

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS BASEADOS NA TEORIA DO HIDROGRAMA UNITÁRIO PARA MODELAGEM DE CHEIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CADEIA

CRISTIAN LARRI PIRES WEBER¹; MAÍRA MARTIM DE MOURA²; LÉO FERNANDES ÁVILA³; MAURICIO FORNALSKI SOARES⁴; EDUARDO MORAIS ROSA⁵; SAMUEL BESKOW⁶

¹*Discente da UFPel/PPG Recursos Hídricos - cristian.veber@hotmail.com;*

²*Discente da UFPel/Engenharia Civil - martimdemoura@gmail.com*

³*Bolsista de Pós-Doutorado UFPel/PPG Recursos Hídricos - avilalf@gmail.com*

⁴*Discente da UFPel/PPG Recursos Hídricos - mauriciofornalski@gmail.com*

⁵*Discente da UFPel/Engenharia Hídrica - duduardosr@yahoo.com.br*

⁶*Docente da UFPel/Engenharia Hídrica - samuelbeskow@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

A determinação de vazões máximas e do hidrograma de escoamento superficial direto (ESD), originados de eventos extremos de precipitação, são considerados de fundamental importância na gestão de cheias em bacias hidrográficas, sendo o conhecimento do comportamento de bacias crucial tanto para tomada de decisões quanto para projetos de infraestrutura hídrica.

Neste contexto, projetistas na área de engenharia de recursos hídricos necessitam de informações quantitativas oriundas de monitoramento hidrológico. A realidade brasileira, em termos de dados de vazões, é de uma disponibilidade de informações em determinados cursos d'água e em pontos específicos, ou seja, é bastante comum inexistir dados de monitoramento no local de interesse.

Este fato tem culminado no desenvolvimento científico da hidrologia frente a metodologias para estimativa de cheias. Deve ser destacada a teoria do Hidrograma Unitário (HU), inicialmente proposta por Sherman em 1932, a qual supõe que a bacia hidrográfica comporta-se como um sistema linear e invariante no tempo. Esta técnica permite a avaliação de uma resposta a um determinado evento de chuva, podendo ser fundamentada em dados observados de chuva e de vazão e/ou em características geomorfológicas da bacia.

Contudo, tem sido bastante comum observar projetos de engenharia no Brasil, quando da inexistência de dados de monitoramento de vazão, empregarem um número limitado de modelos bastante simplificados. Exemplos típicos de métodos são o método Racional para estimativa de vazões de pico e o HU triangular e o HU adimensional, destinados para estimativa de hidrogramas de ESD, e que foram desenvolvidos para determinadas condições americanas. A utilização destes métodos se dá, frequentemente, pela facilidade de geração de resultados, sem levar em conta critérios técnicos importantes. Este fator tem acarretado, frequentemente, no subdimensionamento ou no superdimensionamento de projetos de recursos hídricos que dependem de informações associadas a hidrogramas de ESD, trazendo inúmeros problemas à gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

O objetivo nesse trabalho é avaliar diferentes metodologias, baseadas na teoria do HU, para determinação de hidrogramas de ESD, na bacia hidrográfica do arroio Cadeia, localizada no sul do Estado do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido na bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC), a qual possui uma área de drenagem de aproximadamente 121 km², localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul. A referida bacia apresenta grande valor econômico na região, uma vez que, o arroio Cadeia é considerado um dos principais afluentes do arroio Pelotas, cuja bacia hidrográfica possui uma área de aproximadamente 940 km², contemplando os municípios de Pelotas, Morro Redondo, Arroio do Padre e Canguçu.

A caracterização geomorfológica da BHAC foi realizada com base em cartas topográficas que contemplam todo o estado do Rio Grande do Sul, na escala de 1.50.000. Estes planos de informação foram utilizados como entrada no ambiente do SIG ArcGIS, com o objetivo de elaborar o modelo digital de elevação hidrológicamente consistente (MDEHC), além de obter algumas variáveis fundamentais no respectivo estudo, tais como: comprimento e ordem de cursos d'água, declividade média da bacia e de cursos d'água, razão de bifurcação, perímetro e densidade de drenagem, dentre outras.

Com relação ao monitoramento hidrológico, foram utilizados os dados de chuva e vazão de uma estação de monitoramento instalada junto à seção de controle da BHAC, dados de chuva de uma estação meteorológica localizada em Canguçu e dados de chuva de uma estação pluviométrica localizada próximo à Ponte Cordeiro de Farias, interior do município de Pelotas. A chuva média na BHAC foi determinada através da técnica de Polígonos de Thiessen, a qual atribuiu 87,67% de influência à primeira estação e 12,33% à segunda, excluindo da análise a última estação acima mencionada.

O monitoramento de níveis de água na seção de controle da BHAC, aliado a campanhas hidrológicas para medições de vazão, permitiu traçar a curva-chave do local e, conseqüentemente, a série histórica de vazões. Os dados de chuva total *versus* vazão total, discretizados num intervalo de tempo de 5 minutos, foram diariamente analisados e, então, 12 eventos, representando diferentes tempos de durações de chuva, totais precipitados e intensidades, foram selecionados para a análise. O intervalo de simulação adotado foi de 30 minutos.

Para cada evento analisado, foi extraído do hidrograma de vazões totais o hidrograma de ESD, empregando o Método da Reta-AC seguindo orientações de MELLO; SILVA (2013). Através de integração numérica foi determinado o volume de ESD de cada hidrograma e, a razão deste volume com área da BHAC, permitiu estimar a precipitação efetiva (P_e), que é a parcela da precipitação total responsável por gerar o ESD. A distribuição temporal da P_e , ou o hietograma de P_e , foi obtido através da metodologia do Índice ϕ , que corresponde à taxa média de infiltração durante o ESD ocasionado por um evento isolado de chuva, determinada para cada evento de forma iterativa.

Foram empregados os HU's conhecidos como Triangular (HUT) e Adimensional (HUA), e dois métodos de Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI) conceituais: Clark (HUIC) e Nash (HUIN). Também foram aplicadas as versões geomorfológicas de Clark (HUICG) e de Nash (HUING).

Para avaliar a acurácia dos modelos, empregou-se o coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) (NASH; SUTCLIFFE, 1970), comparando-se, para cada evento, as vazões estimadas do hidrograma de ESD com as respectivas vazões observadas. A classificação para o respectivo coeficiente, segundo MORIASI et al. (2007) são: $C_{NS} > 0,65$, muito bom; $0,54 < C_{NS} < 0,65$, bom; $0,50 < C_{NS} < 0,54$, satisfatório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os totais de precipitação dos eventos variaram entre 18,2 a 100,2 mm. As vazões máximas de ESD variaram de 2,6 a 162,5 m³/s e, a P_e , de 0,37 a 46,66 mm. Os valores do Índice ϕ foram altamente variáveis com o evento, tendo como média 12,91 mm.h⁻¹. Este comportamento pode ser parcialmente atribuído à forte influência que a distribuição temporal da precipitação exerce sobre o ajuste do Índice ϕ . Embora este índice possa ser considerado limitado, pelo fato de considerar a taxa de infiltração constante ao longo do evento de chuva, ele tem sido bastante aplicado para estimar a distribuição temporal de P_e dada a sua simplicidade, como pode ser observado no estudo de ŠRAJ et al. (2010).

Com base nos valores obtidos das estatísticas do C_{NS} (Figura 1), conforme classificação de MORIASI et al. (2007), constatou-se que os métodos HUIC e HUIN apresentaram melhores resultados, sendo mais indicados para BHAC. Os métodos de HUT, HUA, HUIN, HUING, HUIC e HUICG apresentaram valores médios de C_{NS} de 0,05, - 0,05, 0,94, 0,28, 0,96, - 0,36, respectivamente.

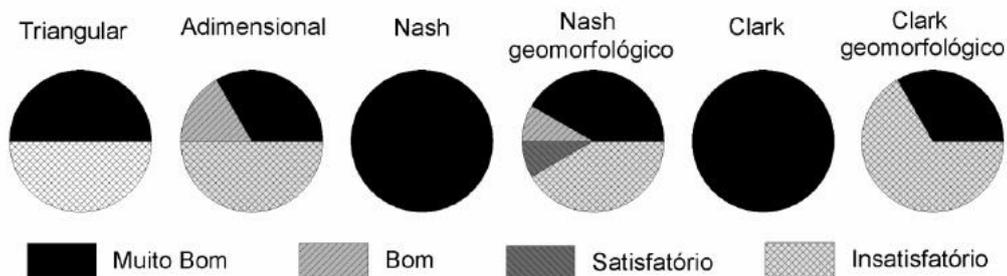


Figura 1 - Síntese dos resultados obtidos para o Coeficiente de Nash-Stucliffe (C_{NS}), segundo classificação proposta MORIASI et al. (2007), considerando os eventos ocorridos na BHAC.

A Figura 2 apresenta o ajuste do hidrograma de ESD estimado pelos métodos empregados neste estudo ao hidrograma de ESD observado, para um dos doze eventos analisados. A análise da Figura 2, combinado com os valores de C_{NS} e a classificação sugerida por MORIASI et al. (2007), permitiram constatar que os métodos que apresentaram melhores ajustes, enquadrados como “Muito Bom”, aos dados de vazão da BHAC foram o HUIN, seguido do HUIC e do HUING, tendo valores de C_{NS} de 0,99, 0,97 e 0,90, respectivamente. Por outro lado, O HUICG, HUT e HUA e foram os que apresentaram piores ajustes, visto que os seus valores de C_{NS} foram de -2,72, -1,09 e -0,82, respectivamente.

BHASKAR et al. (1997) analisaram o método HUIN e HUING em uma bacia de 615 km² na Índia e constataram que o HUIN apresentou desempenho superior, estando de acordo com os resultados encontrados neste estudo. Segundo estes autores, tal comportamento é esperado visto que os parâmetros do HUIN são derivados dos dados observados. BHASKAR et al. (1997) atribuem, parcialmente, o desempenho inferior do HUING ao uso da equação geomorfológica envolvendo as razões de bifurcação, área e comprimento, a velocidade e a intensidade de pico de P_e , para a estimativa dos parâmetros do HUING. Estes autores alertam que a equação geomorfológica usada não é uma equação universal e sua transposição para esta bacia indiana é questionável.

Os resultados deste estudo corroboram com os de GHUMMAN et al. (2014), os quais verificaram que o HUIC teve desempenho superior aos métodos HUIN e HUING para modelagem de hidrograma de ESD em uma bacia no Paquistão. Estes autores destacam a importância do histograma tempo-área do método HUIC, em função de considerar a variação temporal do ESD na bacia, enquanto no HUIN este componente não é contemplado. Por outro lado, o HUIN apresentou

melhor desempenho para estimativa da vazão de pico por permitir considerar um maior número de atenuações do que o HUIC. De acordo com GHUMMAN et al. (2014), a escala da imagem de satélite pode ter um grande impacto para a modelagem do HUING e que melhores resultados podem ser obtidos se o padrão de drenagem da bacia for definido de uma maneira mais detalhada.

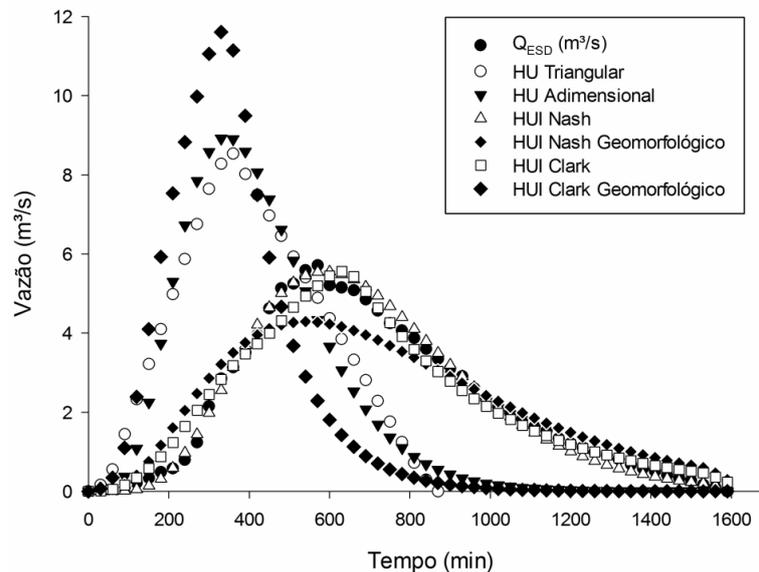


Figura 2 – Hidrogramas obtidos pelas diferentes metodologias utilizadas para o Evento 06, representado os valores obtidos para Coeficiente de Nash-Stucliffe (CNS), conforme Figura 01.

4. CONCLUSÕES

O método utilizado de HU ou HUI influenciou significativamente na estimativa de hidrogramas de ESD na BHAC, sendo os métodos HUIC e HUIN superiores às suas versões geomorfológicas e também ao HUT e HUA. Esta constatação é de suma importância e traz uma contribuição importante para a área de engenharia hidrológica, pois os métodos HUT e HUA têm sido amplamente empregados no Brasil para modelagem de cheias e dimensionamentos hidrológicos e hidráulicos em bacias hidrográficas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

GHUMMAN, A. R.; KHAN, Q. U.; HASHMI, H. N.; AHMAD, M. M. Comparison of Clark, Nash Geographical Instantaneous Unit Hydrograph Models for Semi Arid Regions. **Water Resources**, v. 41, n. 4, p. 364-371, 2014.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1ª. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p. ISBN 9788581280296.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. **Transactions of the ASABE**, v. 50, p. 885-900, 2007.

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.

ŠRAJ, M.; DIRNBEK, L.; BRILLY, M. The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 58, n. 1, p. 3-14, 2010.