UMA REVISÃO PRELIMINAR SOBRE A APLICAÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO NA PESQUISA, NO ENSINO E NA ENGENHARIA

Camyla Innocente [1] & Pedro Luiz Borges Chaffe [2]*

Resumo – Modelos hidrológicos, em geral, requerem um grande número de dados hidrológicos e meteorológicos, fato que torna desafiante utilizá-los em bacias não monitoradas. Neste contexto, o emprego do hidrograma unitário (HU) é comum na modelagem hidrológica para o cálculo de hidrogramas e vazão de pico de chuvas de projeto, devido principalmente à necessidade de poucos dados de entrada. O HU é uma função de transferência entre a precipitação efetiva e o escoamento superficial, e existem diversos modelos de HU, o qual divide-se em três grupos: tradicionais, geomorfológicos e conceituais. Esse trabalho verificou qual modelo tem sido o mais utilizado na: pesquisa, no ensino e na engenharia, por meio de revisão bibliográfica. Constatou-se que na pesquisa os HU mais utilizados, mundialmente, são os geomorfológicos, sendo que o pico da sua utilização ocorreu entre 2006 e 2010. Ao contrário do que se esperava, os modelos tradicionais foram poucos citados. Especificamente no Brasil a pesquisa utiliza os três grupos de modelos de HU, enquanto que no ensino são aplicados os hidrogramas tradicionais e os conceituais e na engenharia os modelos tradicionais.

Palavras-Chave – Hidrograma unitário, ensino de hidrologia.

THE UNIT HYDROGRAPH THEORY IN RESEARCH, TEACHING AND ENGINEERING PRACTICE: A PELIMINARY REVIEW

Abstract – Hydrological models, in general, require a large number of hydrological and meteorological data, a fact that makes it challenging to use them in ungaged basin. In this context, the use of the unit hydrograph (HU) is common in hydrological modeling for the calculation of hydrographs and peak flows, mainly due to the need for few input data. The HU is a transfer function between the excess rainfall and the surface runoff, and there are several HU models, which are divided into three groups: traditional, geomorphological and conceptual. This study verified which model has been the most used in: research, teaching and engineering, through a bibliographic review. We found that in research, the most commonly used HU in the world are geomorphological, and the peak of their use occurred between 2006 and 2010. Contrary to our initial expectations, traditional models were cited fewer times. Specifically in Brazil, research uses the three groups of HU models, while teaching uses traditional and conceptual hydrographs and engineering, in turn, uses the traditional models.

Keywords –Unit hydrograph, Teaching in hydrology.

[1] *Mestranda do programa de pós-graduação de Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: camylainnocente@gmail.com
[2] Professor do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: pedro.chaffe@ufsc.br.

INTRODUÇÃO

A determinação do hidrograma de resposta a uma precipitação é fundamental para previsão de inundações, estimativa de erosão, estudo de obras hidráulicas e ecossistemas. Um avanço significativo na determinação de hidrogramas foi feito por Sherman (1932), ao considerar que a bacia responde linearmente a uma unidade de precipitação efetiva, uniforme no tempo e no espaço. A resposta a essa precipitação foi chamada hidrograma unitário (HU). O HU é uma função de transferência entre a precipitação efetiva e o escoamento superficial.

Modelos hidrológicos em geral requerem um grande número de dados hidrológicos e meteorológicos, o que torna um grande desafio utilizá-los em bacias não monitoradas (Pradhan e Ogden, 2010). Uma das grandes vantagens em utilizar a teoria do HU é que, geralmente, os dados requeridos são facilmente determinados a partir do modelo digital de elevação associado ao geoprocessamento.

Uma limitação da teoria do HU é que não há uma variação em seu formato conforme as características do evento (Rigon *et al*., 2016). Porém, um estudo realizado por Merz *et al*, (2006), na região da Áustria, mostrou que o formato do hidrograma é mais sensível à região do que às características do evento. Gottschalk e Weingartner (1998) conseguiu dividir 17 bacias em quatro classes de HU, que poderiam estar relacionadas à morfometria da bacia. Isso mostra que a ideia de existir um HU sintético, em que seus parâmetros sejam calibrados a partir das características das bacias, pode estar correta. Assim, devido a grande utilização do HU, muitos modelos sintéticos foram desenvolvidos para estimar o HU de uma bacia.

Este trabalho tem como objetivo identificar como os modelos de HU estão sendo utilizados na pesquisa, no ensino e na engenharia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Existem diversos métodos para determinar o formato do HU, que baseiam-se de três maneiras: i) em características físicas da bacia; ii) em características físicas, mas especificamente, geomorfológicas; iii) tem o formato calibrado a partir de uma série de dados. O formato do HU ainda pode ser dividido de duas maneiras: i) triangular; ii) em formato de função de densidade de probabilidade.

Bernard (1935) foi o primeiro a propor um HU sintético que relaciona o formato do HU às características físicas da bacia hidrográfica, contemporaneamente surgiram outras teorias semelhantes (Snyder, 1938, Clark, 1945 e Mockus, 1957). Esses HU podem ser chamados de tradicionais (Bhunya *et al*., 2011).

Baseado na ideia que existem diversas interações nos processos hidrológicos e, sendo assim, não é possível considerar apenas as características físicas das bacias, surgiu o HU conceitual, no qual os parâmetros do HU são calibrados a partir de uma série de dados conhecida (Nash, 1957 e Dooge, 1959). Pelo fato do formato HU conceitual ser uma função de densidade de probabilidade (PDF), muitos trabalhos surgiram relacionando diversas PDF ao HU (Bhunya *et al*., 2008 e Bhunya *et al*., 2007).

No final da década de 70 surgiu a ideia do HU geomorfológico, que relaciona o formato do HU às Leis de Horton e à velocidade do rio principal (Rodriguez-Iturbé e Valdes, 1979). Houve também a utilização de PDF unidas aos parâmetros do hidrograma geomorfológico (Sarkar *et al,* 2010, Bhunya *et al*., 2008 e Rosso, 1984).

Para discussão dos resultados os hidrogramas unitários serão divididos em três classes: i) tradicionais: Snyder (Snyder, 1938), Clark (Clark, 1945) e SCS (Mockus, 1957), ii)

geomorfológicos: Rodriguez-Iturbé (Rodriguez-Iturbé e Valdes, 1979) e Rosso (Rosso, 1984), iii) conceituais: Nash (Nash, 1957), Dooge (Dooge, 1959), Bhunya (Bhunya, 2007) e Nadajarah (Nadajarah, 2007). A Figura 1 apresenta um diagrama representando os diversos modelos de HU.

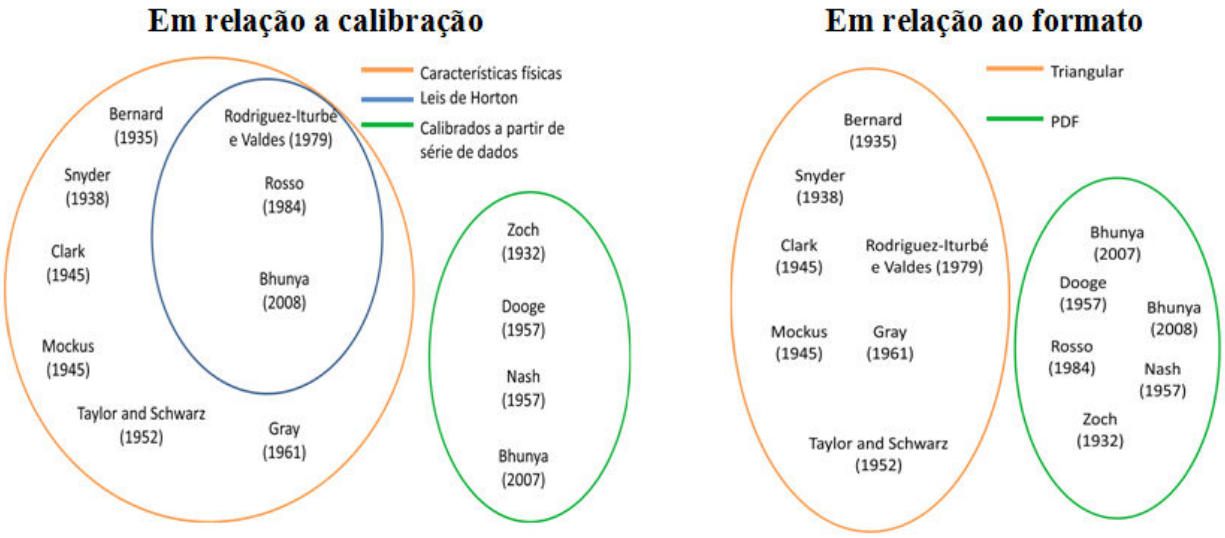

Figura 1 – Esquema da divisão das teorias em relação a calibração e ao formato do HU para diversos modelos de hidrogramas unitários.

Revisão bibliográfica

Área da pesquisa

Realizou-se uma análise quantitativa do número de artigos que citaram algum modelo de HU a partir da ferramenta de pesquisa "Google Acadêmico" (https://scholar.google.com.br/). Buscou-se o número de trabalhos, num certo período, que citou determinado artigo que inaugurou a teoria de um modelo de HU. Foram pesquisados artigos dos anos de 1980 a 2016.

Esta pesquisa organizou-se em duas partes: primeiramente, citações em todos os idiomas, para que se obtivesse uma visão global das citações e, posteriormente, apenas citações em documentos em português, para que se pudesse ter uma visão da utilização no Brasil. Como existem outros países que utilizam o português como língua oficial e sabendo-se que as publicações de trabalhos brasileiros não necessariamente estão escritos no idioma português, entende-se que a segunda parte trará uma noção geral.

Em vista de um resultado mais refinado, pesquisaram-se, em revista brasileiras relacionadas à hidrologia (Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, Revista de Gestão de Água da América Latina – REGA e Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – RBEAA), artigos que utilizaram o HU em sua pesquisa, a partir da palavra-chave "hidrograma unitário". Fez-se uso da plataforma Scielo, ou do site da própria revista e também foi feita uma pesquisa na plataforma Scopus, para encontrar possíveis estudos realizados no Brasil que utilizavam o HU.

Área do ensino

Para a revisão bibliográfica, na área do ensino, foi feita uma busca no Google, com o objetivo de relacionar o material didático utilizado pelos professores em sala de aula. As palavras utilizadas para a busca foram "apostila hidrologia hidrograma unitário". Após isso, verificou-se, em 11 apostilas, o modelo de HU sintético ensinado pelos professores em sala de aula.

Área da engenharia

A revisão bibliográfica, na área da engenharia, identificou qual o modelo de HU se recomendava em manuais do governo ou de empresas de engenharia, que utilizavam como base da modelagem hidrológica o HU.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na pesquisa

O resultado da pesquisa utilizando o Google Acadêmico (Figura 2) mostrou que o pico do número de trabalhos que citaram os modelos geomorfológicos e conceituais, a nível mundial, ocorreu entre 2006 e 2010. Parece existir uma tendência de estabilização do número de publicações após esse período. Nos conceituais, houve uma grande ascensão do seu estudo a partir do ano de 2006, justamente quando teorias modernas surgiram utilizando o HU como uma PDF (Bhunya et al, 2007, Nadarajah, 2007 e Bhunya et al 2008).

Esperava-se, por causa da grande utilização dos modelos tradicionais pela engenharia, que houvesse mais publicações destes do que de outros modelos, isso ocorreu apenas a nível nacional.

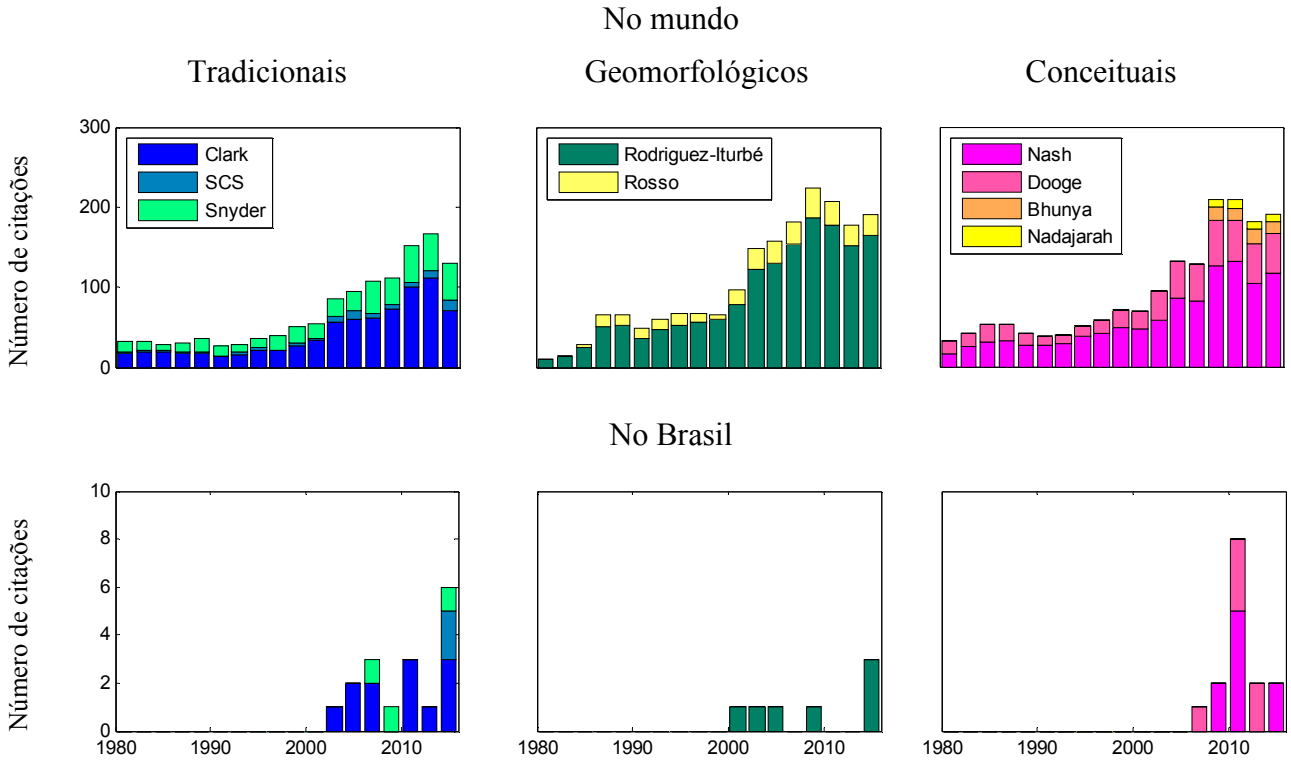

Figura 2 – Número de citações das principais teorias de hidrograma unitário a nível mundial e nacional.

Os resultados da Figura 2 mostram uma visão geral do número de citações dos HU na área da pesquisa. As citações não ocorrem apenas em artigos de revista, mas também em outros tipos de publicações. A partir de uma busca refinada, apenas em artigos de revistas científicas, foi possível determinar melhor o enfoque que a pesquisa dá ao HU. O resultado dessa busca é apresentado na Tabela 1.

Uma das premissas para a utilização do HU é a precipitação uniforme sobre a bacia, com base nisso, Philip *et al* (2002) recomenda sua utilização para bacias com área de até 256 km². Mas percebe-se que é aplicado para bacias maiores, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Publicações de estudos nacionais em revista científica. Onde: RBRH é Revista Brasileira de Recursos Hídricos, JWRPM: Journal of Water Resources Plannig and Management, RBEAA é Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental e REGA, Revista de Gestão de Água da América Latina e HU é hidrograma unitário.

Autor (es)	**Ano**	**Revista**	**HU**	**Área da bacia (km²)**
Tucci *et al*	1989	JWRPM	Clark	3354
Gomes e Mine	1998	RBRH	Solução analítica	1050
Carvalho e Chaudrhy	2001	RBRH	Rodríguez-Iturbe	38 e 67
Campana e Tucci	2001	Urban Water	Clark	-
Barbosa e Fill	2001	RBRH	Solução analítica	3660
Tucci	2003	RBRH	SCS	1,9 a 57,9
Maia *et a*l	2006	RBRH	Solução analítica	109
Silca *et al*	2007	RBEAA	Nash	4,8
Steffen *et al*	2009	Geociencias	Rodriguez-Iturbe	536
Cruz *et al*	2010	RBRH	Solução analítica	1655 e 5320
Monteiro e Kobiyama	2014	REGA	Clark	48
Wajnberg e Dornelles	2015	RBRH	SCS	11,34
Cunha *et al*	2015	RBRH	SCS	113
Siqueira *et al*	2016	RBRH	SCS	10380
Silveira	2016	RBRH	Snyder e SCS	-
Pereira *et al*	2016	RBRH	Rodriguez-Iturbe	10650

No ensino

As apostilas do ensino de hidrologia em nível superior, encontradas a partir da metodologia aplicada, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação de apostilas de hidrologia que abordam o hidrograma unitário sintético (HU).

Instituição	**Professor (es)**	**HU**
Escola Politécnica da USP. Dpto de Engenharia Hidráulica e Sanitária	Porto, Zahed Filho e Marcellini	Snyder, Clarke Santa Bárbara
Universidade Federal de Lavras	-	Nash
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul	Pazá	-
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Andrade	-
Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidrológicas	Collischonn	SCS e Histograma Tempo-Área
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	-	-
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Teixeira	-
Universidade Federal do Ceará	-	Snyder, Commons e SCS
PUC - Campinas: Centro de ciências exatas, ambientais e tecnológicas	-	Snyder
Universidade Federal da Bahia	-	Snyder e SCS
-	Naghettini	-

Os campos vazios na coluna HU significa que a apostila trazia apenas a teoria e a solução analítica do HU. Quarenta e cinco por cento das apostilas não trouxe nenhum hidrograma unitário

sintético. Apesar de o HU geomorfológico ser o mais utilizado em pesquisas, não é abordado em sala de aula, provavelmente devido a sua complexidade. Apenas uma apostila apresentou o HU conceitual.

Na engenharia

Em nível de engenharia no Brasil, percebe-se que o HU mais utilizado é o SCS. Isso deve ocorrer pelo fato de ser o modelo recomendado pelo *Natural Resources Conservation Service* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

Quando o HU é utilizado para cálculo de vazão de pico de hidrograma de projeto, recomenda-se um limiar superior em relação à área de bacia para sua utilização, sendo recomendável, antes do limiar, o método racional. Esse método é ainda mais simples do que o HU, mas tem norteado projetos de obras hidráulicas. Nota-se que há discrepância nesses limiares.

Tabela 3 - Relação de documentos que abordam o hidrograma unitário (HU) em nível de projeto de engenharia.

Origem do documento	**HU**	**Recomendado para:**
Departamento nacional de infraestrutura e transporte	SCS	Pequenas bacias
Departamento de águas e energia elétrica de São Paulo: Cursos Obras Hidráulicas Sujeitas à Outorga	SCS	Bacias hidrográficas acima de 2 km²
Companhia de Saneamento do Paraná: Diretrizes para Elaboração do Estudo de Cota de Inundação para Assente de Estruturas de Saneamento	SCS	Bacias hidrográficas com áreas maiores que 3 km²
Plano diretor de drenagem para a bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curtiba	SCS	Em macrodrenagem e não em microdrenagem
VALEC: Egenharia, Construções e Ferrovias S. A.: Estudos Hidrológicos	SCS	Bacia hidrográficas maiores que 10 km²
Prefeitura municipal da cidade do Rio de Janeiro: Secretaria municipal de obras: subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas	SCS	Bacia hidrográficas maiores que 0,01 km²
Prefeitura municipal de Teresina: Plano diretor de drenagem urbana de teresina.	SCS	-
Plano diretor de drenagem urbana de campo grande: Manual de drenagem Urbana de Campo Grande	SCS	-
Plano diretor de Macrodrenagem de Ribeirão Preto	SCS	-
Prefeitura municipal de Florianópolis - SC: Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento. Diagnóstico da drenagem urbana	SCS	Bacias hidrográficas com áreas maiores que 10 km²

Na pesquisa, no ensino e na engenharia

Quando comparado à utilização desses modelos na pesquisa, no ensino e na engenharia, por meio da metodologia aplicada, percebe-se que o Brasil utiliza mais os métodos tradicionais. Na pesquisa, utilizam-se os três métodos; no ensino, o método tradicional e o conceitual e, na engenharia, apenas o método tradicional.

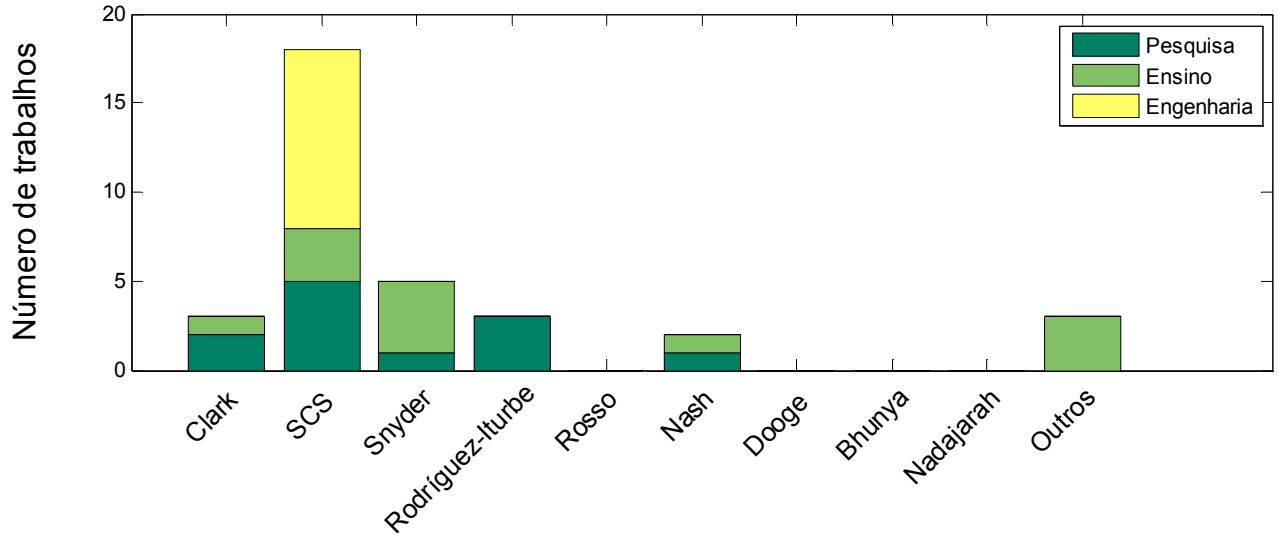

Figura 3 – Utilização do HU na pesquisa, no ensino e na engenharia.

CONCLUSÕES

Numa visão global, na pesquisa, os HU mais utilizados são os geomorfológicos, sendo que o pico da sua utilização foi entre 2006 e 2010 e agora parece estar em queda. Nos conceituais, a partir de 2006 começaram a surgir novos trabalhos nessa área, e houve um aumento significativo no número de citações desses modelos. Ao contrário do que se esperava, os modelos tradicionais foram poucos citados.

No Brasil, os artigos em revistas científicas, utilizam os três grupos de modelos de HU. No ensino, as apostilas trazem os hidrogramas tradicionais e os conceituais. Quanto à engenharia, apenas os modelos tradicionais foram utilizados.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

BERNARD, M. M. (1935) An approach to determinate stream flow. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, v. 100, n. 1, p. 347-362

BHUNYA, P. K.; BERNDTSSON, R.; OJHA, C. S. P.; MISHRA, S. K. (2007) Suitability of Gamma, Chi-square, Weibull, and Beta distributions as synthetic unit hydrographs. *Journal of Hydrology*, v. 334, n. 1–2, p. 28–38.

BHUNYA, P. K.; BERNDTSSON, R.; SINGH, P. K.; HUBERT, P. (2008) Comparison between Weibull and gamma distributions to derive synthetic unit hydrograph using Horton ratios. *Water Resources Research* v. 44, n, p. 1–17.

BHUNYA, P. K.; PANDA, S. N.; GOEL, M. K.; BERNDTSSON, R.; OJHA, C. S. P.; MISHRA, S. K.; EHRET, U.; ZEHE, E.; RIGON, R.; BANCHERI, M.; FORMETTA, G.; DELAVENNE, A.; SNYDER, F. F. (2011) Synthetic unit hydrograph methods: a critical review. *The Open Hydrology Journal*, v. 5, n. 1, p. 1–8.

CLARK, C. O.(1945) Storage and the unit hydrograph. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. p. 1333-1360.

DOOGE, J. A. (1959) General Theory of the Unit Hydrograph. *Journal of Geophysical Research*, v. 64, n. 2, p. 241–256.

GOTTSCHALK, L.; WEINGARTNER, R. (1998) Distribution of peak flow derived from a distribution of rainfall volume and runoff coefficient, and a unit hydrograph. *Journal of Hydrology*, v. 208, n. 3–4, p. 148–162.

MERZ, R.; BLÖSCHL, G.; PARAJKA, J. (2006) Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. *Journal of Hydrology*, v. 331, n. 3–4, p. 591–604.

MOCKUS, V. (1957) Use of storm and watershed characteristics in synthetic hydrograph analysis and application. *Soil Conservation Service*.

NADARAJAH, S. (2007) Probability models for unit hydrogrph derivation. *Journal of Hydrology*, v. 344, n. 3–4, p. 185–189.

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

PHILIP, B. B.; WAYNE, C. H.; BAXTER, E. V. (2002) *Hydrology and floodplain analysis.* Addison-Wesley.

PRADHAN, N. R.; OGDEN, F. L. (2010) Development of a one-parameter variable source area runoff model for ungauged basins. *Advances in Water Resources*, v. 33, n. 5, p. 572–584.

RIGON, R.; BANCHERI, M.; FORMETTA, G.; DELAVENNE, A. (2016) The geomorphological unit hydrograph from a historical-critical perspective. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 41, n. 1, p. 27–37.

RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; VALDÉS, J. B. (1979) The geomorphologic structure of hydrologic response. *Water Resources Research*, v. 15, n. 6, p. 1409–1420.

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

SARKAR, S.; GOEL, N. K.; MATHUR, B. S. (2010) Adequacy of Nakagami- m Distribution Function to Derive GIUH. *Journal of Hydrologic Engineering* v. 14, n. 10, p. 1070–1079.

SNYDER, F. F.(1938) Synthetic unit-graphs. *Transactions, American Geophysical Union*, v. 19, n. 1, p. 447

SHERMAN, L. K. (1932) On runoff. *Transactions, American Geophysical Union*, v. 13, n. 1, p. 298.