

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

APLICABILIDADE DA VERSÃO DISTRIBUÍDA DO MODELO DE CLARK (ModClark) PARA ESTIMATIVA DE HIDROGRAMAS DE CHEIA: AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS GEOMORFOLÓGICAS

*Jéssica Fernanda Ogassawara¹; Samuel Beskow²; Maurício Dai Prá³; Maíra Martim de Moura⁴;
Marcelle Martins Vargas⁵*

RESUMO – Devido à carência de dados fluviométricos e à necessidade de realizar estudos associados a cheias em bacias hidrográficas, têm-se incentivado o desenvolvimento de técnicas de estimativa de hidrogramas de escoamento superficial direto (ESD). Dentre estas técnicas, destaca-se a do Hidrograma Unitário Instantâneo representado pelo modelo de Clark, principalmente em sua versão modificada (ModClark). Com a finalidade de atender demandas de estudos em bacias sem monitoramento, propostas geomorfológicas vêm sendo difundidas na literatura. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de três propostas geomorfológicas (P1, P2 e P3) frente à estimativa de hidrogramas de cheias por meio do ModClark na bacia hidrográfica do arroio Cadeia, localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul. Os procedimentos metodológicos relacionados aos hidrogramas de ESD foram realizadas no software HEC-HMS utilizando como dados de entrada características físicas da bacia e de 5 eventos chuva-vazão monitorados. Com base nos resultados obtidos neste estudo, concluiu-se que a aplicação do ModClark apresentou um desempenho satisfatório em relação à estimativa dos hidrogramas de ESD. Entretanto, a escolha da proposta geomorfológica influenciou significativamente nos resultados, sendo que a P1 foi a que proporcionou as melhores estimativas, já a P2 e P3 superestimaram e subestimaram as vazões, respectivamente.

ABSTRACT– The development of techniques for estimation of direct surface runoff (DSR) hydrographs has been encouraged due to the lack of streamflow data and to the need for studies associated with floods in watersheds. Among these techniques, the Instantaneous Unit Hydrograph represented by Clark's model, mainly in its modified version (ModClark), should be highlighted. In order to meet the demands of studies in ungauged watersheds, geomorphological approaches have been disseminated in the literature. The objective of this study was to evaluate the performance of three geomorphological approaches (P1, P2 and P3) for estimation of flood hydrographs using ModClark in the Cadeia river watershed, located in the Southern Rio Grande do Sul State. The methodological procedures related to the DSR hydrographs were conducted in the HEC-HMS software using physical characteristics of the watershed and 5 observed rainfall-runoff events as input data. Based on the results found in this study, it was concluded that the application of ModClark presented a satisfactory performance for estimation of DSR hydrographs. However, the choice of the geomorphological approach exerted influence on the results. In this sense, P1 provided the best estimates, while P2 and P3 overestimated and underestimated stream flows, respectively.

Palavras-Chave – Modelagem chuva-vazão, sub-bacia do arroio Pelotas; HEC-HMS.

1) Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Rua Gomes Carneiro, 1 – Centro, Pelotas/RS, (55) 99646-0354, ogassawarajessica@gmail.com

2) Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Rua Gomes Carneiro, 1 – Centro, Pelotas/RS, (53) 3284-3841, samuel.beskow@ufpel.edu.br

3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre/RS, (51) 33086405, mdaipra@gmail.com

4) Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Rua Gomes Carneiro, 1 – Centro, Pelotas/RS, (53) 99900-8812, martimdemoura@gmail.com

5) Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Rua Gomes Carneiro, 1 – Centro, Pelotas/RS, (53) 99966-7219, marcellelvarg@gmail.com

INTRODUÇÃO

A água é essencial para a sustentabilidade do sistema da terra, além de ser fundamental para as atividades humanas bem como no progresso econômico de uma região (WWAP, 2003). Entretanto, o aumento populacional e dos padrões e expectativa de vida têm aumentado a demanda em relação à disponibilidade hídrica. Mikhailova *et al.* (2012) relatam que as mudanças climáticas associadas às ações antrópicas e ao crescimento populacional, têm provocado alterações no regime hidrológico, influenciando na ocorrência de eventos extremos de chuva o que resulta em inúmeros problemas relacionados a cheias em bacias hidrográficas. Nestes casos, o monitoramento hidrológico é de suma importância para a gestão das mesmas, uma vez que problemas como esses têm causado expressivos prejuízos de caráter material, social e ambiental (GHUMMAN *et al.*, 2012).

No Brasil, a rede de monitoramento e gerenciamento de informações hidrológicas abrange, em sua maioria, médias e grandes bacias com escala de dados diários. Neste contexto, têm-se estimulado cada vez mais o desenvolvimento e o uso de técnicas de estimativa de hidrogramas originados de eventos de chuvas intensas. Inicialmente foi proposta uma técnica amplamente difundida para transformação chuva efetiva em hidrograma de escoamento superficial direto, sendo denominada de Hidrograma Unitário (HU) (SHERMAN, 1932). Posteriormente, o modelo de HU foi aprimorado, surgindo o conceito de Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI) (CLARK, 1945).

Haja vista que as técnicas de HU e HUI são dependentes de dados observados de chuva-vazão, os quais são de difícil obtenção devido ao monitoramento hidrológico ser comumente insuficiente para atender todas as necessidades existentes, especialmente para os intervalos de tempo necessários para pequenas e médias bacias, propostas geomorfológicas para estimativa dos parâmetros dos modelos vêm sendo desenvolvidas, com intuito de aproximar a vazão e o tempo de pico dos hidrogramas com parâmetros extraídos do relevo da bacia hidrográfica. Na literatura, alguns métodos de HU geomorfológicos consolidados (e.g. HU Triangular e HU Adimensional) têm sido amplamente utilizados, como por exemplo, para estimativa de vazões de pico voltados a projetos de drenagem urbana e rural.

Referente aos modelos de HUI, destacam-se o modelo desenvolvido por Clark (1945) e também o modelo Modificado de Clark (ModClark), proposto por Peters e Easton (1996). Embora o HUI de Clark (HUIC) apresente uma metodologia mais robusta que os modelos de HU, esta técnica tem sido pouco empregada no Brasil (BESKOW *et al.*, 2018) devido à dificuldade de determinar os seus parâmetros. Sendo assim, propostas geomorfológicas referentes ao HUIC vêm sendo desenvolvidas (DOOGE, 1973; MOHAVE COUNTY, 2009; STRAUB; MELCHING; KOCHER, 2000), as quais podem auxiliar os hidrólogos no que concerne à utilização do modelo; todavia, estudos visando avaliar o uso de tais propostas são escassos na literatura (SHERIDAN, 1994; SILVEIRA, 2005).

Com intuito de ajudar a preencher essa lacuna na literatura, o presente trabalho tem como objetivo principal investigar na literatura mundial propostas geomorfológicas existentes para o HUIC e avaliá-las no que se refere à estimativa de hidrogramas de cheias por meio da modelagem hidrológica via ModClark, tomando como base uma bacia hidrográfica monitorada no sul do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC), localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, cujo monitoramento é realizado pelo Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas/CNPq, na Universidade Federal de Pelotas. A BHAC, que é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do arroio Pelotas (BHAP), possui uma área de drenagem de 121,3 km² e o seu curso d'água principal, o arroio Cadeia, é um dos principais afluentes do arroio Pelotas (Figura 1).

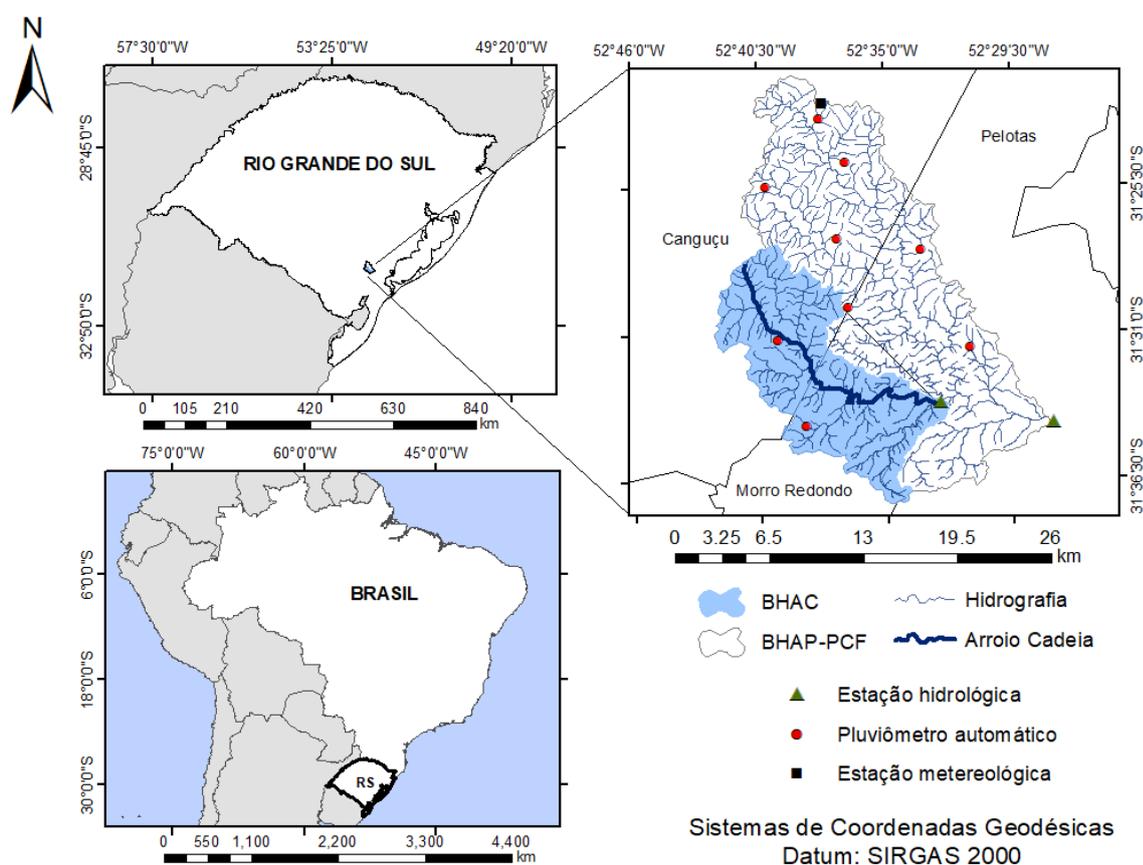


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do arroio Pelotas à montante da seção de controle Ponte Cordeiro de Farias (BHAP-PCF) cujo monitoramento é de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), bem como a localização da BHAC e a rede de monitoramento hidrológico empregada.

Fonte: Elaborado a partir de dados da base cartográfica do IBGE.

Inicialmente, foram selecionados eventos de chuva, com diferentes durações, totais precipitados e intensidades médias, dando preferência à eventos de chuva de maior magnitude. Os eventos foram organizados com o intuito de gerar hietogramas com intervalo de tempo de 30 minutos. O hietograma médio da bacia, referente a cada evento de chuva, foi computado pela metodologia dos Polígonos de Thiessen (THIESSEN; ALTER, 1911), utilizando dados de chuva de 4 pluviômetros automáticos e de 2 estações hidrológicas da rede de monitoramento.

Para cada evento de chuva analisado, a resposta na seção de controle da bacia foi representada em termos da variação das vazões ao longo do tempo. Estes dados de vazão, também com intervalos de tempo de 30 minutos, foram obtidos por meio da combinação do monitoramento linimétrico e da curva-chave da BHAC na sua seção de controle, a qual foi ajustada utilizando dados de medições de vazão e os respectivos níveis do curso d'água. Para a separação do ESD e determinação do hidrograma apenas deste componente do escoamento, para cada evento de chuva, foi utilizado o Método das Inflexões, conforme descrito por Mello e Silva (2013). O volume de ESD foi obtido por integração numérica de acordo com a Regra dos Trapézios, possibilitando, na sequência, o cálculo da precipitação efetiva (P_e) de cada evento.

Posteriormente, foi aplicado o método Natural Resources Conservation Service – Curve Number (NRCS-CN), para calcular a distribuição temporal da P_e para cada evento em análise. Esta metodologia considera as abstrações iniciais (I_a) e também valores de CN que variam para diferentes tipos de solos e cobertura vegetal. Compete destacar que foram considerados os valores de I_a para cada evento de chuva pela análise dos hietogramas e de seus respectivos hidrogramas de ESD, seguindo as recomendações de Chow, Maidment e Mays (1988). Já os valores de CN foram calibrados para cada evento de chuva, de modo que a soma de todas as P_{e_s} fosse igual ao ESD observado (em lâmina) na seção de controle da bacia, considerando o valor observado da I_a para cada evento.

Para a calibração do CN, foi levado em consideração também a calibração dos parâmetros tempo de concentração (t_c) e coeficiente de armazenamento (R) do modelo. Entretanto, não foram utilizados os valores calibrados de t_c e R para a estimativa dos hidrogramas, e sim seus valores determinados a partir das 3 propostas geomorfológicas avaliadas neste estudo. Salienta-se que a obtenção do t_c e do R bem como a de I_a e do CN foi realizada de forma concentrada, onde, para cada evento, um valor de I_a e CN representasse toda a bacia em estudo.

Para a aplicação do HUIC é necessário determinar o Histograma-Tempo-Área (HTA), que pode ser obtido por meio da determinação das linhas isócronas que separa a bacia em subáreas. Além disso, no modelo, também é considerado a propagação do HTA por meio de um reservatório linear que representa o armazenamento da bacia. O modelo do HUIC é representado pelas seguintes equações (CLARK, 1945):

$$Q_{i+1} = 2 \cdot C_0 \cdot R_{E(i)} + C_1 \cdot Q_1 \quad (1)$$

$$C_0 = \frac{0,5 \cdot t}{R + 0,5 \cdot t} \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{R - 0,5 \cdot t}{R + 0,5 \cdot t} \quad (3)$$

Em que, Q é a ordenada do HUIC; i refere-se ao tempo; R_E é a precipitação efetiva uniformemente distribuída e dependente do Histograma Tempo-Área (HTA) e de uma constante de conversão de unidades; t é o intervalo de simulação em horas; e C_0 e C_1 são coeficientes de ponderação.

Em relação ao modelo ModClark, ressalta-se que é uma adaptação da técnica do HUIC de tal forma que o ModClark permite acomodar dados de chuva espacialmente distribuídos por uma grade uniforme sobreposta na bacia hidrográfica (BHATTACHARYA *et al.*, 2012), considerando os mesmos parâmetros e as mesmas equações supracitadas. Neste sentido, para o ModClark não é necessário definir o HTA, haja vista que o tempo de viagem é estabelecido para cada célula da grade sobreposta à bacia.

Após uma vasta pesquisa bibliográfica, 4 propostas geomorfológicas foram encontradas, sendo desenvolvidas visando estimar os parâmetros t_c e R do modelo de HUIC a partir de características geomorfológicas de bacias, entretanto, no presente estudo, foram avaliadas 3 destas, com o intuito de obter, dentre essas propostas, uma melhor resposta na modelagem do hidrograma de ESD para a BHAC. As propostas utilizadas foram a de Straub, Melching e Kocher (2000) (Equações 4 e 5), Dooge (1973) (Equações 6 e 7) e Mohave County (2009) (Equações 8 e 9), designadas neste estudo por P1, P2 e P3, respectivamente. As unidades de tais propostas geomorfológicas apresentadas originalmente nos respectivos estudos foram convertidas para o Sistema Internacional (S.I) a fim de facilitar os cálculos e o entendimento dos resultados e discussões de tais propostas.

$$t_{c_1} = \frac{0,7514 \cdot L^{0,875}}{S_0^{0,181}} \quad (4)$$

$$R_1 = \frac{3,7435 \cdot L^{0,342}}{S_0^{0,790}} \quad (5)$$

$$t_{c_2} = \frac{1,7465 \cdot A^{0,41}}{S^{0,70}} \quad (6)$$

$$R_2 = \frac{80,7441 \times L^{0,23}}{S^{0,70}} \quad (7)$$

$$t_{c_3} = \frac{3,6996 \cdot A^{0,1} \cdot L^{0,25} \cdot L_{ca}^{0,25}}{S_0^{0,2}} \quad (8)$$

$$R_3 = \frac{0,4349 \cdot t_c^{1,1} \cdot L^{0,8}}{A^{0,57}} \quad (9)$$

Em que, t_c é o tempo de concentração em horas; R o coeficiente de armazenamento em horas; L é o comprimento do curso d'água principal em km; S_0 é a declividade média do curso d'água principal em $m \cdot km^{-1}$; A é área de drenagem da bacia em km^2 ; S é a declividade média da bacia em partes por 10.000; e L_{ca} o comprimento medido do exutório ao longo de L até um ponto em L perpendicular ao centroide da bacia hidrográfica em km.

A modelagem hidrológica via ModClark foi realizada no software HEC-HMS (USACE 2015) utilizando como dados de entrada o hietograma de cada evento analisado e os valores calculados de t_c e R para cada proposta geomorfológica. Para analisar o desempenho do modelo foi realizada a comparação do hidrograma estimado de ESD com o observado, para cada evento, por meio de estatísticas, sendo estas: coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) e o erro relativo da vazão de pico (ER_{Qp}).

Conforme Nash e Sutcliffe (1970), o C_{NS} expressa a eficiência da aplicação do modelo para estimativas, principalmente das vazões de cheias. Motovilov *et al.* (1999) sugerem a seguinte classificação para esse coeficiente: $C_{NS} \geq 0,75$, bom; $0,75 > C_{NS} \geq 0,36$, satisfatório; $C_{NS} < 0,36$, insatisfatório. Já o ER_{Qp} relaciona as vazões de pico estimadas em relação às vazões de pico observadas, sendo que Van Liew *et al.* (2007) apresentaram a seguinte classificação: $|ER_{Qp}| < 10\%$, muito bom; $10\% < |ER_{Qp}| < 15\%$, bom; $15\% < |ER_{Qp}| < 25\%$, satisfatório e $|ER_{Qp}| > 25\%$, inadequado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados 5 eventos de chuva x vazão com o objetivo de descrever os diferentes cenários de respostas hidrológicas na BHAC, sendo que cada um dos eventos apresentou hidrograma unimodal, ou seja, com apenas um pico de vazão, apresentando trechos bem definidos de ascensão e recessão para análise de cheias. Os valores de CN foram 56, 72, 87, 82 e 74, respectivamente, para os eventos 1, 2, 3, 4 e 5. Em relação às I_a para cada evento, os valores obtidos foram 15,1mm, 11,0mm, 8,5mm, 14,2mm e 2,6mm, respectivamente. Já os valores de t_c e R foram 8,4h e 2,5h, 3,8h e 1,8h e 7,0h e 3,0h, respectivamente, para P1, P2 e P3.

Os hidrogramas estimados com base no ModClark, bem como o respectivo hidrograma observado na BHAC, para cada evento, são apresentados na Figura 2. Observando os gráficos na Figura 2 é possível constatar que, dentre as três propostas empregadas, a P1 foi a que se sobressaiu em relação às demais, apresentando a melhor estimativa de hidrogramas para a maioria dos eventos.

As propostas P2 e P3 resultaram nas piores estimativas de hidrogramas para a maioria dos eventos, superestimando e subestimando, respectivamente, os valores de vazão de pico.

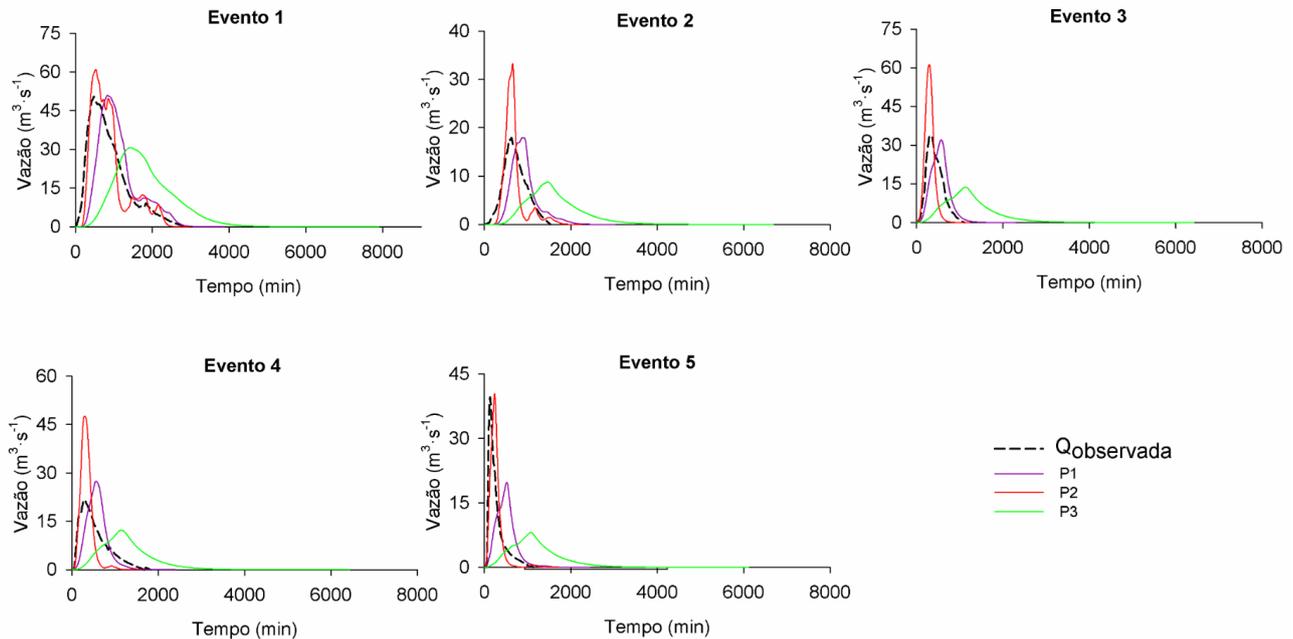


Figura 2 – Hidrogramas de ESD estimados a partir do modelo Modclark combinado com diferentes propostas geomorfológicas e o hidrograma de ESD observado na seção de controle da BHAC para cada evento analisado.

Na Quadro 1 são apresentados os valores de C_{NS} e de ER_{Qp} . Analisando os resultados, constata-se que a P1 foi a proposta que obteve as melhores classificações (MOTOVILOV *et al.*, 1999; VAN LIEW *et al.*, 2007) para ambas as estatísticas, corroborando com a constatação visual supracitada.

Quadro 1- Valores obtidos para o coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) e para o erro da vazão de pico (ER_{Qp}) dos eventos analisados na BHAC, bem como a classificação destas estatísticas de acordo com Motovilov *et al.* (1999) e Van Liew *et al.* (2007)

Eventos	Propostas	C_{NS}	Classificação	ER_{Qp} (%)	Classificação
1	P1	0,40	Satisfatório	0,99	Muito bom
	P2	0,81	Bom	20,33	Satisfatório
	P3	0,73	Satisfatório	39,34	Inadequado
2	P1	0,30	Insatisfatório	0,17	Satisfatório
	P2	0,04	Insatisfatório	84,97	Inadequado
	P3	-0,97	Insatisfatório	51,30	Inadequado
3	P1	0,46	Satisfatório	4,64	Muito bom
	P2	-0,22	Insatisfatório	81,75	Inadequado

	P3	-0,80	Insatisfatório	59,23	Inadequado
4	P1	0,56	Satisfatório	17,09	Satisfatório
	P2	-0,40	Insatisfatório	63,34	Inadequado
	P3	-0,72	Insatisfatório	63,69	Inadequado
5	P1	-0,28	Insatisfatório	21,39	Satisfatório
	P2	0,59	Satisfatório	101,21	Inadequado
	P3	-0,51	Insatisfatório	45,04	Inadequado

No estudo realizado por Beskow *et al.* (2018), a estimativa de hidrogramas para a BHAC e também para a bacia do ribeirão Jaguara, localizada no sul de Minas Gerais, foi realizada aplicando o modelo de HUIC por meio da modelagem concentrada, entretanto, considerando apenas a sua versão geomorfológica, onde os parâmetros t_c e R foram computados pelas equações de Dooge (1973) e Mohave County (2009), respectivamente. Os autores constataram que as vazões foram superestimadas para a BHAC e subestimadas para o ribeirão Jaguara. Veber (2016), levando em consideração a mesma metodologia adotada por Beskow *et al.* (2018), encontrou valores superestimados de vazões para a bacia do ribeirão Lavrinha, localizada no sul de Minas Gerais, e subestimados para a bacia da sanga Ellert, localizada no sul do Rio Grande do Sul.

Vale destacar que, a bacia Sanga Ellert e a BHAC estão localizadas na mesma região, sendo sub-bacias da BHAP, e que a metodologia aplicada em ambos os estudos foi a mesma, entretanto, os resultados das estimativas dos hidrogramas foram divergentes. Isso também acontece para as bacias do ribeirão Jaguara e do ribeirão Lavrinha. Partindo deste pressuposto, Rousseau *et al.* (2012) relatam que a sensibilidade do modelo aos parâmetros é diferente de uma bacia para a outra não apenas pela localização, mas também pelas características fisiográficas da bacia, bem como na duração e distribuição da chuva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo tem uma importância significativa no contexto da engenharia hidrológica e hidráulica, visto que os projetistas, especialmente no Brasil, têm empregado formulações empíricas e simplificadas obtidas em estudos realizados em bacias localizadas fora do país, e que, geralmente, são diferentes das características das bacias brasileiras. Deste modo, buscou-se avaliar um modelo mais conceitual para transformação chuva-vazão baseado em propostas geomorfológicas pouco aplicadas na literatura, com o objetivo de verificar seus desempenhos em relação às características da bacia em estudo.

Dentre as propostas empregadas, foi possível constatar que os valores de t_c e R oriundos da proposta P1 resultaram no melhor desempenho frente à estimativa de hidrogramas de ESD na bacia sob análise. Sendo assim, esta proposta seria a mais indicada para estimar vazões máximas nesta bacia. Entretanto, mais estudos devem ser realizados a fim de verificar o desempenho dessa proposta geomorfológica em relação a eventos de chuvas com diferentes características e magnitudes dos eventos analisados, assim como em outras bacias hidrográficas com características fisiográficas semelhantes.

É importante destacar que a modelagem realizada foi de forma concentrada, contudo, ainda pode ser realizada de forma semi-distribuída considerando sub-bacias delimitadas ao longo da bacia de interesse, permitindo aumentar a confiabilidade das estimativas. No entanto, os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios, visto que foi possível utilizar um modelo conceitual (ModClark) para estimativa de hidrogramas de ESD acoplado apenas informações simples de serem obtidas a partir do relevo. De forma complementar, deve ser ressaltado que não houve calibração dos parâmetros t_c e R do ModClark, ou seja, estes parâmetros foram apenas determinados a partir de informações do relevo, demonstrando um grande potencial de aplicação do modelo para estudos hidrológicos que demandam vazões de projeto e/ou hidrogramas de projetos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. M.; GHUMMAN, A. R.; AHMAD, S. (2009). "Estimation of Clark's Instantaneous Unit Hydrograph parameters and development of direct surface runoff hydrograph". *Water Resources Management* 23(12), pp. 2417-2435.
- BHATTACHARYA, A. K.; MCENROE, B. M.; ZHAO, H.; KUMAR, D.; SHINDE, S. "Modclark model: improvement and application". *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, v. 2, n. 7, p. 100-118, 2012.
- BESKOW, S.; NUNES, G. S.; MELLO, C. R.; CALDEIRA, T. L.; NORTON, L. D.; STEINMETZ, A. A.; VARGAS, M. M.; ÁVILA, L. F. 2018. "Geomorphology-based unit hydrograph models for flood risk management: case study in Brazilian watersheds with contrasting physiographic characteristics". *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 90(2), Rio de Janeiro.
- BHASKAR, N. R.; PARIDA, B. P.; NAYAK, A. K. 1997. "Flood estimation for ungauged catchments using the GIUH". *Journal of Water Resources Planning and Management* 123, pp. 228-238.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. 1988. "Applied Hydrology". 1. ed. New York: McGraw-Hill, 588 p
- CLARK, C. O. 1945. "Storage and the Unit Hydrograph". *Transactions American Society Civil Engineers* 110, pp. 1419-1488.
- DOOGE, J. 1973. "Linear theory of hydrologic systems". Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.

- GHUMMAN, A. R.; AHMAD, M. M.; HASHMI, H. N.; KAMAL, M. A. 2012. “*Development of geomorphologic instantaneous unit hydrograph for a large watershed*”. Environmental Monitoring and Assessment 184, pp. 3153–3163.
- MELLO, C. R. de.; SILVA, A. M. D. 2013. “*Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas*”. 1ª. ed. Lavras: UFLA. 455 p.
- MIKHAILOVA, M. V; MIKHAILOV, V. N.; MOROZOV, V. N. 2012. “*Extreme Hydrological Events in the Danube River Basin over the Last Decades*”. Water Resources and the Regime of Water Bodies, 39(2), pp. 161–179.
- MOHAVE COUNTY. “*Drainage design manual for Mohave County*”. 70p., 2009.
- MOTOVILOV, Y. G.; GOTTSCHALK, L.; ENGELAND, K.; RODHE, A. 1999. “*Validation of a distributed hydrological model against spatial observations*”. Agricultural and Forest Meteorology 98-99, pp. 257-277.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. 1970. “*River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles*”. Journal of Hydrology 10(3), pp. 282- 298.
- PETERS, J. C.; EASTON, D. J. 1996. “*Runoff Simulation Using Radar Rainfall Data*”. Journal of the American Water Resources Association 3(4), pp. 753-760.
- RAZMKHAH, H.; AKHOUNDALI, A. M.; RADMANESH, F. 2017. “*Correlated Parameters Uncertainty Propagation in a Rainfall-Runoff Model, Considering 2-Copula; Case Study: Karoon III River Basin*”. Environmental Modeling & Assessment 22 (5), pp. 503-521.
- ROUSSEAU, M.; CERDAN, O.; ERN, A.; MAITRE, O. L.; SOCHALA, P. 2012. “*Study of overland flow with uncertain infiltration using stochastic tools*”. Advances in Water Resources 38, pp. 1-12.
- SHERIDAN, J. M. 1994. “*Hydrograph time parameters for flatland watershed*”s. Transactions of the ASAE, 37, n. 1, pp. 103-113.
- SHERMAN, L. K. 1932. “*Streamflow from rainfall by the unit-graph method*”. Engineering News Record 108, pp. 501-505.
- SILVEIRA, A. L. L. da. 2005. “*Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais*”. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 10 (1), pp. 5-23.
- STRAUB, T. D.; MELCHING, C. S.; KOCHER, K. E. 2000. “*Equations for estimating Clark unit-hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois*”. US Dept. of the Interior, US Geological Survey; Branch of Information Services.
- THIESSEN, A.; ALTER, J. C. 1911. “*Precipitation averages for large areas*”. Climatological Data For July, 1911. Monthly Weather Review 39(10), pp. 1082-1084.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). 2015. “*Hydrologic Modeling System HEC-HMS Version 4.1, Release Notes*”. Army Corps of Engineers.
- VAN LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. 2007. “*Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project: Comparison on USDA Agricultural Research Service Watersheds*”. Journal of Hydrological Engineering 12(2), pp. 173-189.
- VEBER, C. L. P. 2016. “*Desempenho de modelos de hidrograma unitário em duas bacias hidrográficas com comportamento hidrológico contrastante*”. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, pp. 113.
- WWAP - WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (UNITED NATIONS). 2008. “*Nature-based solutions for water*”. Unesco.