



Análise crítica e conceitual dos Métodos Racional, Snyder e SCS

Robson Negri¹,

Heunz Dieter Oskar August Fill²,

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo o estudo detalhado dos conceitos e métodos propostos pelos estudos de Mulvany (1851) e Kuichling (1889), ou seja o Método Racional; Método do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder (1938); e, Soil Conservation Service (1964 e 1972), com o intuito de apresentar uma análise crítica e avaliar as semelhanças e diferenças entre os três métodos, que são sem dúvida os mais largamente utilizados para o dimensionamento de obras de micro e macrodrenagem no Brasil. A metodologia utilizada foi a descrição conceitual bibliográfica, associada a análise crítica e a simulação de resultados de aplicação. Os resultados demonstram semelhanças conceituais entre os métodos, cabendo destaque a escala de aplicação, principalmente relacionada a discretização temporal da chuva efetiva (parâmetro de entrada dos modelos), bem como da evolução metodológica apresentada pelo Método SCS, quanto à sua forma de estimação. Conclui-se que os ábacos elaborados, bem como o detalhamento conceitual apresentado, podem auxiliar à comunidade técnico-científica e a melhor aplicação dos métodos na solução dos problemas de engenharia hidrológica.

Palavras-chave: Escoamento Superficial Direto. Método Racional. Hidrograma Unitário Sintético. Método SCS.

Critical and conceptual analysis of the Rational, Snyder and SCS Methods

Abstract: The present work had as objective the detailed study of the concepts and methods proposed by the studies of Mulvany (1851) and Kuichling (1889), that is, the Rational Method; Snyder's Synthetic Unit Hydrograph Method (1938); and Soil Conservation Service (1964 and 1972), with the aim of presenting a critical analysis and evaluating the similarities and differences between the three methods, which are undoubtedly the most widely used for the design of micro and macro drainage works in Brazil. The methodology used was the bibliographic conceptual description, associated with critical analysis and simulation of application results. The results demonstrate conceptual similarities between the methods, highlighting the scale of application, mainly related to the temporal discretization of the effective rain (input parameter of the models), as well as the methodological evolution presented by the SCS Method, regarding its form of estimation. It is concluded that the elaborated abacus, as well as the conceptual detail presented, can help the technical-scientific

¹ Mestre, Católica de Santa Catarina, robisonnegri@gmail.com..

² Doutor, Universidade Federal do Paraná, heinzfill@yahoo.com.

community and the best application of the methods in the solution of hydrological engineering problems.

Key-words: Direct Surface Flow. Rational Method. Synthetic Unit Hydrograph. SCS method.

Introdução

A engenharia e a própria sociedade sempre necessitaram de ferramentas quantitativas para descrição e representação de fenômenos naturais, seja para a tomada de decisão e a resolução de problemas concretos. A necessidade de conviver com as águas presentes na natureza, em especial as que escoam superficialmente, a engenharia buscou formas de entender e prever quantitativamente sua dinâmica. Diversas soluções foram e podem ser aplicadas, merecendo destaque, com foco nas obras hidráulicas, os modelos de chuva-vazão.

Partindo do princípio causa-efeito, os modelos chuva-vazão procuram relacionar o escoamento fluvial ou parte dele, com a precipitação (grandeza de entrada), no sistema da bacia hidrográfica.

Os modelos hidrológicos tiveram seu surgimento, por volta de 1930, relacionado à necessidade da representação de séries hidrológicas de vazão mais longas, que eram escassas. Como havia uma maior disponibilidade de séries de chuva, modelos que possibilitam a obtenção indireta da vazão, através dos dados observados de chuva, tiveram destaque na engenharia hidrológica.

Atualmente, apesar da maior disponibilidade de dados e postos de medição de vazão, os modelos chuva-vazão estão sendo cada vez mais utilizados em estudos, principalmente como ferramenta no prognóstico de cenários futuros, em várias áreas da engenharia (ALMEIDA e SERRA, 2017).

Uma das aplicações da modelagem hidrológica é a simulação do escoamento superficial direto das bacias hidrográficas (KRYSANOVA; BRONSTERT; MÜLLER-WOHLFEIL, 1999; SYME; PINNELL; WICKS, 2004; TENG; JAKEMAN; VAZE, 2017). Conforme Singh et al. (2021) o desenvolvimento da informática e da análise de dados, têm possibilitado a criação

de modelos cada vez mais robustos, incorporando parâmetros físicos dinâmicos da bacia hidrográfica, bem como o comportamento hidráulico relacionado ao escoamento natural (MISHRA, TYAGI e SINGH, 2003; NKWUNONWO; WHITWORTH; BAILY, 2020; GÜLBAZ; BOYRAZ; KAZEZYILMAZ-ALHAN, 2020; ZHANG; CHEN; KONG, 2020).

Criss e Winston (2008), concluíram que, sob algumas condições, e com certas simplificações da realidade que envolve os processos, a modelagem chuva-vazão apresenta resultados satisfatórios para a maioria das aplicações práticas.

No entanto, as bacias hidrográficas naturais apresentam fenômenos extremamente complexos na transformação da chuva em vazão, devido à vasta variabilidade espacial e temporal das características fisiográficas e climáticas, e de processos hidrológicos complexos e interdependentes (KUMAR, 2015). Para Tucci (1998) os modelos hidrológicos têm por objetivo a representação matemática do comportamento da bacia hidrográfica, frente a circulação da água, adaptado-o para os fenômenos físicos relacionados. Segundo Chow, Maidment e Mays (1988) a simulação adequada do ciclo hidrológico em uma bacia, depende da capacidade em descrever a circulação da água na atmosfera, sobre e sob a superfície da bacia e nos canais, baseada nos diversos processos hidrológicos e hidráulicos. Devido à grande complexidade dos fenômenos envolvidos, geralmente o ciclo hidrológico é representado de forma simplificada na bacia hidrográfica.

Seguindo a tendência de simplificação do ciclo hidrológico através estudo separado de suas fases, Sherman (1932), propõe o método do hidrograma unitário (HU) que representa a resposta da bacia hidrográfica a um evento de precipitação efetiva unitária (TODINI, 1988; KIM e JUNG, 2017). Conforme Steiner (2019) sua aplicação vai desde suporte à quantificação de poluição difusa (CHEN et al., 2017; TODESCHINI; PAPIRI; CIAPONI, 2014), transporte de sedimentos (SINGH; CUI; BYRD, 2014), regionalização de vazões (DE GONZALO; ROBREDO; MINTEGUI, 2012; SEO; PARK; SCHMIDT, 2016; YAO et al., 2014), previsões em tempo real (SIQUEIRA et al., 2016), modelagem de vazões de enchente (HEC, 2016; BINGNER; THEURER; YUAN, 2015).

De modo geral, na sua aplicação mais completa, procura-se a função resposta a um pulso unitário de precipitação efetiva para gerar, por convolução, sua resposta a quaisquer chuvas efetivas de diferentes magnitudes e sequências. Conforme Goñi, López e Gimena (2019):

I - o pulso unitário de precipitação efetiva é uniforme no tempo, dentro do intervalo de discretização considerado, sendo a variabilidade temporal da chuva considerada pela convolução dos diferentes pulsos de precipitação efetiva do hietograma;

II – por ser um modelo concentrado, não é considerada a variação espacial da precipitação dentro da bacia hidrográfica, sendo esta considerada uniforme em toda a bacia.

A geometria do HU pode ser definida a priori como triangular ou através de uma função de densidade de probabilidade.

Segundo Innocente e Chaffe (2017), na ausência de dados de chuva e vazão, existem diversos métodos para modelar o HU de uma bacia hidrográfica. Alguns autores propõem relacionar a geometria do hidrograma às características físicas e geomorfológicas da bacia. Já outros procuraram representar o HU através de funções matemáticas genéricas calibráveis aos dados observados. Neste caso o HU é denominado Hidrograma Unitário Sintético e existem na literatura muitas formulações (E.g: Snyder, SCS, Nash, etc).

Para Bhunya et al. (2011), os Hidrogramas Unitários Sintéticos podem ser modelados, de modo geral, através de três metodologias: empíricos (SHERMAN, 1932; BERNARD, 1935; SNYDER, 1938; CLARK, 1945; MOCKUS, 1949; TAYLOR e SCHWARTZ, 1952; SCS, 1964 e 1972; GRAY, 1961), conceituais (ZOCH, 1934; O'KELLY J.J, 1955; NASH, 1957 e 1960; DOOGE, 1959, 1973 e 1977; SINGH, 1962; DISKIN, 1964; DISKIN; WYSEURE; FEYEN, 1984; CHUTHA e DOOGE, 1990; DISKIN, 1994; WANG e CHEN, 1996; JENG e COON, 2003; BHUNYA, 2008) e geomorfológicos (RODRIGUEZ-ITURBE e VALDÉS, 1979; RODRÍGUEZ-ITURBE; GONZÁLEZ-SANABRIA; BRAS, 1982; GUPTA; WAYMIRE; WANG, 1980; KIRSHEN e BRAS, 1983; ROSSO, 1984; KARLINGER e TROUTMAN, 1985; AGNESE; D'ASARO; GIORDANO, 1988; CHUTHA e DOOGE, 1990; RINALDO et al., 1995; LEE e YEN, 1997; KULL e FELDMAN, 1998; OLIVERA e MAIDMENT, 1999; BEROD; INGH e MUSY, 1999; BROOKS e MCDONNELL, 2000;

SACO e KUMAR, 2002 e 2004; BOTTER e RINALDO, 2003; LEE e CHANG, 2005; LÓPEZ et al., 2005; NOURANI et al., 2008; BHUNYA, 2008; HOSSEINI e MAHJOURI, 2016).

Os Hidrogramas Unitários Sintéticos Empíricos buscam viabilizar a aplicação da teoria do HU em bacias hidrográficas desprovidas de dados observados, relacionando a forma do HU com parâmetros fisiográficos da bacia hidrográfica, a partir de fórmulas puramente empíricas (JENA e TIWARI, 2006). Entretanto, essas relações não são universais e, portanto, precisam de uma análise crítica para sua aplicação em bacias hidrográficas distintas.

Dentro os principais métodos empíricos utilizados para estimar a relação chuva-vazão, sem registros observados, podem-se destacar três, muito utilizados como solução técnica na engenharia hidrológica, seja pela simplicidade, aplicabilidade em circunstâncias práticas usuais e com desempenho satisfatório, sendo conhecidos como: Método Racional, hidrograma unitário de Snyder e Método SCS (Soil Conservation Service).

Neste sentido, dada a grande aplicação prática desses métodos (Método Racional, Snyder e SCS), no presente artigo realizar-se-á um estudo conceitual de análise crítica e descritiva dos três métodos, detalhando suas semelhanças, diferenças, e contribuições para os modelos chuva-vazão (escoamento superficial direto).

Materiais e métodos

O tema do presente estudo já foi largamente estudado e encontra-se difundido no meio técnico do mundo todo, sendo inclusive base conceitual curricular de muitos cursos de graduação, principalmente os da área de engenharia.

Baseado nas fontes bibliográficas disponíveis, realizou-se o resgate dos artigos originais dos métodos estudados (Método Racional, Snyder e SCS), bem como de fontes complementares, com o intuito de sistematizar suas metodologias.

Para tanto, procurou-se realizar a descrição dos métodos, seguida de análise crítica voltada ao entendimento mais profundo dos resultados apresentados.

Procedeu-se também à elaboração de ábacos gerais, que podem auxiliar na aplicação e no entendimento dos procedimentos dos três métodos nos meios técnico e acadêmico

Análise crítica do método racional

O método racional foi introduzido primeiramente por Mulvaney (1851) e posteriormente aplicado por Kuichling (1889) nos Estados Unidos e em vários outros países, para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana. É um modelo que apresenta várias simplificações que restringem seu uso na determinação da vazão máxima de projeto para bacias muito pequenas. Em geral, se utiliza o método racional para bacias que não apresentam complexidade e que tenham até 2 km². O método racional, adequadamente aplicado, pode conduzir a resultados satisfatórios, principalmente, em projetos de microdrenagem urbana.

Os princípios básicos do método racional são:

- a) A intensidade da precipitação é constante no tempo até o tempo de concentração;
- b) Adota um coeficiente único de perdas (C), estimado com base nas características da bacia e na intensidade da chuva;
- c) A chuva é uniformemente distribuída na área de drenagem da bacia.

O método Racional pode ser colocado sob a equação (01):

$$Q_d = \frac{C.i.A}{3,6} \quad (01)$$

Onde: Q_d - vazão de pico do hidrograma de escoamento superficial (m³/s); i - intensidade de chuva para t = t_c (mm/h); A - área da bacia de drenagem (km²); e C - Coeficiente de Escoamento Superficial.

O Método Racional, possui apenas três parâmetros de ajuste diretos: o coeficiente de escoamento superficial, a intensidade da chuva e a área da bacia.

A área da bacia é um parâmetro morfométrico da bacia, sendo seus limites estimados a partir de informações geométricas espaciais, obtidas de forma direta e indireta, projetadas num plano horizontal.

O coeficiente de escoamento superficial é função das condições de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica e da magnitude da chuva, conforme apresentado na Tabela 1. Tal coeficiente representa a abstração das perdas iniciais e da infiltração, podendo ser estimado pela proporção entre a Precipitação Efetiva e a Precipitação Total

Tabela 1. Coeficiente de escoamento superficial

Descrição da área	Coeficiente “C”	Descrição da área	Coeficiente “C”
Áreas comerciais		Áreas residenciais	
Central	0,7-0,95	Residenciais isoladas	0,35-0,50
Bairros	0,50-0,70	Unidades multifamiliares (separadas)	0,40-0,60
		Unidades multifamiliares (conjugadas)	0,60-0,75
Áreas com prédios de apartamentos	0,50-0,70	Lotes de 2.000 m ² ou mais	0,30-0,45
Parques	0,10-0,25	Áreas Industriais	
Playgrounds	0,20-0,35	Industriais leves	0,50-0,80
Pátios de estradas de ferro	0,20-0,40	Industriais Pesadas	0,60-0,90
Áreas sem melhoramentos	0,10-0,30		

Fonte: (DAEE/CETESB, 1986)

A intensidade da chuva é função da duração e do período de retorno da chuva, sendo estimada a partir de dados históricos de precipitação, com o auxílio de fórmulas empíricas ou curvas IDF (intensidade, duração e frequência). A duração da chuva é definida com base no tempo de concentração da bacia hidrográfica e do evento hidrológico, podendo ser estimado através de uma multiplicidade de fórmulas empíricas, com maior ou menor rigor conceitual. O período de retorno é um parâmetro associado à probabilidade de excedência do evento de precipitação, sendo o risco de falha inverso a sua magnitude.

O hidrograma de escoamento superficial direto conceitual do Método Racional pode ser aproximado por um triângulo simétrico, com tempo de base igual a duas vezes o tempo de

concentração da bacia. A duração da chuva unitária é igual ao tempo de concentração, de modo que o pico coincide com o fim da precipitação.

A forma do hidrograma de escoamento superficial direto, é função unicamente do tempo de concentração. A Figura 1 apresenta os hidrogramas de escoamento superficial direto, em função do tempo de concentração adotado adimensionalmente (t), considerando o coeficiente de escoamento unitário ($C=1,0$) e uma precipitação efetiva unitária ($1,0\text{ mm}$).

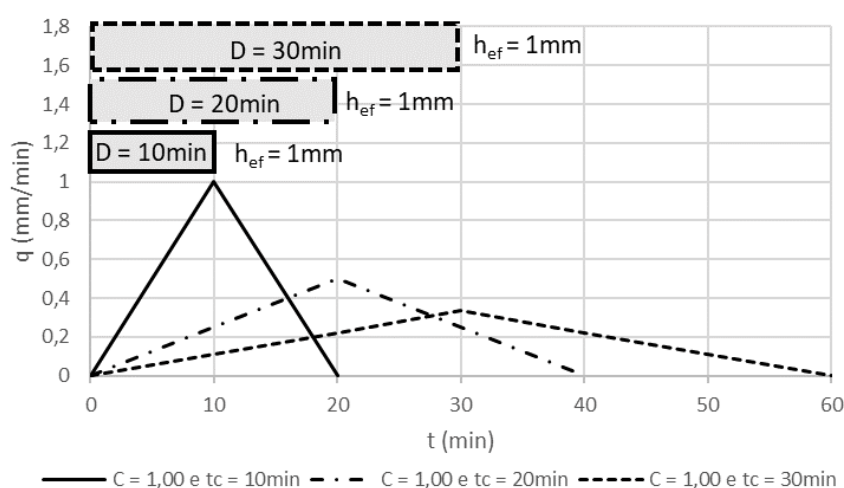


Figura 1. Forma do hidrograma de escoamento superficial direto do método racional em relação ao tempo de concentração.

O Método Racional foi concebido considerando o princípio que prevê a geração de escoamento superficial de toda a bacia, a partir da excedência da capacidade de infiltração (Horton, 1933).

Logo, segundo este princípio, a área de drenagem, juntamente com o coeficiente de escoamento superficial, são os parâmetros de escala. A área pode ser considerada como uma constante característica da bacia. Já o coeficiente de escoamento superficial pode variar ao longo do tempo. Isso é representado na Figura 2, onde manteve-se o tempo de concentração adimensional constante, variando-se somente a altura da chuva efetiva unitária, obtendo-se o HUA-MR (Hidrograma Unitário Adimensional do Método Racional).

Convém ressaltar que, conforme premissas do método, a variação do tempo de concentração reflete-se na intensidade da chuva, interferindo dessa forma também na escala.

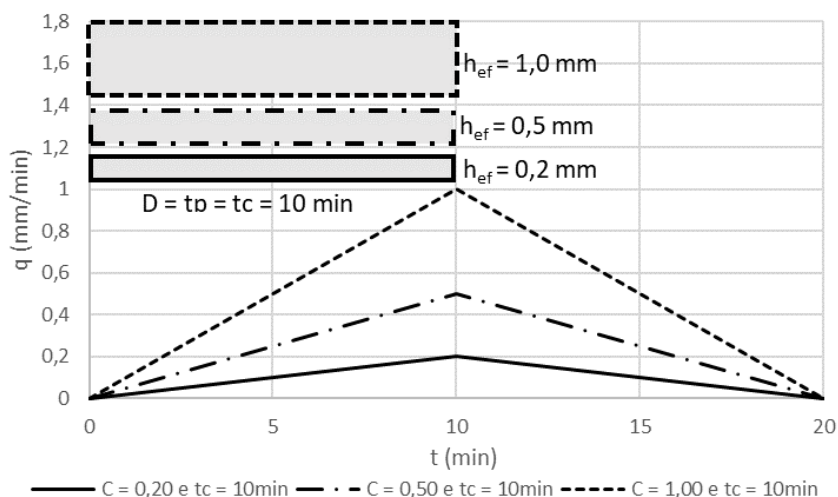


Figura 2. Forma do hidrograma de escoamento superficial direto do método racional em relação coeficiente de escoamento superficial.

A título de comparação, para um coeficiente de escoamento superficial direto igual a unidade ($C=1,0$) e chuva total com 10 mm de altura pluviométrica, o resultado corresponde ao HU (Hidrograma Unitário) de Sherman (1932).

Dessa forma, a vazão de escoamento superficial direto por unidade de área da bacia hidrográfica e pode ser representada pelo método racional como expresso na equação (02):

$$q = \frac{C \cdot h}{t_c} = C \cdot i \quad (02)$$

Onde: q - vazão por unidade de área de drenagem da bacia (mm/h); h - altura pluviométrica total de chuva no intervalo t_c (mm); t_c - tempo de concentração da bacia (min) e C - Coeficiente de perdas; i = intensidade da chuva em (mm/min).

Aplicando o método, proposto, pode-se elaborar o ábaco apresentado na Figura 3, que considerou uma chuva de altura pluviométrica total de 1 mm (constante e uniforme no intervalo

tc), sendo assim, apresenta-se os valores da vazão específica de pico do hidrograma do Método Racional, para quatro valores de coeficiente de escoamento superficial, em função do tempo de concentração.

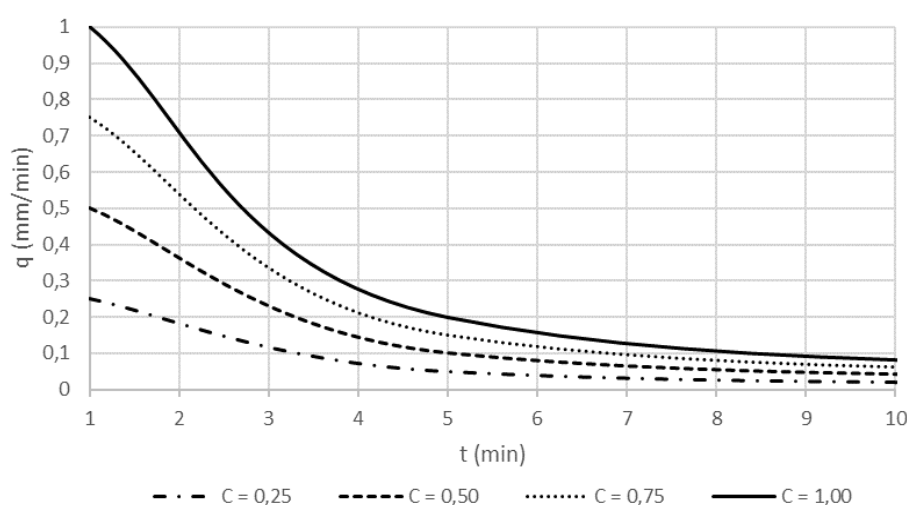


Figura 3. Vazão específica do método racional em função do tempo de concentração e do coeficiente de escoamento superficial.

Análise crítica do método do hidrograma unitário de Snyder

Outro método largamente utilizado na prática da engenharia hidrológica é o do hidrograma unitário de Snyder (1938) que faz parte do grupo de métodos conhecidos como “modelos caixa preta”, pois são modelos que possuem uma base fortemente empírica. De modo geral o modelo permite a construção do HU, relacionando suas dimensões com as características físicas da bacia. Na sequência apresentam-se as relações propostas por Snyder (1938), representadas na Figura 4.

Segundo Snyder (1938), o tempo de pico do hidrograma de escoamento direto da bacia é função do comprimento do talvegue principal da bacia e da distância até o centro de gravidade da área de drenagem, projetado perpendicularmente em relação ao rio principal, seguindo seu

caminhamento até a exutória. Tais características físicas da bacia, relacionadas ao tempo de pico t_p , são representadas pela equação 03.

$$t_p = 0,75 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0,30} \quad (03)$$

Onde: C_t = coeficiente regional; L = o comprimento do talvegue principal (km) e L_c = a distância até a projeção do centróide da área da bacia sobre o rio (km).

A duração unitária da precipitação efetiva é associada ao tempo de pico do escoamento direto da bacia, segundo a seguinte equação (04):

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \quad (04)$$

Onde: t_p - é o tempo de pico do hidrograma de escoamento direto (h) e t_r - é a duração unitária da chuva efetiva (h).

Como é comum a adoção de valores inteiros para a duração unitária da precipitação efetiva, Snyder apresenta uma metodologia para correção deste valor e, conseqüentemente, correção dos demais parâmetros a ele relacionados, na equação (05):

$$t_{pR} = t_p + \frac{t_r - t_R}{4} \quad (05)$$

Onde: t_{pR} = o tempo de pico corrigido; t_p = tempo de pico calculado a priori (h); t_r = duração unitária da precipitação efetiva calculada a priori (h); t_R = duração da precipitação efetiva adotada (h).

A vazão de pico do HU, representada na equação (06), é função da área da bacia e do tempo de pico, relacionados a um coeficiente empiricamente ajustado que foi objeto de estudos de muitos autores, na tentativa de acoplar o modelo a bacias distintas, variando sensivelmente de uma bacia para outra.

$$Q_{pR} = \frac{2,75 \cdot C_p \cdot A}{t_{pR}} \quad (06)$$

Onde: Q_{pR} – vazão de pico do hidrograma unitário (m³/s.cm); C_p - o coeficiente regional; A - é a área de drenagem da bacia (km²) e t_{pR} - o tempo de pico corrigido (h).

Por fim, apresentam-se as equações (07) e (08), que possibilitam a conclusão do ajuste gráfico do modelo em função do tempo de base do HU e de parâmetros de forma, com o intuito de melhor ajustá-lo à realidade. Na Figura 4 vê-se o resultado gráfico do hidrograma unitário padrão de Snyder.

$$t_b = \frac{5,56 \cdot A}{q_{pR}} \quad (07)$$

$$W_{\%} = C_w \left(\frac{q_{pR}}{A} \right)^{-1,08} \quad (08)$$

Onde: Q_{pR} – vazão de pico do hidrograma (m³/s.cm); A - é área de drenagem da bacia (km²); t_b - é o tempo de básico do hidrograma unitário; e $W_{\%}$ - são fatores de forma do hidrograma unitário, $C_{75} = 1,22$ e $C_{50} = 2,14$.

É importante verificar que a área do HU representa o volume correspondente a uma precipitação efetiva unitária (P_u) de 1 cm sobre a área total da bacia.

Os parâmetros fisiográficos que definem toda a geometria do HU são comprimento do rio principal, distância até o centróide da bacia hidrográfica e área de drenagem a bacia, além dos coeficientes empíricos e de ajuste matemático, característicos dos métodos “caixa preta”.

Quando avalia-se a gênese do modelo, podem-se verificar semelhanças entre os métodos Racional de de Snyder, conforme apresentado na comparação (09), onde considerou a compatibilização das unidades do HU de Snyder (mm/min) e tendo $C = 1,0$ e $h = 1,0$ mm. Pode-se observar que em ambas as metodologias, o tempo de pico (no método Racional $t_c = t_{pR}$) é o principal responsável pela forma do HU.

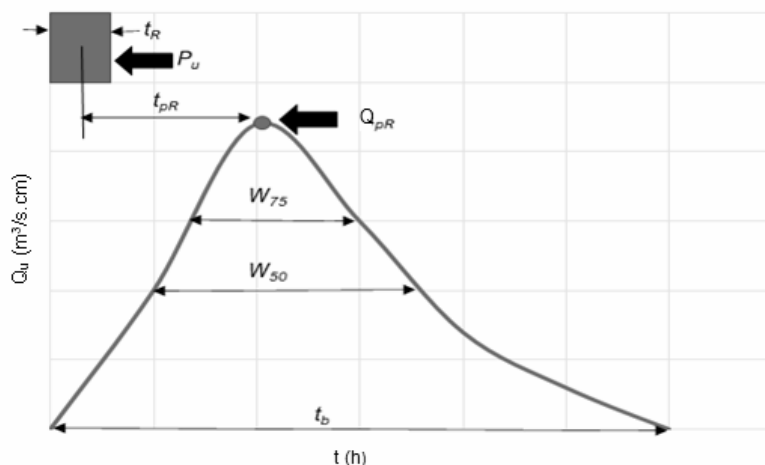


Figura 4. Forma do hidrograma sintético de snyder.

$$q_{pR} = \frac{h_{efe}}{t_{pR}} \cdot C_p = \frac{1 \text{ mm}}{t_{pR}} \cdot C_p - \text{Snyder}; q = \frac{C \cdot h}{t_c} = \frac{h_{efe}}{t_c} = \frac{1 \text{ mm}}{t_c} - \text{Racional} \quad (09)$$

Onde: q_{pR} e q – são as vazões específicas de pico do hidrograma (mm/min); t_{pR} e t_c – são os tempos de pico (min).

Percebe-se que o modelo proposto por Snyder permite um melhor ajuste da geometria do HU, através do coeficiente C_p . Também pode-se identificar que o método de estimação do tempo de pico e a possibilidade de discretização da chuva efetiva na modelagem do hidrograma de escoamento superficial direto também são distintas, conforme podemos descrever:

- ✓ No método Racional, o tempo de concentração, igual ao tempo de pico, é estimado por fórmulas empíricas, sendo que o modelo não apresenta solução para essa variável; A chuva de entrada é contínua e com intensidade constante durante todo o tempo de concentração, considerando as perdas uniforme;
- ✓ No caso do HU proposto por Snyder, o tempo de pico é parametrizado em função de características fisiográficas, conforme método proposto no modelo; A chuva pode ser discretizada em um Hietograma de intensidade variável, considerando

também a variação das perdas durante o evento. O modelo não apresenta solução para a estimativa das perdas.

Posto isso, elaborou-se o Ábaco da Figura 5, que representa a solução do modelo de Snyder, em termos de específicos em relação a área da bacia, considerando C_t e $C_p = 1,0$.

Os parâmetros C_t e C_p , são geralmente calibrados para as bacias, através de dados observados e posteriormente regionalizados para outras bacias sem dados de observação

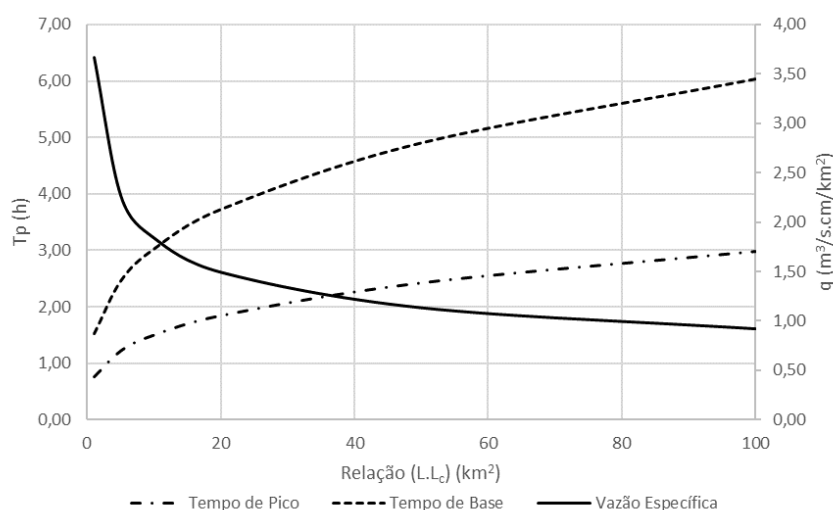


Figura 5. Parâmetros do hidrograma unitário de Snyder em função da relação (l.l.c).

Análise crítica do método do hidrograma unitário do Soil Conservation Service - SCS

O método SCS (Soil Conservation Service, atual National Resources Conservation Service), em termos de aplicação, se assemelha ao método de Snyder (1938), apresentando os procedimentos para a estimação do HU. A grande diferença entre ambos é que o método SCS apresenta ferramentas adicionais para a estimação das perdas iniciais e contínuas, fechando todo o procedimento necessário para a modelagem do escoamento superficial direto de um dado evento na bacia hidrográfica.

O método do SCS, também conhecido como método do número da curva (ou SCS-CN) foi originalmente apresentado por Mockus (1949) e posteriormente generalizado para todo o território dos Estados Unidos (SCS, 1964 e 1972), sendo recomendado para bacias hidrográficas com área entre 2 km² à 2.000 km². Este método apresenta uma metodologia que inclui a estimativa da precipitação efetiva (Pe), a partir de características do solo, e posteriormente sua aplicação em um hidrograma sintético empírico. A infiltração e a retenção de parte da chuva nas depressões do solo são fatores considerados na relação chuva-vazão (GRACIOSA, 2010).

Ele incorpora no parâmetro CN quatro fatores principais que afetam a geração de escoamento direto: tipo de solo, uso e tratamento do solo, condições de superfície e condições de umidade antecedentes. (Soulis et al., 2009; Rezaei-Sadr, 2017).

A determinação da precipitação efetiva é realizada a partir das equações (10) e (11), considerando as perdas iniciais de 20% de S e para $P > 0,2S$:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (10)$$

Onde: Pe - é a precipitação efetiva (mm); P - é a precipitação total (mm); S - é o potencial de retenção do solo, após início do escoamento superficial (mm).

Por definição, para valores de precipitação menores ou iguais a 20% de S, não há geração de escoamento direto e, por tanto, a precipitação efetiva é nula.

O método assume que as perdas iniciais representam 20% do valor total do armazenamento potencial no solo (DECINA, 2012). O potencial de retenção é função de um parâmetro denominado “Curva Número”, empiricamente determinado em função do tipo e uso do solo e da condição de umidade antecedente, e varia de 1 a 100, conforme Tabela 2.

O armazenamento potencial então é dado por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

Onde: S = é o potencial de retenção do solo, após início do escoamento superficial (mm);
 CN = o parâmetro “Curve Number”.

Segundo Porto (1995) são considerados quatro grupos hidrológicos de solos e três condições de umidade antecedente do solo:

- ✓ Grupo A – Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
- ✓ Grupo B – Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, este limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superior.
- ✓ Grupo C – Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m.
- ✓ Grupo D – Solos argilosos (30 – 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados.
- ✓ CONDIÇÃO I – Solos secos – As chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.
- ✓ CONDIÇÃO II – Situação média na época das cheias – As chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm
- ✓ CONDIÇÃO III – Solo úmido (próximo da saturação) – As chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação (PORTO, 1995).

Segundo Porto (1995) em caso de usos mistos é possível realizar a ponderação do valor do CN em função da área. O CN descreve a velocidade (taxa) de magnitude das perdas. Panjabi et al. (2021) descreve três padrões da relação do CN com a precipitação:

- ✓ CN decrescente até um valor assintótico com aumento da precipitação, válido para chuvas mais altas;
- ✓ CN declinante com o aumento da precipitação, sem atingir um valor de equilíbrio fixo;
- ✓ CN constante, geralmente associados a precipitações mais baixas.

A Tabela 2, apresenta os valores sugeridos para o CN, na condição de umidade II.

Tabela 2. valores do C_n em função do uso e grupos de solos para o parâmetro CN, para condição de umidade II.

Tipos de uso do solo/Tratamento/Condições Hidrológicas		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho Médio do Lote	% Impermeável				
até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (70% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
Pasto	condições ruins				
	médias	68	79	86	89
	boas	49	69	79	84
	boas	39	61	74	80
curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
	médias	25	59	75	83
	boas	6	35	70	79
	boas	6	35	70	79
Campos	condições boas	30	58	71	78
Florestas	condições ruins	45	66	77	83
	médias	36	60	73	79
	boas	25	55	70	77

Fonte: PORTO, (1995).

Para condições de umidade diferentes da II, é sugerida uma correção do valor do CN. Conforme Righetto (1998), os valores de Curve Number apresentados na Tabela 2, para a condição de úmida II, podem ser alterados para as condições de umidade I e III pelas equações (12) e (13):

$$CN(I) = \frac{4,2.CN(II)}{10-0,058.CN(II)} \quad (12)$$

$$CN(III) = \frac{23.CN(II)}{10-0,13.CN(II)} \quad (13)$$

De modo objetivo a precipitação efetiva é função do CN e do total precipitado, como pode-se observar na Figura 6. Para um mesmo evento e bacia hidrográfica, quanto menor o valor do CN maiores serão as perdas e menor será a precipitação efetiva. Para valores de CN e precipitação baixos, o modelo considera a inexistência de precipitação efetiva.

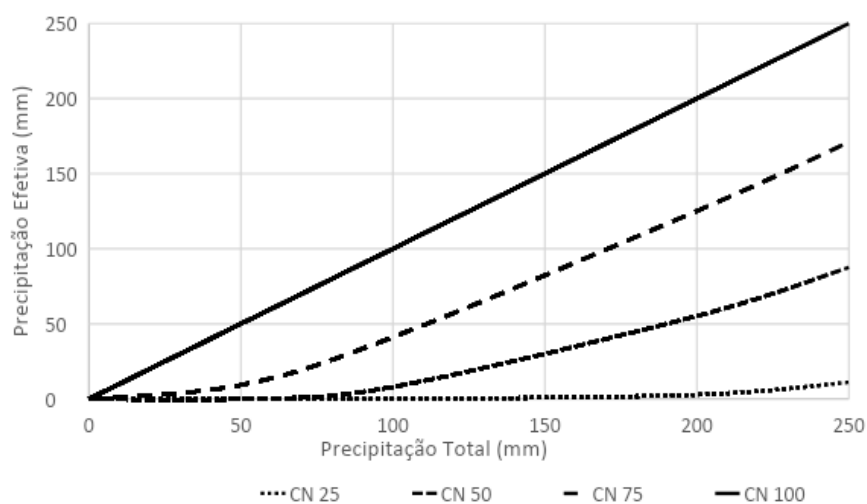


Figura 6. Relação da precipitação efetiva com a precipitação total e a curva número.

O método para estimar a precipitação efetiva, apresentado pelo SCS pode ser aplicado solidariamente a qualquer HU (Conceitual ou Sintético Empírico). Mas, complementarmente o SCS, apresenta uma solução para a modelagem do HU, de forma sintética. O HU sugerido é

apresentado na Figura 7, tanto de forma triangular como por uma modelo adimensional suavizado.

Para a precipitação unitária de 10 mm (1cm), a vazão de pico do hidrograma unitário é definida na equação (14), que se assemelha muito ao método de Snyder, no entanto, não possibilita ajustes empíricos em relação às características fisiográficas e hidrológicas das bacias, pela inexistência do coeficiente C_p .

$$Q_p = \frac{2,08.A}{t_p} \quad (14)$$

Onde: Q_p - é a vazão de pico unitária ($m^3/s.cm$); A - é a área da bacia hidrográfica (km^2); t_p - é o tempo de pico (h).

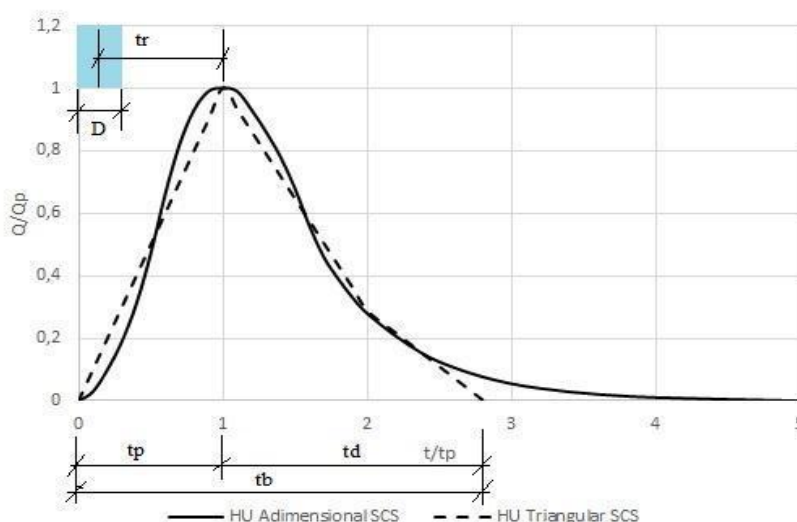


Figura 7. Forma dos hidrogramas unitários sintéticos do SCS.

O tempo de pico do hidrograma é estimado pela equação (15), no entanto, não apresenta de forma objetivo um método para estimar indiretamente o valor do tempo de pico.

$$t_p = \frac{D}{2} + t_r \quad (15)$$

Onde: D - é a duração unitária da precipitação (h); t_r - é o tempo de retardo, contado a partir do centróide da precipitação (h); t_p - é o tempo de pico (h); t_d - é o tempo de recessão.

O tempo de retardo e tempo de base podem ser obtidos pelas equações (16) e (17), (CHOW et al., 1988):

$$t_r = 0,6 \cdot t_c \quad (16)$$

$$t_b = \frac{8}{3} \cdot t_p \quad (17)$$

Onde: t_c - é o tempo de concentração da bacia (h); t_r - é o tempo de retardo, contado a partir do centróide da precipitação (h); t_b - é o tempo de base do HU (h).

O hidrograma unitário triangular proposto para o método do SCS tem seu formato compatível com HU proposto por Snyder, sendo o método de Snyder mais flexível e ajustável às diferentes bacias pela técnica de regionalização dos parâmetros empíricos, o que representa uma vantagem. No entanto, a principal ferramenta apresentada pelo método SCS é o modelo de estimação da precipitação efetiva, a partir dos valores de CN.

Conforme Rezaei-Sadr e Sharif (2018), o método apresentado pelo SCS é amplamente utilizado em todo o mundo, provavelmente devido à sua simplicidade.

Conclusão

De modo geral, os métodos empíricos estudados apresentam soluções e princípios de aplicação semelhantes, para relacionar a chuva efetiva com a vazão de escoamento superficial direto. Porém, o uso do Método Racional fica restrito a áreas pequenas, pois além de considerar a chuva constante ao longo do evento, condição que não é observada em bacias maiores, também oferece menos possibilidade de ajuste geométrico do HU.

A representação de fenômenos tão complexos como o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, mesmo que com foco em uma parte específica do ciclo hidrológico, representa um desafio, sendo obviamente mais difícil quanto maior a dimensão das bacias hidrográficas.

Os três métodos estudados representam evoluções conceituais gradativas, sendo que cada um apresenta ferramentas complementares para responder às demandas do processo de estimação do escoamento superficial direto, bem como, melhorar a sensibilidade destes frente à escala das bacias.

Apesar da existência de novos conceitos e métodos mais precisos, que podem explicar muitas das distorções que os métodos caixa preta apresentam, não se pode refutar o fato de que estes métodos foram, e ainda são, a base para as soluções práticas da engenharia, principalmente no caso de problemas relacionados a obras de drenagem.

Sem dúvida a grande vantagem dos métodos estudados reside na simplicidade de sua aplicação, com poucos parâmetros de entrada e de fácil obtenção, através das ferramentas de aquisição e tratamento de imagens espaciais.

Logo, pode-se afirmar que as fontes de informação para a aplicação dos métodos estudados são farta e com grau de incerteza aceitável.

Por fim, é fato que a compreensão mais refinada das limitações dos métodos, bem como dos procedimentos práticos e teóricos associados, pode auxiliar bastante no projeto de obras hidráulicas correntes.

Referências

- AGNESE, C., D'ASARO, D., GIORDANO, G. Estimation of the time scale of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph from effective streamflow velocity. **Water Resour. Res.**, v. 24, n. 7, p. 969–978, 1988.
- ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **FAE**, v. 20, n. 1, p. 129 – 137, 2017.
- BERNARD, M. M. An approach to determinate stream flow. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v. 100, n. 1, p. 347-362, 1935.
- BEROD, D.D.; SINGH, V.P.; MUSY, A. A geomorphologic kinematic-wave (GKW) model for estimation of floods from small alpine watersheds. **Hydrological Process**. v. 13, p. 1391–1416, 1999.

BHUNYA, P. K.; BERNDTSSON, R.; SINGH, P. K.; HUBERT, P. Comparison Between Weibull And Gamma Distributions To Derive Synthetic Unit Hydrograph Using Horton Ratios. **Water Resources Research**, n. 44, p. 1–17, 2008.

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. Synthetic Unit Hydrograph Methods: A Critical Review. **The Open Hydrology Journal**, v. 5, n. 1, p. 1–8, 2011.

BINGNER, R. L.; THEURER, F. D.; YUAN, Y. **AnnAGNPS, annualized agricultural non-point source pollution model AnnAGNPS: Technical Processes. Documentation. Version 5.4**, USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory, Oxford, MS. 2015.

BOTTER, G.; RINALDO, A. Efeito de escala na dispersão geomorfológica e cinemática. **Water Resources Research**, v. 39, n. 10, 2003.

BROOKS, S. M.; MCDONNELL, R. A. Research advances geocomputation for hydrological and geomorphological modeling towards the twenty-first century. **Hydrological Process**. v. 14, p. 1899–1907, 2000.

CHEN, L.; SUN, C.; WANG, G.; XIE, H.; SHEN, Z. Event-based nonpoint source pollution prediction in a scarce data catchment. **Journal of Hydrology**, v. 552, p. 13–27, 2017.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

CHUTHA, P.; DOOGE, J. C. I. The shape parameters of the geomorphologic unit hydrograph. **J. Hydrol.**, v. 117, p. 81–97, 1990.

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

CRISS, R. E.; WINSTON, W. E. Do Nash Values Have Value? Discussion And Alternate Proposals. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 14, p. 2723–2725, 2008.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana – Manual de Projeto**. São Paulo, DAEE/CETESB, 1986.

DE GONZALO, C.; ROBREDO, J. C.; MINTEGUI, J. Á. Semidistributed Hydrologic Model for Flood Risk Assessment in the Pejibaye River Basin, Costa Rica. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 12, p. 1333–1344, 2012.

DECINA, T. G. T. **Análise de Medidas de Controle de Inundações a partir da Avaliação de Cenários de Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego do Gregório**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

DISKIN, M. H. **A basic study of the linearity of the rainfall-runoff process in watersheds**. Thesis, University of Illinois, Urbana, Ill, Ph. D, 1964.



- DISKIN, M .H.; WYSEURE, G.; FEYEN, J. Application of a cell model to the Bellebeek Watershed Nord. **Hydrol.**, v. 15, p. 25-38, 1984.
- DOOGE, J. C. I. A. General Theory of the Unit Hydrograph. **Journal of Geophysical Research**, v.64, n. 2, p. 241–256, 1959.
- DOOGE, J. Linear theory of hydrologic systems. **Agricultural Research Service**, US Department of Agriculture. 1973.
- DOOGE J. C. I. **Problems and methods of rainfall runoff modelling**. In: Mathematical models of surface water hydrology, Ciriani T.A., Maione U. y Wallis J.R., Editores, 1977. John Wiley and Sons, New York. 1977.
- GOÑI, M.; LÓPEZ, J.; GIMENA, F.N. Geomorphological instantaneous unit hydrograph model with distributed rainfall. **Catena**, v. 72, p. 40-53, 2019.
- GRACIOSA, M. C. P. **Modelo De Seguro Riscos Hidrológicos Com Básico Em Simulação Hidráulico-Hidrológica Como Ferramenta De Gestão Do Risco De Inundações**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- GRAY, D. M. Interrelationships of watershed characteristics. **J. Geophys. Res.**, v. 66, n. 4, p. 1215–1223, Apr. 1961.
- GUPTA, V. K.; WAYMIRE, E. e WANG, C. T. A Representation Of An Instantaneous Unit Hydrograph From Geomorphology. **Water Resour. Res.** v. 16, n. 5, p. 855-862, 1980.
- GÜLBAZ, S.; BOYRAZ, U.; KAZEZYILMAZ-ALHAN, C.M. Investigation of overland flow by incorporating different infiltration methods into flood routing equations. **Urban Water J.**, v. 17, p. 109–121, 2020.
- HEC – HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER; **Hydrologic modeling system HEC-HMS User's Manual**. Version 4.2, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, 2016.
- HORTON, R. E, The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 14, p. 446-460, 1933.
- HOSSEINI, S.M.; MAHJOURI, N. Integrating Support Vector Regression and a geomorphologic Artificial Neural Network for daily rainfall-runoff modeling, **Applied Soft Computing**, v. 38, p. 329-345, 2016.
- INNOCENTE, C.; CHAFFE, P. L. B. Uma Revisão Preliminar Sobre a Aplicação do Unitárioo na Pesquisa, no Ensino e na Engenharia. **XXII SBRH**. 2017.
- JENA, S. K.; TIWARI, K. N. Modeling Synthetic Unit Hydrograph Parameters with Morphologic Parameters of Watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 319, p. 1-14, 2006.
- JENG, R. I.; COON, G. C. True form of instantaneous unit hydrograph of linear reservoirs. **J. Irrig. Drain. Eng.**, v. 129, p. 11-17, 2003.

KARLINGER, M. R.; TROUTMAN, B. M. Assessment of the instantaneous unit hydrograph derived from the theory of topologically random networks. **Water Resour. Res.**, v. 21, n. 11, p. 1693–1702, 1985.

KIM J.; JUNG, K. Geomorphologic Skewness of Hydrologic Response. **Water Resources Management**, v. 31, n. 1 2017.

KIRSHEN, D. M.; BRAS, R. L. The linear channel and its effect on the geomorphologic IUC. **Journal of Hydrology**, v. 65, p. 175-208, 1983;

KRYSANOVA, V.; BRONSTERT, A.; MÜLLER-WOHLFEIL, D. I. Modelling river discharge for large drainage basins: from lumped to distributed approach. **Hydrol Sci J.**, v. 44, n.2, p. 313–331, 1999.

KUICHLING, E. The Relation between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts. **Transações de ASCE**, v. 20, p.1-60, 1889.

KULL, D. W.; FELDMAN, A. D. Evolution of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff. **J. Hydrol. Eng.** ASCE, v. 3, n. 1, p. 9–19, 1998.

KUMAR, A. Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Básicod Hydrologic Response Models for Ungauged Hilly Watersheds in India. **Water Resour. Manag.**, v. 29, n. 3, p. 863-883, 2015.

LEE, K. T.; YEN, B. C. Geomorphology And Kinematic-Wave Básicod Hydrograph Derivation. **Journal Of Hydraulic Engineering**, v. 123, n. 1, p. 73-80. 1997.

LEE, K. T.; CHANG, C. Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology-based IUH modeling. **Journal of Hidrology**, v. 311, p. 91-105, 2005.

LÓPEZ, J. J.; GIMENA, F. N.; GOÑI, M.; AGUIRRE, U. Analysis of a unit hydrograph model based on watershed geomorphology represented as a cascade of reservoirs Agric. **Water Manag.**, v. 77, p. 128-143, 2005.

MISHRA, S. K.; TYAGI, J. V.; SINGH, V. P. Comparison of infiltration models. **Hydrol Process**, v. 17, p. 2629–2652, 2003.

MOCKUS, V. **Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms.** Exhibit A in Appendix B. In Terims Survey Report (Neosho) River Watershed; USDA: Washington, DC, USA, 1949.

MULVANY, T. On the use of self registering rain and flood gauges in making observations of the relation of rainfall and flood discharges in given catchment. **Trans. Inst. cio, Engrs.** Ire, 4, 18-33, 1851.

NASH, J. E. The Form Of The Instantaneous Unit Hydrograph, **IASH Publication**, v. 3 - 4, n. 45, p. 114-121, 1957.

NASH, J. E. A unit hydrograph study, with particular reference to british catchments **Proc. Inst. Civ. Eng.**, v. 17, p. 249-282, 1960.



NKWUNONWO, U.C.; WHITWORTH, M.; BAILY, B. A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. **Sci African**, 2020.

NOURANI, V.; SINGH, V.P; ALAMI, M.T.; DELAFROUZ, H. Geomorphological runoff routing modeling based on linear reservoirs cascade. **J. Appl. Sci.**, v. 8, n. 9, p. 1660-1667, 2008.

O'KELLY J. J. The employment of unit hydrograph to determine the flows of Irish arterial drainage channels. **Proceedings of the Institution of Civil Eng.**, v. 4, n. 3, p. 365-412, 1955.

OLIVERA, F., MAIDMENT, D. Geographic information systems (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing. **Water Resour. Res.** 35 (4), 1135–1164, 1999.

PANJABI, K.; RUDRA, R.; GOEL, P.; AHMED, S.; GHARABAGHI, B. A. Modified Distributed CN-VSA Method for Mapping of the Seasonally Variable Source Areas. **Water**, v. 13, n. 1270, 2021.

PORTO, R. L. L. Escoamento direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. P. (org.). **Drenagem Urbana**, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 5, Ed. da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1995.

REZAEI-SADR, H. SHARIFI, G. Variation of runoff source areas under different soil wetness conditions in a semi-arid mountain region, **Iran Water SA** v. 44, n. 2 April 2018.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RINALDO, A.; VOGEL, G. K.; RIGON, R., RODRIGUEZ-ITURBE, I. Can one gauge the shape of a basin? **Water Resources Research**, v. 31, n. 4, p. 1119-1127, 1995.

RODRIGUEZ-ITURBE, I. e VALDÉS, J. B. The Geomorphologic Structure Of Hydrologic Response. **Water Resources Research**, v. 15, n. 6, p. 1409-1420, 1979.

RODRÍGUEZ-ITURBE, I., GONZÁLEZ-SANABRIA, M., BRAS, R. L. A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. **Water Resources Research**, v. 18, n. 4, p. 877–886, 1982.

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

SACO, P.M.; KUMAR, P. Kinematic dispersion in stream networks. Scale issues and self-similar network organization. **Water Resources Research**, v. 38, 2002.

SACO, P.M.; KUMAR, P. Kinematic dispersion effects of hillslope velocities. **Water Resources Research**, v. 40, 2004.

SCS (Soil Conservation Service). **National Engineering Handbook**, Section 4—Hydrology. Soil Conservation Service, USDA, Washington DC. 1964.

SCS (Soil Conservation Service). **National Engineering Handbook**, Part 630 Hydrology, Section 4. Chapter 10. Soil Conservation Service, USDA, Washington DC. 1972.



SEO, Y.; PARK, S. Y.; SCHMIDT, A. R. Implication of the flow resistance formulae on the prediction of flood wave propagation. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 4, p. 683–695, 2016.

SHERMAN, L. K. Stream Flow From Rainfall By Unit-Graph Method. **Engineering News-Record**, v. 12, n. 3, p. 501-505, 1932.

SINGH, K.P. **A non-linear approach to the instantaneous unit hydrograph**. Thesis, University of Illinois, Urbana, Ill, Ph. D. 1962.

SINGH, V. P.; CUI, H.; BYRD, A. Sediment Graphs Based on Entropy Theory. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 20, n. 6, 2014.

SINGH, A.; DAWSON, D.; TRIGG, M. WRIGHT, N. G.. A review of modelling methodologies for flood source area (FSA) identification. **Nat Hazards**, v. 107, p. 1047–1068, 2021.

SIQUEIRA, V. A.; SORRIBAS, M. V.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; MACHADO, A.; LISBOA, V.; GOMES, G.; TRINIDAD, V. Real-time updating of HEC-RAS model for streamflow forecasting using an optimization algorithm. **RBRH**, v. 21, n. 4, p. 855-870, 2016.

SNYDER, F. F. Synthetic Unit-Graphs. **Transactions: American Geophysical Union**, v. 19, n. 1, p. 447, 1938.

STEINER, L. V. **Análise da influência de reservatórios em vazões de cheia através do método do hidrograma unitário**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SYME, W. J.; PINNELL, M. G.; WICKS, J. Modelling Flood Inundation of Urban Areas in the UK Using 2D/1D Hydraulic Models. **8th National Conf Hydraul Water Eng**, 2004.

TAYLOR, A. B. Y; SCHWARZ, H.E. Unit Hydrograph Lag and Peak Flow Related To Basin Characteristics. **Trns. Amer. Geophys. Union**, v. 33, 1952.

TENG, J.; JAKEMAN, A. J.; VAZE, J.; et al. Flood inundation modelling: a review of methods, recent advances and uncertainty analysis. **Environ Model Softw**, v. 90, p. 201–216, 2017.

TODESCHINI, S.; PAPIRI, S.; CIAPONI, C. Stormwater quality control for sustainable urban drainage systems. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 9, n. 2, p. 196–210, 2014.

TODINI, E. Rainfall-runoff modeling - Past, present and future. **Journal of Hydrology**, v.100, n.1–3, p. 341–352, 1988.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH-UFRGS, 1998.

WANG, G. T.; CHEN, S. A linear spatially distributed model for a surface rainfall-runoff system. **J. Hydrol.**, v. 185, p. 183-198, 1996.



YAO, C.; ZHANG, K.; YU, Z.; LI, Z.; LI, Q. Improving the flood prediction capability of the Xinanjiang model in ungauged nested catchments by coupling it with the geomorphologic instantaneous unit hydrograph. **Journal of Hydrology**, v. 517, p. 1035–1048, 2014.

ZHANG, Q.; CHEN, W.; KONG, Y. Modification and discussion of the Green-Ampt model for an evolving wetting profile. **Hydrol Sci J**, v. 65: p. 2072–2082, 2020.

ZOCH, R. T. On The Relation Between Rainfall And Stream Flow. **Monthly Weather Review**, v. 62, n. 9, p. 315-322, 1934.