

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DO GRAU DE SENSIBILIDADE DAS VAZÕES DE PICO GERADAS EM FUNÇÃO DA FORMA DE DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO, DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, PARÂMETRO CN, E TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA

Francisco Donadone Lima de Andrade¹ Roberto José Amorim Rufino Fernandes²; Josélia de Carvalho Leão³ & Josiana do Nascimento Alves Feitosa⁴

RESUMO – O objetivo do presente trabalho foi avaliar o grau de sensibilidade das vazões de pico geradas a estes quatro fatores principais (tempo de concentração, CN, duração e distribuição temporal da chuva de projeto), indicando aqueles que devem receber maior atenção do projetista sob o risco da avaliação incorreta das vazões de dimensionamento. Para a realização das simulações das vazões de pico utilizou-se duas bacias hidrológicas, uma rural e outra urbana, bem como o sistema de suporte à decisão ABC6 (Análise de Bacias Complexas), a curva IDF de Teresina, e as metodologias dos Blocos Alternados e o método do Quartis de Huff. Conforme os resultados obtidos, dentre os parâmetros analisados aquele que mais impactou na vazão de pico, foi o CN, conseqüentemente deve ser analisado com mais critério.

ABSTRACT The objective of this study was to evaluate the sensitivity of the peak flows generated these four main factors (time of concentration, CN, temporal duration and distribution of project rain), indicating those that should receive more attention designer at risk incorrect assessment of the sizing flow. To carry out the simulations of peak flow rates used are two hydrological basins, a rural and urban other, and the support system decision ABC6 (Complex Basin Analysis), the IDF curve of Teresina, and methodologies of Alternate Blocks and quartiles of the method of Huff. According to the results obtained from the parameters analyzed one that caused the greatest impact on peak flow, was the CN therefore should be analyzed with more criterion.

Palavras-Chave – vazão de pico; CN; método do hidrograma triangular .

1) Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí; Rua Espírito Santo, 996, Acarape, Teresina/PI, CEP 64003-750. (086) 3213-2424.
E-mail: rjarf.pi@gmail.com; josinascimento1997@gmail.com; joselialeao@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Partindo inicialmente de modelos simples, que forneciam apenas as vazões de pico, como é o caso do Método Racional, os modelos chuva-vazão evoluíram com base na metodologia do hidrograma unitário, permitindo a determinação não só da vazão máxima, mas também da forma com que a vazão varia com o tempo, informação imprescindível quando se trabalha com armazenamentos ou avaliação da propagação de cheias (TASSI E COLLISCHONN, 2008).

Para a utilização destes últimos, é exigido o conhecimento prévio de alguns parâmetros relacionados tanto à bacia, como é o caso do tempo de concentração e grau de impermeabilização, quanto à precipitação que dará origem à vazão de projeto.

Este trabalho visa realizar uma análise para determinar o grau de sensibilidade das vazões de pico geradas em função dos quatro parâmetros de entrada, buscando identificar aqueles que mais influenciam a vazão de pico e que, portanto, precisam ser avaliados com maior critério. Os parâmetros a serem analisados são: duração da precipitação de projeto; forma de distribuição temporal da precipitação; parâmetro CN; e tempo de concentração da bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Hidrograma Unitário

O Hidrograma Unitário (HU) é um dos métodos mais prático e popular disponível para determinar a relação entre precipitação e o hidrograma resultante, introduzido por Sherman nos anos 30. O método do HU considera a área da bacia hidrográfica e a intensidade da chuva, assim como o Método Racional. (TASSI E COLLISCHONN, 2008).

O hidrograma unitário é o hidrograma do escoamento direto provocado por uma chuva efetiva unitária (uma chuva de 1mm ou 1 cm). O método considera que a precipitação efetiva e unitária tem intensidade e duração unitárias e distribui-se uniformemente sobre toda a área de drenagem (SHERMAN, 1932).

2.2 Hidrograma Unitário Sintético

O hidrograma unitário sintético (HUS) é determinado a partir dos parâmetros relacionados com as características físicas da bacia, sendo empregadas normalmente regras empíricas para a sua determinação. (SILVEIRA, 2010).

2.2.1 Hidrograma Unitário Sintético do SCS

O hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service (SCS) é um modelo adimensional, inicialmente desenvolvido, com base em registros de pequenas bacias hidrográficas agrícolas dos Estados Unidos, posteriormente tendo sido generalizado para outros tipos de ocupação.

O método do hidrograma unitário sintético do SCS é mais geométrico que físico, uma vez que admite que o escoamento superficial direto seja igual a área de triângulo, definido pela vazão de pico e pelo tempo de pico e pelo tempo de base (SILVEIRA, 2005).

2.3 Tempo de Concentração

Segundo Tucci (2004), o tempo de concentração corresponde ao tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante na bacia, percorrer o caminho até a seção de saída (exutório). Esse tempo é definido também como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma.

2.4 Chuva Efetiva Crítica

Na hora de escolher a chuva de projeto para o dimensionamento de obras de drenagem (pontes, bueiros, vertedores, etc.) deve-se analisar o comportamento das chuvas intensas em uma região, de forma a dimensionar estruturas que tragam segurança à população (TASSI E COLLISCHONN, 2008).

A curva IDF (intensidade-duração-frequência) permite determinar a chuva crítica de projeto, que depois de discretizada temporalmente e deduzido os volumes evaporados, retidos nas depressões e os infiltrados, tem-se a chuva efetiva crítica (escoamento) de grande importância para o dimensionamento de obras hídricas.

2.4.1 Método do CN

Sob o ponto de vista de análise da capacidade das redes de drenagem pluvial, a impermeabilização do solo reflete-se em maiores vazões. Dessa forma, é importante a determinação do grau de impermeabilidade do solo, conhecido como parâmetro CN, única variável usada no método para a determinação do escoamento superficial

2.4.2 Distribuição temporal

A utilização da curva IDF permite a determinação da intensidade da precipitação, e através do produto entre a duração da precipitação pela intensidade obtém-se uma série de precipitações que não apresenta uma distribuição durante o tempo. Assim, antes do uso de informação de precipitação é importante fazer a distribuição temporal da chuva, de tal forma que a mesma tente representar o comportamento da chuva da região (TASSI E COLLISCHONN, 2008).

2.4.2.1 Métodos dos Blocos Alternados

Nesta metodologia, a precipitação ocorrida em n número de intervalos de tempo sucessivos de duração Δt , é especificada numa duração total de $d = n\Delta t$.

2.4.2.2 Método de Huff

Huff (1970) usou 49 postos com 11 anos de registros no estado de Illinois (USA) para determinar as características da distribuição temporal da precipitação. O autor separou as tempestades inicialmente em quatro grupos, cada precipitação intensa teve sua duração total dividida em quatro

partes (quartis) e as mesmas foram classificadas de acordo com a parte da duração em que a precipitação máxima caiu. Para cada quartil foi realizada uma análise estatística, com o objetivo de obter as curvas de distribuição temporal associadas a uma probabilidade de ocorrência (TUCCI, 2004).

3 METODOLOGIA

3.1 Bacia hidrográfica

Para avaliar a influência dos parâmetros foram usadas duas bacias hidrográficas para a análise das vazões de pico, uma pequena bacia urbana e uma bacia de tamanho médio em área rural.

3.1.1 Bacia Urbana

3.1.2 Área de drenagem, igual a 3,0 km²;

Tempo de concentração, igual a 28 minutos;

CN, igual a 88.

3.1.2 Bacia Rural

Área de drenagem, igual a 73,61 Km²;

Tempo de concentração, igual a 257 minutos;

CN, igual a 77.

3.2 Chuva de projeto

Considerou-se para as simulações com os parâmetros CN e tempo de concentração – duração da chuva de 2 horas para bacia urbana e 5 horas para rural – assim como o tempo de retorno de 10 anos para todas as simulações, incluindo duração da precipitação de projeto e forma de distribuição temporal da precipitação.

3.3 Distribuição temporal da chuva

Para determinação dos hietogramas foram utilizadas duas metodologias, blocos alternados e Huff, apresentadas no item 2.4.2. Adotou-se intervalo de discretização da chuva de 10 minutos para bacia urbana e 20 minutos para bacia rural.

3.4 Método de obtenção do hidrograma

O método utilizado para obtenção do hidrograma de cheia e avaliar a sensibilidade das vazões de pico foi o hidrograma unitário sintético do SCS, apresentado no item 2.2.1.

3.5 Desenvolvimento das análises

3.5.1 Bacia Urbana

3.5.1.1 Variação da duração da precipitação

Blocos Alternados

Realizou várias simulações alterando a duração da precipitação, e conservando os outros parâmetros da bacia, desde uma chuva rápida de 10 minutos a uma muito longa de 1440 minutos (24 horas).

Variou-se a precipitação a princípio de 10 em 10 minutos até chegar a duração de 120 minutos, e depois o intervalo foi alterado para 60 em 60 minutos até chegar-se a última chuva, 1440 minutos.

Método de Huff

A duração da precipitação foi simulada do intervalo 10 minutos a 600 minutos, observando-se o comportamento da vazão de pico para todas os quatro quatis propostos por Huff, aplicando sempre a curva de probabilidade de 50% de chance de ocorrência.

3.5.1.2 Variação do CN

Considerou-se para todas as análises as características da bacia urbana já citado, variando-se entre a faixa dos valores 58 (pouco impermeabilizado) a 97 (muito impermeabilizado), de 3 em 3 unidades.

3.5.1.3 Variação do tempo de Concentração

Variou-se o tempo de concentração de 0,05 em 0,05 h entre o intervalo 0,23 a 0,70 h, e observou-se as respostas da bacia para cada hidrograma de cheia.

3.5.2 Bacia Rural

3.5.2.1 Variação da duração da precipitação

Blocos Alternados

Variou a duração da precipitação, na faixa de valores entre 20 minutos a 1440 minutos (24 horas), precipitação a princípio de 20 em 20 minutos até a precipitação com duração correspondente 600 minutos, e depois o intervalo foi alterado para 60 em 60 minutos até 1440 minutos.

Método de Huff

As simulações para método de Huff, utilizou-se os mesmos intervalos de duração do item anterior, e analisou o comportamento da vazão de pico para todas os quatro quatis propostos por Huff, aplicando sempre a curva de probabilidade de 50% de chance de ocorrência.

3.5.2.2 Variação do CN

Variou-se os valores do CN entre a faixa de 53 a 98, de 3 em 3 unidades.

3.5.2.3 Variação do Tempo de Concentração

Para as simulações para o tempo de concentração da bacia utilizou-se o intervalo 2,14 h a 6,42 h.

3.6 Ferramentas de cálculo

Para a realização das simulações foi empregado o Sistema de Suporte à Decisão ABC6 (Análise de Bacias Complexas), desenvolvido pelo LabSid (Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisões da Universidade de São Paulo).

4 APLICAÇÃO E RESULTADOS

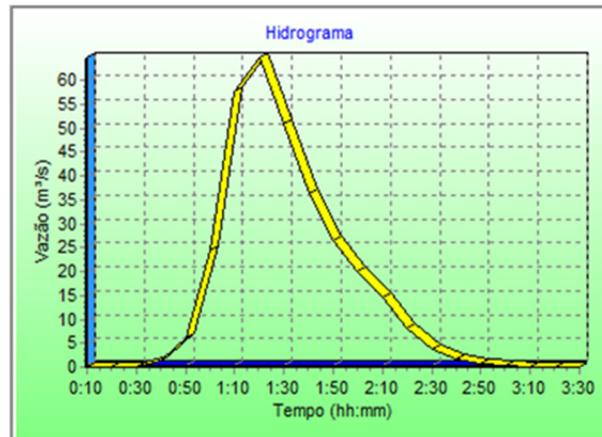
4.1 Bacia Urbana

O método dos blocos alternados gerou um volume maior de escoamento superficial e conseqüentemente uma maior vazão de pico quando comparado ao método de Huff 1º quartil.

4.1.1 Variação da duração da precipitação

4.1.1.1 Blocos Alternados

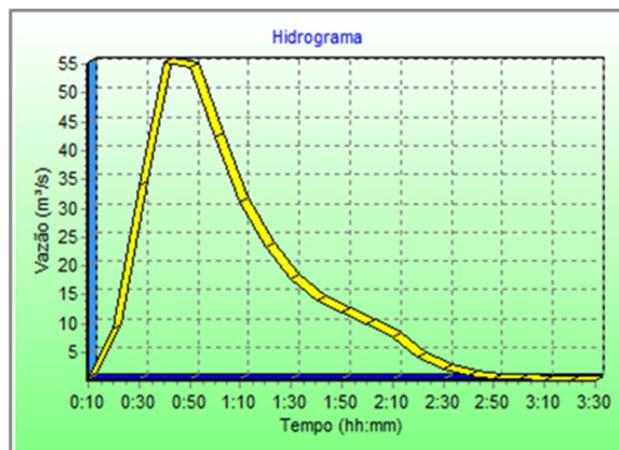
Quanto maior a duração da precipitação, maior vazão de pico, indicando que não há um ponto de pico verdadeiro, ou seja, há incremento na vazão a cada aumento da duração. No entanto, percebe-se que após esta duração, a vazão de pico passa a comporta-se de uma maneira diferente, continua crescendo, mas agora em taxas cada vez menores, tendendo a um valor constante.



Hidrograma de cheia pelo método dos blocos alternados

4.1.1.2 Método de Huff

As simulações usando o método de Huff produzem vazões de pico que crescem com a variação do parâmetro duração para todos os quartis, até atingir um valor máximo e logo em seguida sofre quedas sucessivas, indicando que essa seria a duração da chuva mais crítica para a bacia.



Hidrograma pelo método de Huff (1º quartil)

4.1.2 Variação do Parâmetro CN

A vazão de pico é crescente com aumento do CN, apresentado uma relação aproximadamente linear em termos percentuais. O parâmetro CN tem forte influência nas vazões de pico, para pequenas variações do CN há outra bastante acentuada para a vazão de pico. Um erro para o CN em 5% para

mais ou menos, gera outro em torno 20% na vazão, salientando o cuidado necessário na hora de determiná-lo para uma bacia hidrográfica.

4.1.3 Variação do Tempo de Concentração

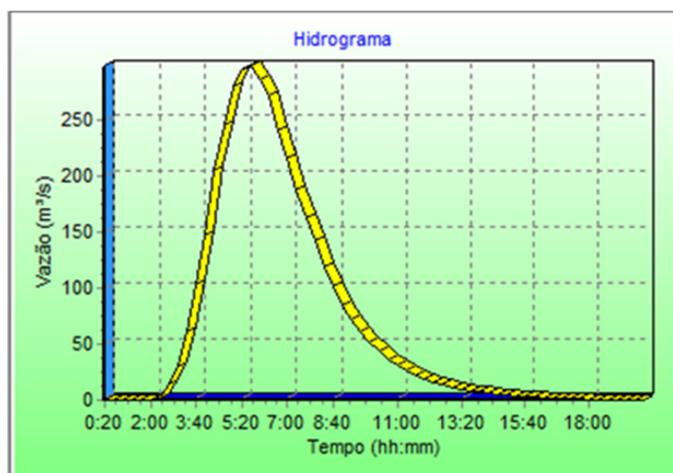
A vazão de pico decresce em função do tempo de concentração, quanto maior tempo de concentração, maior a demora para que toda a bacia possa contribuir com vazão, e o contrário para tempos de concentração menores.

4.2 Bacia Rural

Para os primeiros 80 minutos da precipitação não há escoamento, pois, toda a chuva infiltra-se no solo da bacia, comportamento comum para bacias rurais que apresentam solos menos impermeabilizados que bacias urbanas, refletindo-se em vazões de pico menores.

4.2.1.1 Blocos Alternados

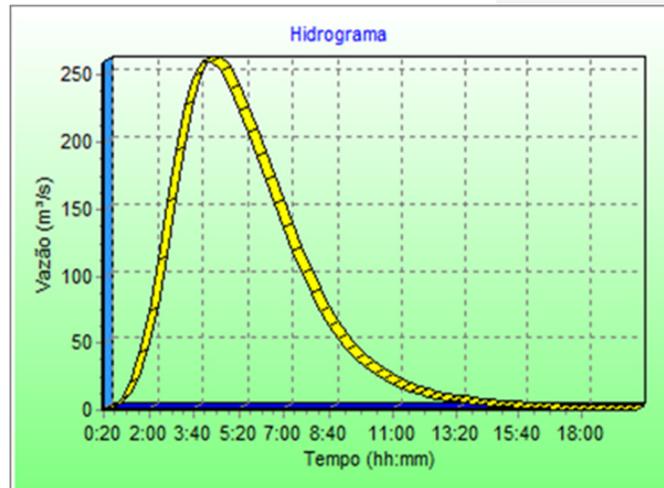
Há uma grande variação da vazão de pico para durações menores que o tempo de concentração, para a partir daí começar diminuir cada vez mais. No entanto, em nenhum momento a vazão de pico deixa de crescer.



Hidrograma pelo método dos blocos alternados, bacia rural.

4.2.1.2 Método de Huff

A cada mudança de duração da precipitação, há um acréscimo de vazão até chega-se a um valor máximo, para logo em seguida começar a decrescer.



Hietograma efetivo pelo método de Huff (1º Quartil).

4.2.2 Variação do Parâmetro CN

A análise da sensibilidade da bacia mostra que a vazão de pico é crescente com aumento do CN, resultado já esperado, pois quanto maior o valor do CN maior o grau de impermeabilização do solo. As variações das vazões de picos são bem acentuadas para pequenas variações no CN.

4.1.1 Variação do tempo de concentração

Há uma variação grande da vazão de pico para tempos de concentração menores que o da bacia rural (4,28 h), para depois haver uma queda dessa variação para tempos de concentração maiores. Também, há uma queda sucessiva da vazão de pico com aumento do tempo de concentração.

5 CONCLUSÕES

A análise de sensibilidade da vazão de pico mostrou que o método dos blocos alternados superestima o valor da vazão de pico em comparação com o método dos quartis de Huff.

Verificou-se que as maiores variações das vazões de pico dos hidrogramas de cheia aconteceram para as chuvas com duração inferior ao o tempo de concentração, e que para durações maiores que o tempo de concentração essa variação diminui consideravelmente. Tal fato confirma a recomendação de que se deve adotar a chuva de projeto maior ou igual ao tempo de concentração. Além disso, a vazão de pico é decrescente com o tempo de concentração e, que a relação entre ambos não é linear.

Dentre todos os parâmetros testados, o que mostrou maior impacto na sensibilidade das vazões pico foi o CN. A vazão apresentou comportamento crescente em função do CN, resultado já esperado, pois quanto maior o valor do CN, maior o grau de impermeabilização da superfície da bacia e, conseqüentemente, maior a vazão de escoamento dado o maior grau de impermeabilização da bacia. Observou-se que a relação entre o CN e a vazão de pico apresenta uma grande

proporcionalidade, ou seja, pequenas variações do CN, resultaram e variações bastante acentuadas para a vazão de pico.

O sistema de suporte à decisão ABC6 (Análise de Bacias Complexas) é muito relevante para a determinação de hidrogramas de cheia e tomada de decisões para bacias sem dados hidrológicos, pois possibilita o uso de diversos métodos baseados na teoria do hidrograma unitário, permitindo a comparação de resultados e a possibilidade de escolher aquele que ele julga ser o mais indicado para a bacia analisada.

6 REFERÊNCIAS

COLLISCHONN, Walter, TASSI, Rutinéia. *Introduzindo hidrologia*. Apostila. IPH-UFRGS, 2008.

HUFF, F. A., **Spatial Distribution of rainfall Rates Water Resources Research**, vol 6, nº 1, 1970.

SHERMAN, L. K., **Streamflow from rainfall by the unit hydrograph method**, Eng. News-Record, 1932.

SILVEIRA, André Luis Lopes da. **Desempenho de fórmulas de Tempo de Concentração em bacias urbanas e rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5-23, Porto Alegre, mar. 2005.

SILVEIRA, Gislaine Massuida da. **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 2010. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TUCCI, Carlos E. M. Artigo – **Parâmetros do hidrograma unitário para bacias urbanas brasileiras**, 2004. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos.