

ESTUDO DO SOFTWARE HEC-HMS PARA APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA HIDROLÓGICA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA

Vitória Bittencourt de Souza¹
Ricardo Ângelo Dal Farra²

RESUMO

A urbanização desenfreada vem causando prejuízos para a população, as alterações causadas no ciclo hidrológico em conjunto com outros fatores, acabam por gerar as inundações urbanas. Para impedir ou minimizar os impactos causados é necessário conhecer e prever o comportamento do ciclo da água frente aos diversos cenários. Os modelos matemáticos têm como objetivo representar o comportamento real dos processos, o que permite escolher a alternativa mais viável para contornar os alagamentos e inundações. Este trabalho teve como objetivo demonstrar a metodologia de utilização do software HEC-HMS, em uma rede de drenagem urbana e ainda comparar diferentes parâmetros do método de transformação. O estudo foi realizado através de coleta de informações sobre o programa, simulação do mesmo, análise de parâmetros e dados de entrada, explicação dos parâmetros inseridos, comparação entre duas metodologias de cálculo para o tempo de concentração e comparação entre diferentes tipos de taxa de fator de pico. Percebe-se o quão complexo e sensíveis são os parâmetros inseridos no programa, pois Kirpich gerou resultados no tempo de concentração 73% maiores que Dooge, enquanto Dooge gerou vazões de pico em torno de 24% maiores que Kirpich. A variação nos resultados entre Kirpich e Dooge no tempo de concentração, indica diferenças entre as bacias que deram origem aos cálculos. A discrepância encontrada entre as taxas de pico, em média 11%, demonstra o quão importantes e diferentes estes parâmetros são, cada um representa um tipo de solo e declividade, devendo ser ajustado para representar a bacia em estudo. Conclui-se que um parâmetro errado pode superestimar ou subestimar as vazões máximas, acarretando em problemas futuros.

Palavras-chave: Modelagem matemática hidrológica, HEC-HMS, drenagem urbana, inundações urbanas.

ABSTRACT

Rampant urbanization has been causing damages to the population, the modifications caused in the hydrological cycle altogether with other factors finishes to generate the urban floods. To prevent or minimize the caused impacts it is necessary to know and predict the water cycle's behavior in relation to both present and future scenarios. The mathematical models have as objective to represent the real behavior of the processes, what it allows to choose the alternative most viable to skirt the overflows and floods. This paper aimed to demonstrate the HEC-HMS Software's

¹ Engenheira Civil – TCC desenvolvido no Curso de Engenharia Civil/ULBRA

² Professor-Orientador do Curso de Engenharia Civil/ULBRA (ricardoalfarra@gmail.com)

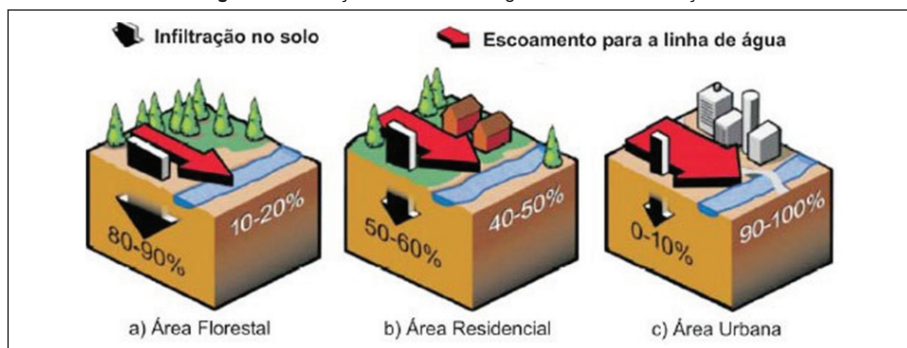
utilization methodology in urban drainage systems and also compare different parameters inside the transformation method. This study was conducted through data collection about the software, software's, parameters analysis and input data, inserted parameters explanation, comparisons between two calculus calculation methodologies for time concentration and comparisons between different types of peak rate factor taxa for a simulation. It can be noticed how complex and sensitive are the parameters inserted in the program, since Kirpich generated results in the time of concentration 73% larger than Dooge, while Dooge generated peak flows around 24% larger than Kirpich. The discrepancy reached between the peak rate factors demonstrate how important and different these parameters are, each represents a type of soil and declivity, which must be adjusted to represent the basin under study. In conclusion, a wrong parameter can overestimate the maximum flow values, as well as underestimate, causing future troubles.

Keywords: Mathematical hydrologic modeling, HEC-HMS, urban drainage, urban floods.

INTRODUÇÃO

Os impactos gerados pelo crescimento populacional descontrolado, impermeabilização do solo e falta de planejamento urbano, alteraram o ciclo hidrológico de tal forma que as inundações urbanas tornaram-se corriqueiras. A Figura 1 mostra as diferenças hidrológicas em diferentes tipos de áreas.

Figura 1 – Alterações no ciclo hidrológico devido a urbanização.



Fonte: MATA-LIMA *et al.*, 2006.

Os dados da Figura 1 evidenciam simplificada os processos hidrológicos, onde áreas florestais possuem uma pequena parcela de escoamento superficial, cerca de 10 a 20%, enquanto apresentam 80 a 90% de infiltração. Áreas residenciais mais impermeáveis, geram um maior escoamento superficial, chegando a representar 40 ou 50%, enquanto áreas urbanas podem apresentar 90 a 100% de escoamento superficial, devido a impermeabilização excessiva.

Para evitar ou minimizar os problemas decorrentes do aumento da vazão, é necessário conhecer e prever o ciclo hidrológico, descrevendo seu comportamento frente

aos cenários futuros, como os impactos gerados pelas atividades humanas e variações climáticas. Com esta finalidade vem sendo utilizado os modelos matemáticos (PAZ; COLLISCHONN; TUCCI, 2008).

O *software* apresentado neste trabalho simula a precipitação em pequenas e grandes bacias hidrográficas, urbanas ou rurais, prevendo seu fluxo e os impactos da urbanização, gerando como resultados hidrogramas de cheia. Diante disso este trabalho objetiva elaborar um estudo do *software* HEC-HMS e analisar os parâmetros utilizados dentro do modelo de transformação, através da coleta de informações do *software*, simulação do mesmo, análise dos parâmetros e dados de entrada, descrição dos módulos e resultados, e ainda uma análise do método de cálculo do tempo de concentração e do fator da taxa de pico e as alterações que causam no fluxo.

Para poder entender e mensurar os elementos que influenciam na dinâmica dos cursos hídricos é necessário possuir um conhecimento detalhado das características físicas e parâmetros da bacia a ser estudada, e a partir disso, se torna possível a utilização e manuseio dos recursos envolvidos, como dito por Tucci (2012).

Segundo Tucci (1998), os processos do ciclo hidrológico dependem de diversos fatores que dificultam na análise quantitativa e qualitativa. Por isso, a ciência desenvolveu os modelos hidrológicos, que visam melhor entender e representar o comportamento de uma bacia. Ainda segundo Tucci (1998), esta simulação é limitada pela grande diferença física que há na bacia, bem como pelos processos envolvidos, o que resultou no desenvolvimento de um grande número de modelos que se diferenciam em função dos dados de entrada, buscando diferentes tipos de respostas.

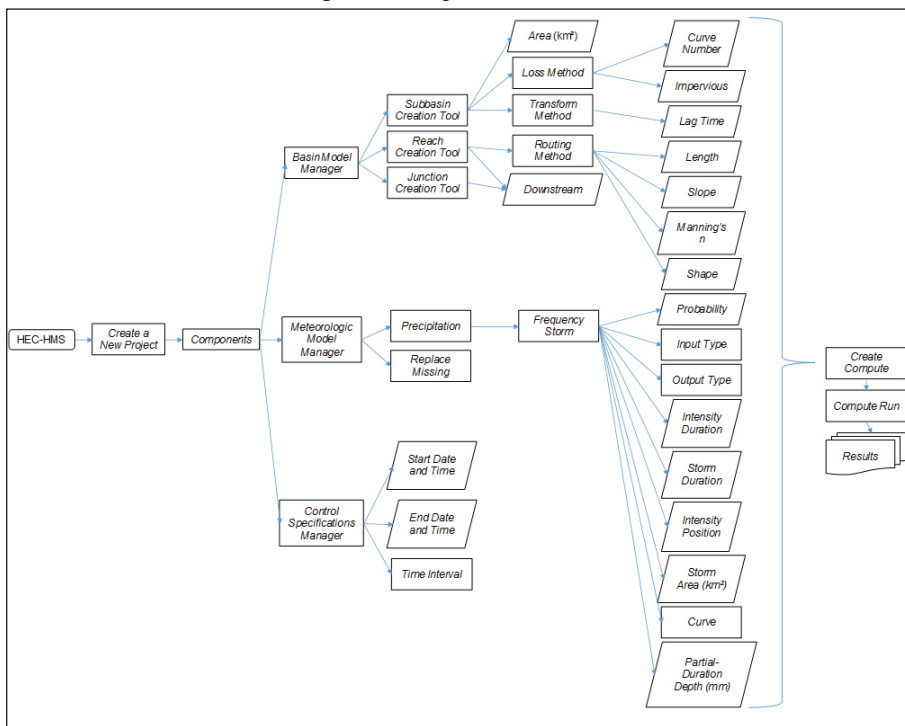
O programa HEC-HMS, é um modelo de transformação de chuva-vazão discreto, concentrado, empírico/conceitual e determinístico, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica – HEC (*Hydrologic Engineering Center*) no corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos – USACE (*United States Corps of Engineers*), com o intuito de auxiliar na modelagem hidrológica, permitindo com seus resultados análises de diversos ângulos para um mesmo problema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados na simulação foram disponibilizados pela Beck de Souza Engenharia (2016) através do “Estudo de Concepção de Drenagem Urbana Sustentável nas Áreas de Influência das Bacias Hidrográficas Pessegueiro, Pessegueirinho e Sanga do Inácio”.

O fluxograma da Figura 2 mostra esquematicamente as etapas da modelagem dentro do programa, incluindo os dados necessários para a simulação.

Figura 2 – Fluxograma do HEC-HMS.



Dentro do método de transformação é utilizada comumente a fórmula de Kirpich (Equação 1), que segundo Tomaz (2013), foi elaborada em 1940 para pequenas bacias rurais do estado do Tennessee nos Estados Unidos, com no máximo 0,5 km² de área e declividades entre 3 a 10%. Indica ainda, que em casos onde o comprimento do talvegue supere 10.000 metros o tempo de concentração é subestimado.

$$tc = 0,0197 \times \frac{L^{0,77}}{i^{0,385}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde tc é o tempo de concentração em minutos, L o comprimento do talvegue em metros e i a declividade média do talvegue em metro por metro. O valor mínimo admitido para o tc é de 5 minutos.

Outra maneira de calcular o tempo de concentração é através do método de Dooge ou Dodge, Equação 2, que foi feito para bacias rurais na Irlanda, com áreas entre 140 a 930 km² (SILVA; E MELLO, 2008).

$$tc = 21,18 \times \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde t_c é o tempo de concentração em minutos, A representa a área da bacia em quilômetros quadrados e S a declividade em metro por metro.

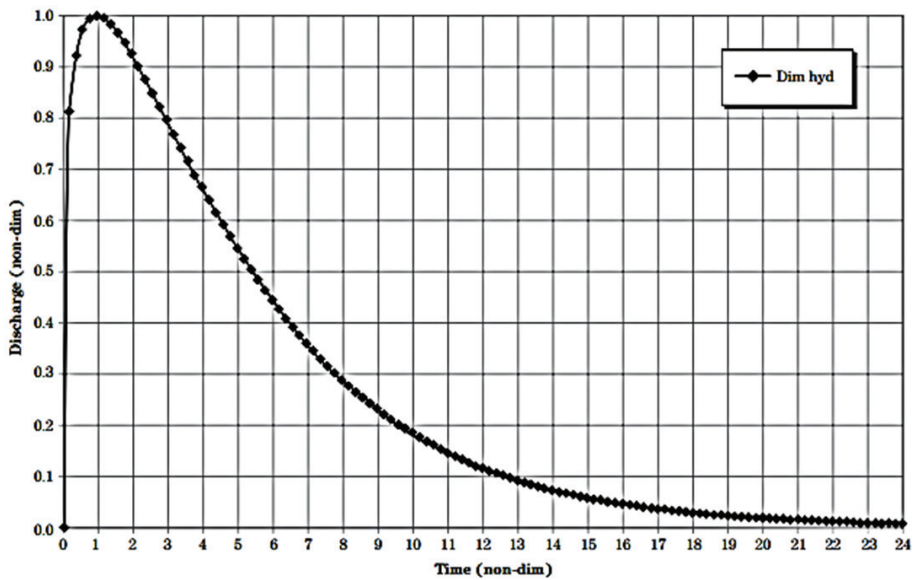
O teste de comparação foi realizado numa área do estudo de Santa Rosa/RS, que engloba as bacias B020, B028, B029, B040 e B041. As propriedades das mesmas estão na Tabela 1. O tempo de concentração influencia diretamente o *Lag Time (Tlag)*, que representa o tempo total em minutos, para que toda a bacia contribua para o exutório, resultando em valores bem diferenciados de um método para outro.

Tabela 1 – Propriedades físicas das bacias.

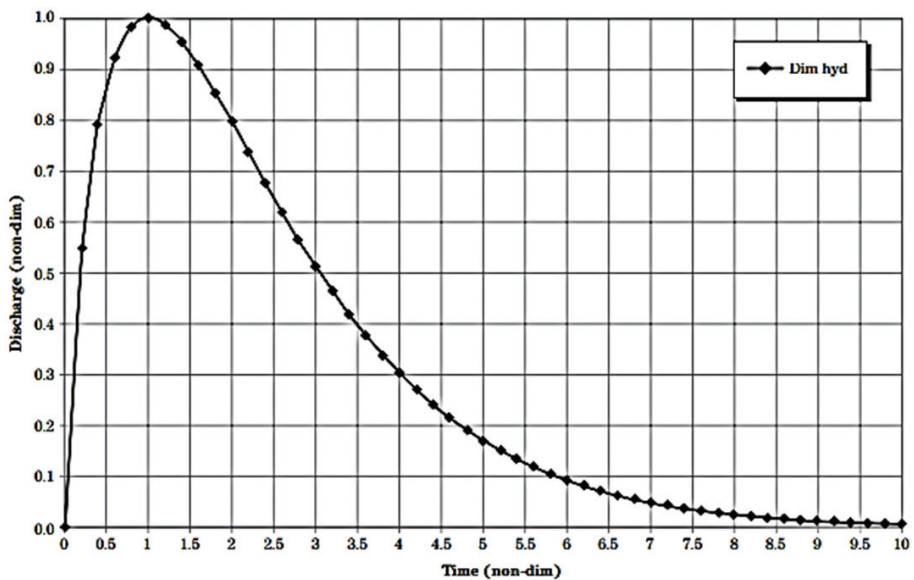
Bacia	Área (km ²)	Declividade (m/m)	Comprimento (m)	tc Dooge (min)	tc Kirpich (min)	Tlag Dooge (min)	Tlag Kirpich (min)
B020	2,81	0,02	3115,34	63,16	43,90	37,90	26,34
B028	1,17	0,03	1866,96	41,89	26,35	25,14	15,81
B029	0,18	0,01	215,84	25,04	11,60	15,02	6,96
B040	0,81	0,03	1616,02	34,52	21,40	20,71	12,84
B041	0,76	0,02	1098,68	35,61	19,26	21,37	11,56

Outro fator alterado na análise foi o PRF - fator de pico "*Peak Rate Factor*", que indica a posição do pico de vazão no hidrograma unitário. O fator varia de 100 a 600 dentro do HMS. Este fator indica que quanto mais urbanizada e menor a capacidade de armazenamento superficial, maior é o fator de pico. Enquanto em bacias mais planas e rurais, com alta capacidade de absorção, menor será o fator de pico. Para ilustrar melhor as diferenças, a Figura 3 traz um gráfico de cada hidrograma unitário adimensional para os PRF's 100, 200, 300, 400, 500 e 600.

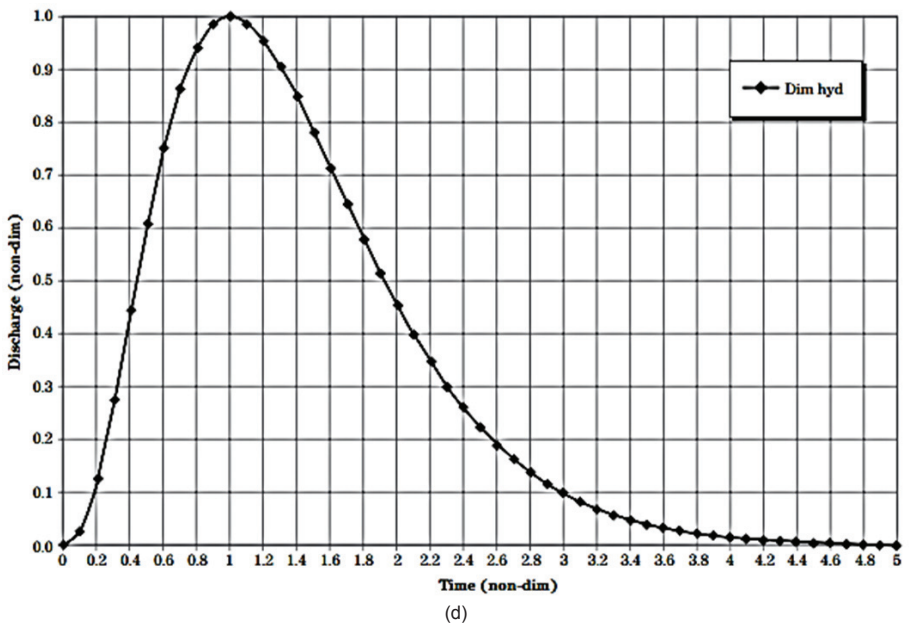
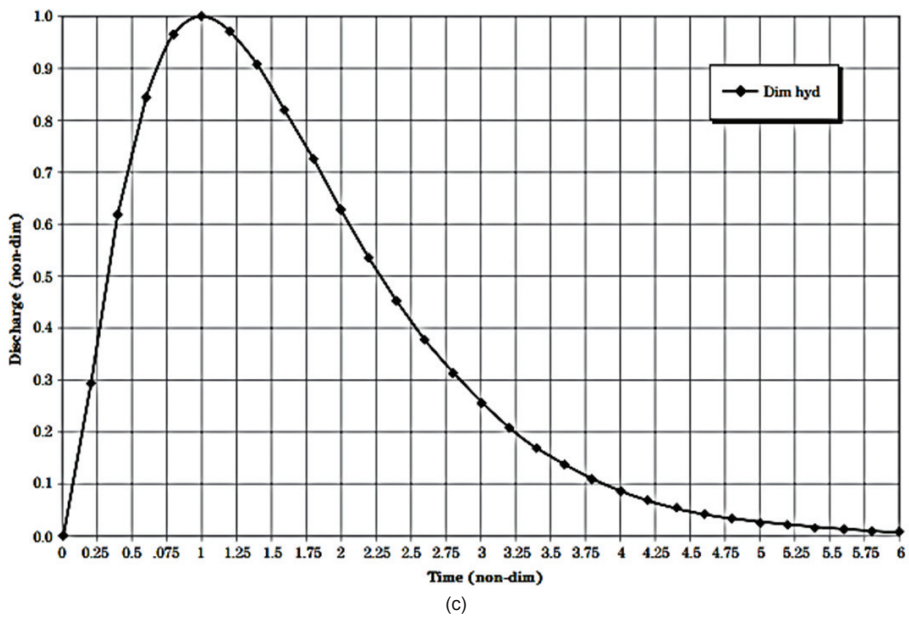
Figura 3 – Gráficos para diferentes fatores de pico: (a) PRF 100, (b) PRF 200, (c) PRF 300, (d) PRF 400, (e) PRF 500, (f) PRF 600.

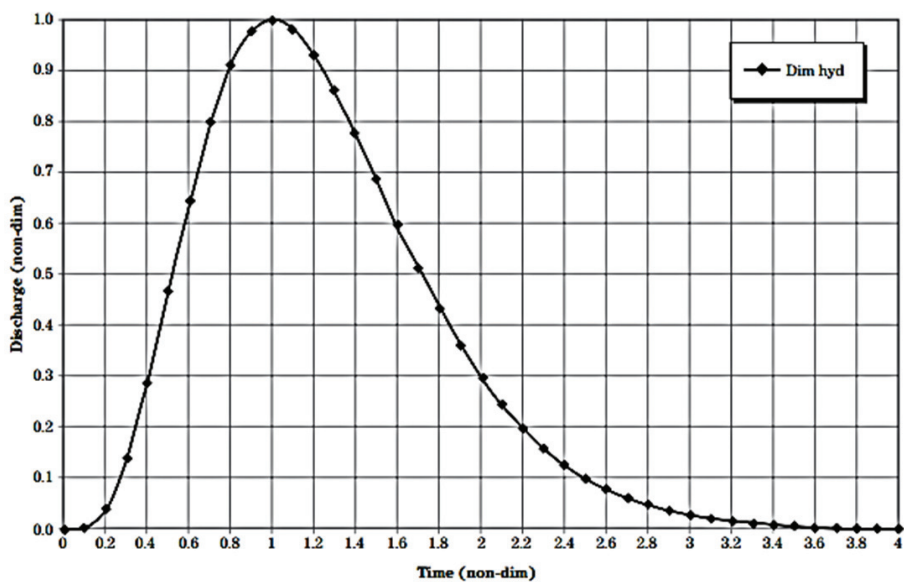


(a)

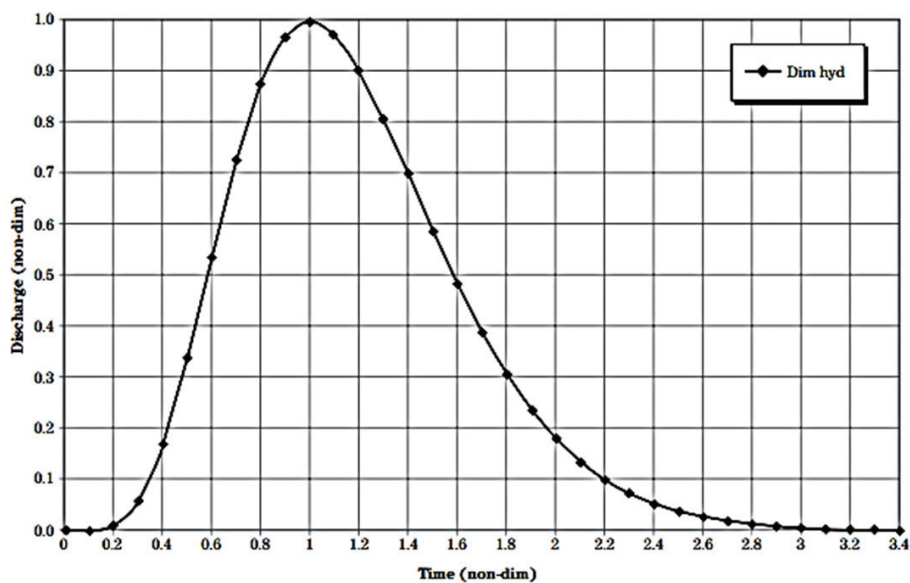


(b)





(e)



(f)

Fonte: U.S. Department of Agriculture – USDA, 2007.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os dados do estudo da Beck de Souza Engenharia (2016) a simulação foi gerada, resultando nos valores de vazão de pico, que indicam no hidrograma de fluxo *versus* tempo, a vazão máxima que o escoamento pode atingir considerando uma chuva de tempo de retorno (TR) de 5, 10, 25 e 50 anos, no cenário atual e futuro. Os valores resultantes estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das simulações.

Tempo de Retorno		Vazão de Pico (m³/s)		Tempo
TR 5 anos	Atual	148,6		14:02
	Futuro	298,8		13:03
TR 10 anos	Atual	243,0		13:44
	Futuro	403,9		12:59
TR 25 anos	Atual	395,3		13:30
	Futuro	564,1		12:57
TR 50 anos	Atual	539,6		13:22
	Futuro	716,6		12:56

Nota-se que as vazões de pico para os cenários atuais são menores e ocorrem em um tempo maior, e as vazões para o cenário futuro são mais críticas, apresentando valores mais elevados em tempos menores. O aumento do pico de vazão, considerando a mesma chuva e só alterando as características do solo de atual para futuro, indica que com o passar do tempo, o crescimento da cidade e consequentemente com o aumento da urbanização os problemas de inundação apenas se acentuarão.

A alternativa proposta pela empresa para a prefeitura para solucionar o problema de inundação, foi a implementação de bacias de retenção nas áreas mais propícias. O que no HMS significa colocar esses “reservatórios” em alguns trechos para que eles reservem a água, diminuindo o pico de vazão, retendo a água no momento crítico para as vazões e a devolvendo para a rede de forma lenta, permitindo que ela absorva esse volume.

No comparativo com as bacias B020, B028, B029, B040 e B041 os resultados do tempo de concentração de Kirpich e Dooge variam em uma média de 73%, o que mostra o quanto há diferenças entre os métodos, os valores resultantes estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparativo entre Kirpich e Dooge.

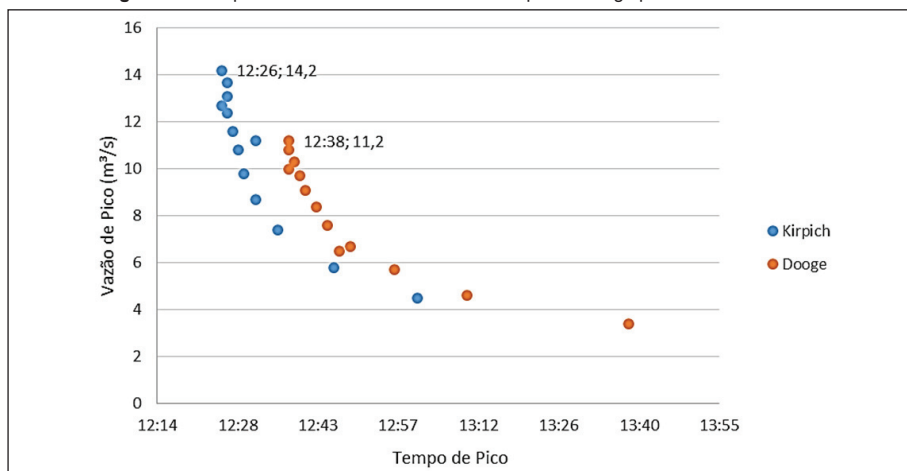
Bacias	Tempo de Concentração (min)		Lag Time (min)	
	Kirpich	Dooge	Kirpich	Dooge
B020	43,90	63,16	26,34	37,90
B028	26,35	41,89	15,81	25,14
B029	11,60	25,04	6,96	15,02
B040	21,40	34,52	12,84	20,71
B041	19,26	35,61	11,56	21,37

Os dados da Tabela 3 indicam que quanto maior o tempo de concentração, e consequentemente, maior tempo de retardo, menor o pico de descarga e maior o tempo para que ele ocorra. Com Kirpich o pico teve a maior vazão em menor tempo, tornando essa situação a mais crítica.

Outro fator que altera essa vazão e tempo de pico, é o fator da taxa de pico que indica o volume percentual de água antes do pico do hidrograma para o sistema, e cada taxa é indicada para representar um tipo de bacia. Apesar disso, poucos utilizam o fator correto, pois o *Standart* (PRF 484) é amplamente aceito nos estudos brasileiros.

Alternando entre as treze diferentes taxas de fator de pico (representadas pelos pontos em ordem decrescente) e comparando os valores de vazão para as duas metodologias de cálculo do tempo de concentração Kirpich (representado pela cor azul) e Dooge (representado pela cor laranja), considerando ainda uma mesma chuva de projeto, com um tempo de retorno de 5 anos, para o cenário atual da mesma bacia, resultou em hidrogramas com diferenças significativas no tempo e nas vazões de pico, que podem ser vistas no gráfico da Figura 4.

Figura 4 – Comparativo dos métodos de t_c entre Kirpich e Dooge para diferentes PRF's.



Conforme a Figura 4 ilustra, quanto mais plana e natural for a bacia (PRF mais baixo), maior será o tempo até atingir o pico de vazão máxima e menor será essa vazão, e quanto mais urbanizada com declividades altas (PRF mais alto), mais rápido atingirá o pico de vazão, com vazões mais altas.

Todos os PRF's tiveram uma variação média de 24% comparando Kirpich com Dooge, o mais discrepante foi utilizando o PRF 284 que teve uma variação de 42%. A diferença média entre os PRF's, considerando a ordem crescente, foi de 11%. Sendo

que a maior variável foi entre o PRF 100 e o 150, resultando em um valor de 29% para Kirpich e 35% para Dooge. Os valores podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparativo entre fatores de pico (PRF).

PRF	Kirpich		Dooge	
	Vazão de Pico (m³/s)	Tempo	Vazão de Pico (m³/s)	Tempo
PRF 100	4,5	13:01	3,4	13:39
PRF 150	5,8	12:46	4,6	13:10
PRF 200	7,4	12:36	5,7	12:57
PRF 250	8,7	12:32	6,7	12:49
PRF 284	11,2	12:32	6,5	12:47
PRF 300	9,8	12:30	7,6	12:45
PRF 350	10,8	12:29	8,4	12:43
PRF 400	11,6	12:28	9,1	12:41
PRF 450	12,4	12:27	9,7	12:40
PRF 484	12,7	12:26	10	12:38
PRF 500	13,1	12:27	10,3	12:39
PRF 550	13,7	12:27	10,8	12:38
PRF 600	14,2	12:26	11,2	12:38

CONCLUSÕES

A partir dos dados fundamentados no referencial teórico, pode-se adquirir um amplo conhecimento a cerca dos assuntos relacionados a água e ao ciclo hidrológico, a urbanização e seus efeitos, as alternativas para solucionar ou minimizar os problemas de drenagem urbana e a modelagem matemática com suas fórmulas empíricas que buscam representar matematicamente os processos envolvidos.

O presente trabalho buscou aplicar e explicar a metodologia de utilização do *software* de modelagem matemática hidrológica HEC-HMS, através de uma bacia real no município de Santa Rosa/RS, expondo os parâmetros necessários para gerar a simulação, bem como demonstrando de onde esses parâmetros são retirados e como o programa os manuseia.

Com isso pode-se perceber o quanto esses parâmetros são significantes para gerar um resultado adequado a área de estudo, o que os torna extremamente complexos. A limitação do programa se encontra justamente nestes parâmetros, o tornando inadequado para ser utilizado em bacias que não possuam informações reais que representem fielmente seu comportamento.

O HEC-HMS possui diversos manuais técnicos, exemplos e trabalhos acadêmicos que explicam suas funcionalidades, apesar disso, existe a dificuldade em utilizá-lo devido a alguns conceitos da hidrologia que não são bem interpretados. Para entender seu funcionamento, deve-se compreender como que o sistema hidrológico atua, para poder assimilar melhor seus parâmetros e poder identificar os erros antecipadamente.

O tempo de concentração de uma bacia deve ser uma resposta real do tempo que uma gota leva para chegar ao ponto do exutório, mas este fator depende de variáveis como: o tipo de bacia, sua inclinação, comprimento, formato, *etc.* Os métodos empíricos existentes foram criados décadas atrás, e no geral, em bacias de fora do Brasil e acabam por não representar adequadamente as bacias do país.

Por exemplo, Kirpich gerou tempo de concentração maiores que as de Dooge em cerca de 73%, e Dooge gerou vazões de pico em torno de 24% maiores que as de Kirpich utilizando a mesma precipitação de projeto e o mesmo coeficiente que relaciona o uso do solo, percentual de impermeabilização e densidade populacional, o que indica que qualquer parâmetro pode trazer grandes variações para os resultados.

Não existe uma definição certa de qual metodologia utilizar, o correto seria aproximar as características da bacia com aquelas que deram origem aos métodos. No Rio Grande do Sul, o padrão é utilizar o caderno de encargos do departamento de esgotos pluviais de Porto Alegre em praticamente qualquer região que não possua diretrizes próprias.

O caderno de encargos indica o método de Kirpich para o cálculo do tempo de concentração, alertando ainda que seja adotado o valor mínimo de 5 minutos. Kirpich, como visto anteriormente, não representa bem o comportamento de pequenas bacias, subestimando o t_c onde haja comprimentos maiores que 10.000 metros.

O ideal é pesquisar o método que mais se adéqua a bacia de estudo, para que não seja subestimado ou superestimado o pico de vazões.

Quanto a taxa de fator de pico, a literatura não traz uma classificação clara para cada PRF. Alguns estudos relacionam apenas faixas de abrangência. Cabe ao usuário identificar sua bacia e entender seu comportamento para que possa encaixá-la em uma faixa que a represente. Caso isso não seja feito, corre o risco de subestimar ou superestimar as vazões máximas, pois alterando de Kirpich para Dooge os valores variam cerca de 24%, alterando entre os valores de PRF o valor chega a 11% na média, o que não parece muito, mas quando visto separadamente, nota-se que a menor variável é de 2%, mas o maior vai a 29%.

Quanto mais próximo de um PRF que descreva uma bacia urbana, com muito escoamento superficial e quase nada de infiltração, maiores são as vazões. A menor vazão se dá em PRF que representa bacias naturais, com muita infiltração e pouco escoamento superficial, analisando uma mesma chuva de projeto e CN.

Com a finalização deste projeto, percebe-se o quanto empíricas são as previsões e análises do sistema hidrológico, e como seus parâmetros influenciam nos resultados. Visto que as soluções propostas a partir das análises realizadas têm o custo elevado para o poder público, e que geralmente são adotadas soluções mais viáveis em termos financeiros, o que nem sempre implica na melhor alternativa, quanto mais certa for a simulação, menor será a probabilidade de ocorrer falhas.

REFERÊNCIAS

BECK DE SOUZA ENGENHARIA. **Elaboração de estudo de concepção de manejo de águas pluviais e drenagem urbana no município de Santa Rosa – RS**. Santa Rosa, 2016.

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: Integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. Ouro Preto: **Revista Escola de Minas**, 07 dez. 2006. ISBN 1807-0353. Disponível em: <goo.gl/Zci7bF>. Acesso em: 03 nov. 16.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2008. **Anais eletrônicos**, ABRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2008. Disponível em: <goo.gl/7MkXwe>. Acesso em: 05 out. 2016.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Hidrologia de superfície: estimativa de vazões máximas**. Capítulo 9. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia, Minas Gerais, 2008. Disponível em: <https://goo.gl/n1GEzo>. Acesso em: 22 mai. 17.

TOMAZ, P. **Curso de manejo de águas pluviais**. Tempo de concentração. Capítulo 3. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://goo.gl/SGqAvi>. Acesso em: 22 mai. 17.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para discussão CEPAL-IPEA, 48).

_____. C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1998. 699 p.