longitude 48°21'21'' W. O solo predominante nesta bacia é o Latossolo Vermelho Distrófico, textura arenosa a média, com relevo suave a plano. O uso do solo da bacia abrange pastagem para criação extensiva de bovinos, culturas agrícolas de soja e milho e áreas de cerrado como reserva legal. No exutório da bacia foi instalada uma estação hidrométrica, composta por sensor ultrassônico para o monitoramento do nível de água do córrego e um pluviômetro de balsa para a obtenção dos dados de chuva. A frequência de obtenção dos dados de nível de água dos córregos e de chuva foi de cinco minutos.

A precipitação efetiva, foi obtido por meio da regra dos trapézios, nas análises dos hidrogramas. Esta metodologia consiste em multiplicar a vazão em cada instante pelo intervalo de tempo entre as medições (neste trabalho, o intervalo

foi de 5 minutos). A área do hidrograma foi dividida em retângulos, nesse caso específico, retângulos de altura igual à vazão e largura igual ao intervalo de tempo entre as medições, estes resultados estão na Tabela 1 - Resultados da Precipitação Efetiva (Pef) obtido diretamente na bacia experimental, precipitação efetiva estimada pelo método Soil Conservation Service (QSCS), precipitação efetiva ajustada para a bacia (QSCS ajust) e respectivos erros absolutos de estimativa. Em contrapartida, a precipitação efetiva, foi obtida de acordo com as recomendações do Soil Conservation Service. O cálculo foi realizado por meio da equação (1).

$$P_{ef} = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Pef = precipitação efetiva, em mm;

P = precipitação total do evento, em mm;

S = potencial de armazenamento de água no solo, em mm.

Como explicita a equação (1), o SCS sugere que a precipitação efetiva seja obtida a partir da precipitação total do evento em questão e do potencial de armazenamento de água no solo. Esta última variável depende do número CN, que reflete as condições hidrológicas da bacia a partir das suas características de ocupação e tipos de solo. Recomenda-se que esta equação seja utilizada quando a precipitação total for menor ou igual a 20% do potencial de armazenamento de água no solo, o que nem sempre acontece. Estimativa do runoff ou escoamento superficial ou chuva excedente pelo método SCS. Conforme TR-55 do SCS de 1986 o método do número CN da curva de runoff foi estimado por meio da equação (2).

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo: Q= runoff ou chuva excedente (mm); P= precipitação (mm); Ia = abstração inicial (mm) e S= potencial máximo de retenção após começar o runoff (mm).

A abstração inicial “Ia” representa todas as perdas antes que comece o runoff. Inclui a água retida nas depressões da superfície e interceptada pela vegetação, bem como, a água evaporada e infiltrada. Empiricamente foi determinado nos Estados Unidos pela SCS que:

$$I_a = 0,2S \quad \text{equação (3)}$$

Substituindo o valor de Ia obtemos:

$$Q = \frac{(P-0,2 \times S)^2}{(P+0,8 \times S)} \quad \text{equação (4)}$$

Válida quando $P > 0,2 S$

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad \text{equação (5)}$$

Sendo: CN = número da curva, dimensional. A equação (04) do valor de Q é válida quando a precipitação $P > 0,2S$. Quando $P < 0,2 S$, o valor de Q = 0. O número CN foi atribuído a cada classe de ocupação do solo encontrada na bacia, de acordo com as Tabelas 2a, 2b e 2c, conforme número CN para áreas urbanas (USDA, 1986), foi relacionado a porcentagem de área ocupada por cada uma das classes. Assim, foi feito a média ponderada dos valores encontrados resultando em um CN médio da bacia. Os valores de CN foram corrigidos de acordo com a condição de umidade antecedente do solo, determinada com base nos valores de chuva dos cinco dias antecedentes ao evento estudado. A correção foi feita da seguinte maneira: Condição I: chuvas nos últimos 5 dias < 13 mm; Condição II: chuvas nos últimos 5 dias entre 13 e 53 mm; Condição III: chuvas nos últimos 5 dias > 53 mm. Os eventos classificados na condição 2 foram mantidos de acordo com o obtido a partir das Tabelas 2a, 2b e 2c (USDA, 1986). Eventos classificados nas condições I e III foram obtidos por meio das equações (6) e (7).

$$CN \text{ (I)} = \frac{42 \cdot CN \text{ (II)}}{10+0,58 \cdot CN \text{ (II)}} \quad \text{equação (6)}$$

$$CN \text{ (III)} = \frac{23 \cdot CN \text{ (II)}}{10+0,13 \cdot CN \text{ (II)}} \quad \text{equação (7)}$$

Contudo, o método de estimativa da precipitação efetiva preconizado pelo Soil Conservation Service por sua simplicidade, número limitado de parâmetros, justifica a sua utilização. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo

também, obter um índice que pudesse ajustar a Q_{SCS} aos dados observados de precipitação efetiva obtidos na BHEAV. O novo cálculo de $Q_{SCS\ ajust}$ referente ao índice está representado na Equação 08. O erro quadrático médio foi calculado antes, equação (9) e depois equação (10), do ajuste.

$$Q_{SCS\ ajust} = 0,005022 \times Q_{SCS} \quad \text{equação (8)}$$

$$E_{QM\ Q_{SCS}} = ((Q_{SCS} - P_{ef}))^2 \quad \text{equação (9)}$$

$$E_{QM\ Q_{SCS\ ajust}} = ((Q_{SCS\ ajust} - P_{ef}))^2 \quad \text{equação (10)}$$

RESULTADOS

Na Tabela 1 estão compilados os resultados da Precipitação Efetiva (P_{ef}), obtida diretamente em cada um dos 19 hidrogramas conseguidos na BHEAV, da precipitação efetiva estimada pelo método Soil Conservation Service (Q_{SCS}), da precipitação efetiva ajustada para a bacia e respectivos erros de estimativa. Analisando a Tabela 1, nota-se uma discrepância muito grande entre os valores da precipitação efetiva estimada na bacia hidrográfica experimental (P_{ef}) e aqueles estimados pela metodologia preconizada pelo Soil Conservation Service (Q_{SCS}). A magnitude dessa discrepância pode ser observada no erro quadrático médio (E_{QM}). Essa diferença pode ser atribuída à origem do método de estimativa da precipitação efetiva pelo Soil Conservation Service, o qual baseou seus resultados em bacias hidrográficas dos EUA, a qual possui condições hidrológicas muito diferentes daquelas observadas na BHEAV.

Os resultados desse ajuste ($Q_{SCS\ ajust}$) estão contidos na Tabela 1. Analisando-a, observa-se nos novos valores de erro médio quadrático ajustado ($E_{QM\ ajust}$), uma melhora acentuada e aproximação aos valores de precipitação efetiva obtidos diretamente na BHEAV (P_{ef}).

Tabela 1. Resultados da Precipitação Efetiva (P_{ef}) obtido diretamente na bacia experimental, precipitação efetiva estimada pelo método Soil Conservation Service (Q_{SCS}), precipitação efetiva ajustada para a bacia ($Q_{SCS\ ajust}$) e respectivos erros médios quadráticos de estimativa.

Data	P_{ef}	Q_{SCS}	$Q_{SCS\ ajust}$	$E_{QM\ Q_{SCS}}^*$	$E_{QM\ Q_{SCS\ ajust}}^{**}$
26/12/2016	0,056	1,7077	0,0086	2,729	0,002
29/12/2016	0,151	3,9163	0,0197	14,178	0,017
07/01/2017	0,002	3,7204	0,0187	13,830	0,000
09/01/2017	0,024	2,1013	0,0106	4,317	0,000
10/01/2017	0,001	0,2712	0,0014	0,073	0,000
11/01/2017	0,004	0,2411	0,0012	0,056	0,000
13/01/2017	0,089	4,0618	0,0204	15,783	0,005
15/01/2017	0,058	0,8789	0,0044	0,675	0,003
22/01/2017	0,017	3,4247	0,0172	11,611	0,000
23/01/2017	0,057	1,6728	0,0084	2,611	0,002
26/01/2017	0,018	1,1305	0,0057	1,237	0,000
31/01/2017	0,110	5,3690	0,0270	27,663	0,007
03/02/2017	0,012	2,7583	0,0139	7,543	0,000
17/02/2017	0,016	11,5205	0,0579	132,347	0,002
01/03/2017	0,005	1,6067	0,0081	2,566	0,000
05/03/2017	0,198	1,9990	0,0100	3,245	0,035
06/04/2017	0,093	5,0577	0,0254	24,644	0,005
13/04/2017	0,032	0,6614	0,0033	0,396	0,001
26/04/2017	0,005	7,3705	0,0370	54,257	0,001
Média	0,050	3,130	0,0157	16,830	0,004

* Erro médio Quadrático precipitação efetiva estimada pelo método Soil Conservation Service.

** Erro médio Quadrático precipitação efetiva estimada pelo método Soil Conservation Service ajustado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cunha, S.F.; Silva, F.E.O.; Mota, T.U.; et al. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n.4, p. 837 – 848, out. /dez., 2015.
2. Furey, P. R.; Gupta, V. K. A physically based filter for separating base flow from streamflow time series. **Water Resources Research**, [S.l.], v. 37, n. 11, p. 2709-2722, 2001.
3. McCuen, R. H., Wong, S. L., and Rawls, W. J. Estimating urban time of concentration. *Journal of Hydraulic Engineering*. 110/7, p. 887–904, 1984.
4. Pinheiro, M. C. **Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração**. Porto Alegre: ABRH, 2011.
5. Ponce, V.M.; Hawkins, R. H. Runoff curve number: Has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, [S.l.], p. 11-19, jan., 1996.
6. Sartori, A.; Neto, F.L.; 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**, [S.l.], v 10, n.4, p.05-18, Out/Dez 2005.