

ESTIMATIVA DE HIDROGRAMAS DE CHEIA APLICANDO O ModClark: ANÁLISE DE DIFERENTES ABORDAGENS DE DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL

JÉSSICA FERNANDA OGASSAWARA¹; MAÍRA MARTIM DE MOURA²;
MARCELLE MARTINS VARGAS³; MAURÍCIO DAI PRÁ⁴; SAMUEL BESKOW⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – ogassawarajessica@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – martimdemoura@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – marcellevarg@gmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul– mdaipra@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Pelotas – samuel.beskow@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

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 e resultando em inúmeros problemas relacionados a cheias em bacias hidrográficas. Embora o monitoramento hidrológico seja de extrema importância para a gestão das bacias, este geralmente é inexistente no local de interesse para projetos hidrológicos e hidráulicos. Nesse sentido, têm-se estimulado cada vez mais o desenvolvimento e o uso de técnicas para a estimativa de hidrogramas originados de eventos de chuvas intensas, com destaque para aquelas fundamentadas nas teorias do Hidrograma Unitário (HU) (SHERMAN, 1932) e do Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI) (CLARK, 1945).

Dentre os modelos de HUI disponíveis, destaca-se o modelo desenvolvido por Clark (1945) – HUIC, e sua versão modificada (ModClark), proposta por Peters e Easton (1996). O ModClark é uma adaptação da técnica do HUIC que permite acomodar dados de chuva espacialmente distribuídos por uma grade uniforme sobreposta na bacia hidrográfica (BHATTACHARYA et al., 2012), simulando os processos de conversão chuva-vazão célula a célula. Vale salientar que os modelos de HU e de HUI podem ser ajustados com base em dados monitorados de chuva-vazão, entretanto, devido à dificuldade de obtenção dos mesmos, os parâmetros dos modelos podem ser estimados levando em consideração as características geomorfológicas da bacia hidrográfica.

Segundo Lampert e Wu (2015), os modelos concentrados, ou seja, aqueles que definem parâmetros válidos para toda a bacia, fazem uso de uma representação simplificada para a transformação chuva-vazão e requerem menor quantidade de informações de entrada. Entretanto, Smith et al. (2004), relatam que modelos semi-distribuídos são capazes de fornecer uma caracterização mais detalhada das bacias hidrográficas, bem como melhores estimativas do balanço hídrico, especialmente em sua saída.

Partindo deste pressuposto, este trabalho buscou avaliar o desempenho do Modclark, em sua versão geomorfológica, frente à discretização espacial (concentrada e semi-distribuída por sub-bacia), tomando como base uma bacia hidrográfica monitorada no sul do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC), localizada no sul do Rio Grande do Sul, cujo monitoramento hidrológico é realizado pelo Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas/CNPq, da Universidade Federal de Pelotas. A BHAC 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.

Foram selecionados 5 eventos chuva-vazão de forma que representassem hidrogramas unimodais com trechos bem definidos de ascensão e recessão. Para cada evento, a resposta na seção de controle da bacia foi representada em termos da variação das vazões ao longo do tempo. Para a separação do escoamento superficial direto (ESD) dos hidrogramas foi utilizado o método das Inflexões A e C (CHOW; MAIDMENTE; MAYS, 1988). A distribuição temporal de precipitações efetivas (P_e) de cada evento foi obtida utilizando o método Curve Number (SCS, 1986), proposto pelo *Natural Resources Conservation Service* dos Estados Unidos. Para isso, foram considerados os valores observados das abstrações iniciais (I_a) e calibrado o valor de CN para cada evento, de modo que a soma de todas as P_e 's fosse igual ao ESD observado (em lâmina).

As informações topográficas para a BHAC foram extraídas da base cartográfica de Hasenack e Weber (2010), em uma escala de 1:50.000. Essas informações foram interpoladas em células de 25 m, derivando no modelo digital de elevação hidrológicamente consistente (MDEHC), a partir do qual foi realizado a delimitação da bacia, a qual foi subdividida em 7 sub-bacias no software ArcGIS (ESRI, 2014).

A modelagem hidrológica via ModClark foi realizada no software Hydrologic Modeling System, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica (HEC-HMS) (USACE, 2015), utilizando como dados de entrada o hietograma de cada evento e os valores dos parâmetros tempo de concentração (t_c) e armazenamento da bacia (R), tanto para a bacia (modelagem concentrada) quanto para as sub-bacias (modelagem semi-distribuída). Para o cálculo de t_c e R foram aplicadas equações geomorfológicas desenvolvidas por Straub, Melching e Kocher (2000), as quais foram satisfatórias para a modelagem de cheias na BHAC quando comparadas com outras equações, de acordo com Ogassawara (2019).

Para analisar o desempenho do modelo na estimativa dos hidrogramas de ESD frente à discretização espacial foram utilizados o coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) e o erro relativo da vazão de pico (ER_{Qp}), de acordo com as classificações propostas por Motovilov et al. (1999) e Van Liew et al. (2007), respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de CN e de I_a , e dos parâmetros t_c e R referentes a BHAC e às sub-bacias, para cada evento, são apresentados na Tabela 1. Percebe-se que houve uma variação considerável nos valores destes parâmetros entre as sub-bacias, devido às diferenças físicas, topográficas, do tipo e uso do solo na BHAC.

Tabela 1: Valores de CN, I_a e dos parâmetros t_c e R dos eventos selecionados

Bacias	CN					I_a (mm)					Parâmetros	
	E1	E2	E3	E4	E5	E1	E2	E3	E4	E5	t_c (h)	R (h)
BHAC	78	61	59	69	65	3,2	7,5	14,2	2,6	9,7	8,4	2,5
SB1	76	92	86	69	65	3,2	8,1	11,8	5,2	8,7	3,4	1,3
SB2	75	70	87	69	96	3,6	7,4	14,7	3,9	6,1	3,3	1,1
SB3	99	71	57	70	82	3,2	7,5	12,0	4,2	2,3	2,7	1,5
SB4	89	90	57	69	99	3,5	7,5	12,0	4,8	13,5	2,0	1,8
SB5	84	80	88	69	66	3,2	7,0	15,3	0,7	10,1	6,3	2,4
SB6	84	62	58	69	75	3,0	7,8	18,1	0,8	10,1	5,3	2,3
SB7	75	60	57	69	99	2,7	8,7	22,2	1,3	10,5	0,5	0,1

Os hidrogramas estimados com base no ModClark, tanto para modelagem concentrada quanto para a semi-distribuída, bem como os respectivos hidrogramas observados, para cada evento, são apresentados na Figura 2.

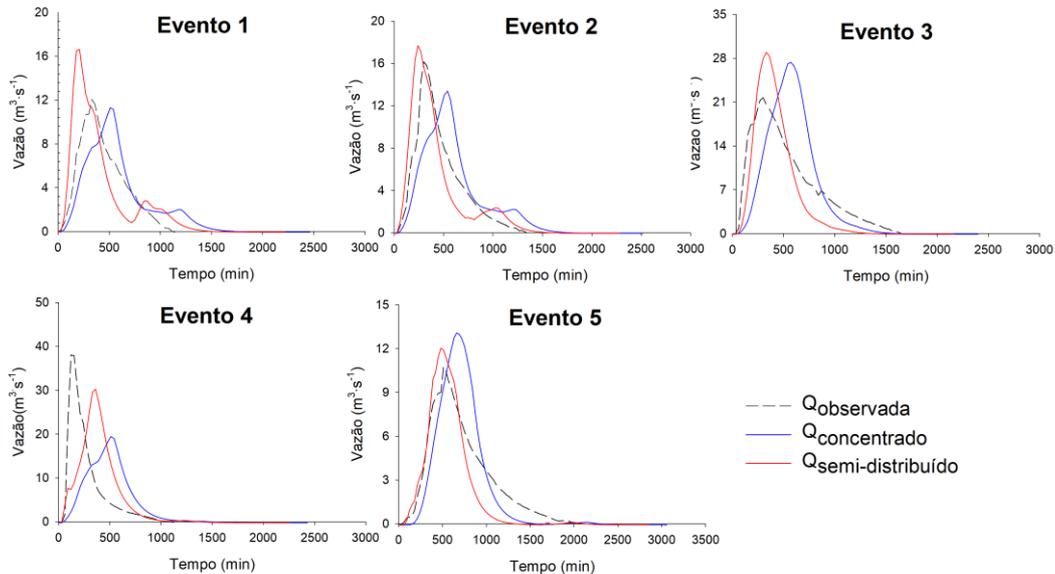


Figura 1: Hidrogramas de ESD observados e estimados via Modclark em sua versão geomorfológica considerando a modelagem concentrada e semi-distribuída para a BHAC.

É possível constatar que a modelagem semi-distribuída se sobressaiu em relação à modelagem concentrada (Figura 1), resultando em valores de C_{NS} e ER_{Qp} com melhores classificações. Isso se deve ao fato de que os modelos concentrados requerem um menor número de parâmetros de entrada no software do que os modelos semi-distribuídos, resultando em menor detalhamento da dinâmica hidrológica da bacia. Resultados semelhantes foram observados por Steinmetz et al. (2019), na mesma bacia, utilizando as mesmas discretizações espaciais. Entretanto, os autores avaliaram outra proposta geomorfológica para o modelo de Clark (HUIC). Além disso, os resultados do presente estudo são promissores, uma vez que não houve calibração dos parâmetros t_c e R para a estimativa dos hidrogramas de ESD, apenas foram utilizadas informações do relevo e de precipitação.

No tocante às estimativas de vazões máximas e hidrogramas de ESD, geralmente utilizados para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, os resultados obtidos são de extrema importância, podendo evitar a sub/superestimativas de projetos. Além disso, a acurácia destes dados é de grande valia para a composição de sistemas simplificados de previsão e alertas de enchentes, principalmente para as estimativas das cotas de cheias. Nesse sentido, a modelagem semi-distribuída se mostrou mais satisfatória estimando as vazões máximas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram um grande potencial de aplicação do modelo (ModClark) para estudos hidrológicos que demandam de vazões de pico, visto que os dados foram extremamente satisfatórios e que foi apenas utilizado informações geomorfológicas para determinação dos parâmetros do mesmo. Ademais, foi possível constatar que houve uma melhora significativa na estimativa dos hidrogramas de ESD aplicando a modelagem semi-distribuída, haja vista que os resultados das simulações foram mais condizentes com a realidade hidrológica

da BHAC. Todavia, mais estudos nesta temática devem ser realizados, para que o ajuste dos modelos evidenciados possa ser utilizado para compor sistemas de alerta a inundação e nortear trabalhos que visam à gestão de cheias na BHAC.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill Book Company, 1988. 571 p.

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.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base cartográfica vetorial continua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000**. UFRGS - Centro de Ecologia. Porto Alegre. 2010.

LAMPERT, D. J.; WU, M. Development of an open-source software package for watershed modeling with the Hydrological Simulation Program in Fortran. **Environmental Modelling & Software**, v. 68, p. 166-174, 2015.

OGASSAWARA J. F. **Modelagem de cotas de cheias a partir de vazões derivadas de hidrogramas unitários instantâneos geomorfológicos**. 2019. 170f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

PETERS, J. C.; EASTON, D. J. Runoff Simulation Using Radar Rainfall Data. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 3, n. 4, p. 753- 760, 1996.

PIGNOTTI, G., RATHJENS, H., CIBIN, R., CHAUBEY, I., CRAWFORD, M. Comparative analysis of HRU and grid-based SWAT models. **Water**, v. 9, n. 4, p. 272, 2017.

SCS. **National Engineering Handbook**. Washington: **Soil Conservation Service/USDA**. Technical Release n. 55, 1986.

SMITH, M. B.; KOREN, V. I.; ZHANG, Z.; REED, S. M.; PAN, J. J.; MOREDA, F. Runoff response to spatial variability in precipitation: an analysis of observed data. **Journal of Hydrology (Amsterdam)**, v. 298, n. 1-4, p. 267-286, 2004.

STEINMETZ, A. A.; BESKOW, S.; TERRA, F. D. S.; NUNES, M. C. M.; VARGAS, M. M.; HORN, J. F. C. Spatial discretization influence on flood modeling using unit hydrograph theory. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, 2019.

STRAUB, T. D.; MELCHING, C. S.; KOCHER, K. E. **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, 2000.

VAN LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. 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, 2007.

ZHANG, H. L.; WANG, Y. J.; WANG, Y. Q.; LI, D. X.; WANG, X. K. The effect of watershed scale on HEC-HMS calibrated parameters: a case study in the Clear Creek watershed in Iowa, US. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 7, p. 2735-2745, 2013.