

APLICABILIDADE DE PROPOSTAS GEOMORFOLÓGICAS PARA O MODELO DE NASH NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JAGUARA-MG

MAÍRA MARTIM DE MOURA¹; ZANDRA ALMEIDA DA CUNHA²; FABRICIO DA SILVA TERRA³; CARLOS ROGÉRIO DE MELLO⁴; FELICIO CASSALHO⁵; SAMUEL BESKOW⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – martimdemoura@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – zandraacunha@gmail.com

³Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – fabricio.terra@ufvjm.edu.br

⁴Universidade Federal de Lavras – crmello@ufla.br

⁵Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – felicio.cassalho@inpe.br

⁶Universidade Federal de Pelotas – samuel.beskow@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, como resultado das ações antrópicas e das mudanças climáticas, eventos hidrológicos extremos vêm sendo mais recorrentes, culminando em inúmeros problemas relacionados às cheias em bacias hidrográficas (MIKHAILOVA et al., 2012). Dessa forma, a estimativa adequada de vazões máximas e de hidrogramas torna-se essencial para a compreensão dos processos hidrológicos, auxiliando na mitigação das consequências de eventos extremos. Neste contexto, a quantificação das vazões por meio de modelagem hidrológica tem culminado no desenvolvimento de várias metodologias, com destaque para a do Hidrograma Unitário (HU) (SHERMAN, 1932) e do Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI) (CLARK, 1945).

Um dos modelos de HUI que vem sendo amplamente utilizado é o de Nash (HUIN) (NASH, 1957), o qual considera a bacia hidrográfica como um conjunto de reservatórios lineares em cascata e possui dois parâmetros: o número de reservatórios (n) e o coeficiente de armazenamento (k). Para a obtenção dos parâmetros do HUIN são necessários dados de precipitação e de vazão, o que dificulta a aplicação do modelo em locais sem monitoramento ou com monitoramento escasso. Frente a estas dificuldades, alguns autores apresentaram propostas para estimativa destes parâmetros com base em características geomorfológicas, tais como a área da bacia, declividade média da bacia e do curso d'água principal (NASH, 1960; WU, 1963), e as razões de bifurcação, comprimento e entre áreas (ROSSO, 1984; BHASKAR et al., 1997). Entretanto, apesar da simplicidade dos parâmetros necessários, há uma enorme carência de estudos que investigam a aplicabilidade destas propostas em bacias hidrográficas.

Com base no exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes propostas geomorfológicas para a determinação dos parâmetros do HUIN visando à estimativa de hidrogramas de cheias. A metodologia foi avaliada com base em eventos monitorados na bacia hidrográfica do ribeirão Jaguara, localizada no sul de Minas Gerais, a qual é contemplada com monitoramento hidrológico.

2. METODOLOGIA

O estudo compreende a bacia hidrográfica do ribeirão Jaguara (BHRJ), com área igual a 32,34 km², localizada na região do Alto Rio Grande, em Minas Gerais (Figura 1). A BHRJ encontra-se predominantemente no bioma Mata Atlântica, porém, com transição para o bioma Cerrado, e apresenta características

pedológicas, hidrológicas e de ocupação dos solos típicas da região, predominando Latossolos e Cambissolos e, basicamente, culturas e pastagem (ANDRADE et al. 2013). O monitoramento hidrológico da BHRJ contempla dados de precipitação e de nível d'água, sob responsabilidade do Grupo de Pesquisa Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Lavras.



Figura 1 – Localização geográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Jaguará e de sua rede de monitoramento.

Foram selecionados 20 eventos chuva-vazão, organizados em intervalos de 30 min e com duração média de 15,7h. Estes eventos apresentam precipitação (P), precipitação efetiva (P_e) e abstrações iniciais (I_a) variando de 23,0 a 101,0 mm, 2,5 a 18,7 mm e 0,0 a 37,0 mm, respectivamente. As vazões de pico (Q_p) dos hidrogramas de ESD variam de 2,8 a 22,9 m^3/s e as velocidades associadas a estas vazões variam de 1,2 a 3,4 m/s.

O modelo de HUI proposto por NASH (1957) (HUI) foi avaliado em relação à transformação da P_e em vazões de ESD. O HUI considera uma precipitação uniforme ao longo da bacia, propagada até a seção de controle por n reservatórios lineares idênticos em cascata, com tempo médio de esvaziamento representado pelo parâmetro k . Visto que para a estimativa dos parâmetros do HUI são necessários dados observados de precipitação e vazão, algumas propostas geomorfológicas para a estimativa destes foram analisadas: P_1 (NASH, 1960), P_2 (WU, 1963), P_3 (ROSSO, 1984) e P_4 (BHASKAR et al., 1997).

A delimitação da BHRJ foi realizada de forma automática no software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2014), utilizando o modelo digital de elevação (MDE) obtido pelo sensor ASTER, com resolução espacial de 30 m. Os atributos extraídos do relevo foram: área de drenagem ($A = 32,34 \text{ km}^2$), declividade média da bacia ($S = 13,47\%$), declividade média ($S_r = 0,45\%$) e comprimento do curso d'água principal ($L = 11,65 \text{ km}$). As hidrografias extraídas numericamente foram organizadas de forma hierárquica e, posteriormente, foram computados o comprimento do curso d'água de ordem mais alta ($L_\Omega = 8,07 \text{ km}$) e os valores médios das razões de bifurcação ($R_B = 5,08$), de comprimento ($R_L = 3,60$) e entre áreas ($R_A = 3,38$).

De posse dos hidrogramas de P_e s e dos HUI estimados de acordo com as diferentes propostas, realizou-se o processo de convolução. Os hidrogramas de ESD foram confrontados com os hidrogramas observados, cuja análise de desempenho foi realizada com base no coeficiente de Nash e Sutcliffe (C_{NS}) (NASH; SUTCLIFFE, 1970), seguindo classificação de MOTOVILOV et al. (1999), e no erro relativo da vazão de pico (ER_{Qp}). Todos os procedimentos metodológicos foram executados no ambiente do RStudio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível observar que, em geral, a P_2 resultou nos menores valores de n e, a P_3 e P_4 , nos menores valores de k (Tabela

1). Os valores obtidos a partir da P_3 e P_4 indicam um conjunto de reservatórios com esvaziamento muito rápido, ou seja, a resposta a um evento de precipitação é mais rápida do que quando utilizadas as propostas P_1 e P_2 , que resultaram um número menor de reservatórios, porém, com tempo de esvaziamento bastante superior. Por apresentar valores de n maiores que a P_2 , a P_1 tende a atenuar as vazões de pico dos hidrogramas, o que não ocorreu para as propostas P_3 e P_4 devido ao fato de os valores de k serem muito menores (Figura 2).

Tabela 1 – Parâmetros do HUIN e valores mínimos, máximos e médios obtidos para as estatísticas de desempenho dos hidrogramas de ESD simulados

	n	k (h)	C _{NS}			ER _{Qp} (%)		
			Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
P ₁	2,97	2,28	-0,43	0,91	0,51	7,02	47,68	24,75
P ₂	3,02	1,65	0,14	0,98	0,76	0,03	30,65	12,37
P ₃	4,94	0,21 - 0,58	-8,40	0,67	-2,56	49,45	383,54	159,88
P ₄	4,88	0,21 - 0,58	-8,40	0,68	-2,57	48,75	382,72	159,62

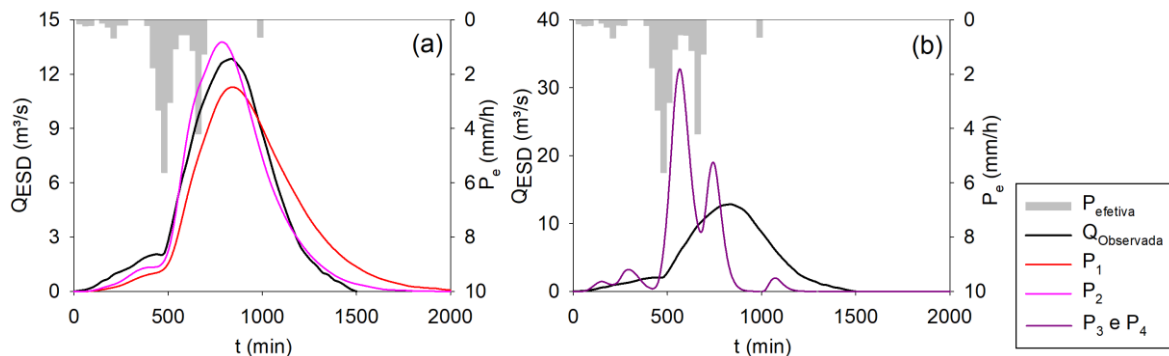


Figura 2 – Hietograma de chuvas efetivas e Hidrograma de ESD observados para o Evento 15, e hidrogramas estimados para o mesmo evento a partir da: (a) P_1 e P_2 e da (b) P_3 e P_4 .

Com base nas estatísticas médias (Tabela 1) é possível observar o ótimo desempenho da P_2 em relação às demais, com apenas 3 dos 20 eventos não considerados pelo menos, satisfatórios. As piores estimativas foram obtidas pela P_3 e P_4 . A P_1 teve um desempenho intermediário, com algumas boas estimativas. O baixo desempenho das propostas geomorfológicas, em alguns eventos, pode estar relacionado ao fato de que estes não apresentaram precipitação de forma concentrada, o que dificultou a modelagem dos hidrogramas de ESD. Além disso, foi possível observar que vários eventos resultaram em valores baixos de ER_{Qp} e valores de C_{NS} não satisfatórios. Isso indica que a proposta permitiu estimar as vazões de forma satisfatória, contudo, há uma defasagem no tempo entre as vazões observadas e as estimadas.

Os resultados obtidos se assemelham aos de BESKOW et al. (2018), utilizando a P_4 na BHRJ ($C_{NS,médio} = -4,66$ e $ER_{Qp,médio} = 193,9\%$), e de Zakizadeh; Malekinezhad (2015), utilizando a P_1 ($C_{NS,médio} = -0,14$ e $ER_{Qp,médio} = 39,57\%$) e P_3 ($C_{NS,médio} = -2,86$ e $ER_{Qp,médio} = 42,35\%$) na bacia iraniana Manshad (60 km²).

4. CONCLUSÕES

A P_2 permitiu estimar de forma satisfatória hidrogramas de ESD resultantes de precipitações com intensidades elevadas e/ou concentradas na BRHJ. Apesar da maior facilidade de aplicação, a P_1 e a P_2 apresentaram desempenho superior em relação à P_3 e à P_4 , as quais são geralmente aplicadas em estudos semelhantes. Esta análise deve ser realizada em outras bacias hidrográficas e utilizando mais eventos com o intuito de verificar o desempenho das propostas.

O HUIN combinado com propostas geomorfológicas tem potencial para auxiliar em projetos de drenagem urbana e rural e para compor sistemas simplificados de alertas a enchentes, sem a necessidade de calibração, e utilizando apenas características geomorfológicas e eventos de chuva para estimar vazões de pico e/ou hidrogramas de cheia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 17, n. 1, p.69–76, 2013.

BESKOW, S. et al. Geomorphology-based unit hydrograph models for flood risk management: case study in Brazilian watersheds with contrasting physiographic characteristics. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1873-1890, 2018.

BHASKAR, N. R.; PARIDA, B. P.; NAYAK, A. K. Flood estimation for ungauged catchments using the GIUH. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 123, p. 228-238, 1997.

CLARK, C. O. Storage and the Unit Hydrograph. *Transactions American Society Civil Engineers*, v. 110, p. 1419-1488, 1945.

ESRI, **ArcGIS DESKTOP 10.1**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri), 2014. CD-ROM.

MIKHAILOVA, M. V; MIKHAILOV, V. N.; MOROZOV, V. N. Extreme Hydrological Events in the Danube River Basin over the Last Decades. **Water Resources and the Regime of Water Bodies**, v. 39, n. 2, p. 161–179, 2012.

MOTOVILOV, Y. G.; GOTTSCHALK, L.; ENGELAND, K.; RODHE, A. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 98-99, p. 257-277, 1999.

NASH, J. E. The form of the instantaneous unit hydrograph. **International Association of Scientific Hydrology**, v. 45, n. 3, p. 114-121, 1957.

NASH, J. E. A unit hydrograph study, with particular reference to British Catchments. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v. 17, n. 3, p. 249-282, 1960.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-298, 1970.

ROSSO, R. Nash Model Relation to Horton Order Ratios. **Water Resources Research**, v. 20, n. 7, p. 914-920, 1984.

SHERMAN, L. K. Streamflow from rainfall by the unit-graph method. **Engineering News Record**, v. 108, p.501-505, 1932.

WU, I. Design hydrographs for small watersheds in Indiana. **Journal of the Hydraulics Division**, v. 89, n. 6, p. 35-66, 1963.

ZAKIZADEH, F.; MALEKINEZHAD, H. Comparison of Methods for Estimation of Flood Hydrograph Characteristics. **Russian Meteorology and Hydrology**, v. 40, n. 12, p. 828-837, 2015.