



## SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA BIDIMENSIONAL DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE CARANGOLA

*Vinicius Bignoto da Rocha Cândido<sup>1</sup>; Thais Therezinha Rezende de Melo<sup>2</sup>; Celso Bandeira de Melo Ribeiro<sup>3</sup>; Ana Carolina da Silva Araújo<sup>4</sup>; George de Cassia Mendes<sup>5</sup>; Marcel Pereira de Andrade<sup>6</sup>; Luis Gustavo Abdo Gante<sup>7</sup>*

**RESUMO** – A simulação hidrodinâmica é valiosa para o estudo de eventos de inundação em ambientes urbanos, mas a qualidade dos dados de entrada e o modelo aplicado impactam no nível de detalhe, confiança e veracidade dos resultados. Apresenta-se estudo de caso para o município de Carangola - MG com dados secundários disponíveis gratuitamente, fazendo uso do *freeware* HEC-RAS 6.0 pelo modelo de ondas de difusão. Objetiva-se identificar a sensibilidade aos parâmetros de entrada (cotas e rugosidade do terreno) e estimar a vazão de restrição para a área urbana. Observou-se que as cotas do terreno conferem as maiores incertezas, pois há maior variação entre as fontes de dados, seguida pela representação da batimetria em pontos de maior complexidade, como trechos de curvaturas acentuadas, saltos e corredeiras. O coeficiente de rugosidade é a entrada de mais difícil obtenção, mas, como sua faixa de variação é reduzida, as incertezas podem ser compensadas por uma boa representação do relevo e procedimentos de calibração com distribuições espacialmente variadas. A resolução espacial utilizada não permitiu boa representação do escoamento na drenagem de cursos d'água de pequena ordem. A seleção dos dados secundários de melhor qualidade nas simulações preliminares permitiu estimar a vazão de restrição com confiança satisfatória.

**ABSTRACT** – *Models for hydrodynamic simulation are valuable to the study of flood events in urban environments, but the quality of the input data and the applied model have significant impact over the detail, reliability and veracity of the results. A case study is presented for the municipality of Carangola – MG, employing freely available secondary data and HEC-RAS 6.0 with the diffusion wave model. It aims to identify the sensitivity to the main input data (terrain elevation and roughness) and to estimate the restriction flow for the urban area. It was observed that the elevations of the terrain are the main source of uncertainties, as there is greater variation between the data sources, followed by the bathymetry at points of greater complexity, such as sharp curves, falls and rapids. The roughness coefficient is the most elusive input, but, since the range of values are lower, the uncertainties can be compensated by a good representation of the relief and calibration procedures with spatially varied distributions. The spatial resolution of the data did not allow a good representation of the runoff in the drainage of small watercourses. The selection of the best quality data allowed the definition of the restriction flow with satisfactory confidence.*

1) Mestrando PEC/UFJF, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, 36036-900, (32)2102-3419 (R.210), [vinicius.bignoto@engenharia.ufjf.br](mailto:vinicius.bignoto@engenharia.ufjf.br)  
2) Graduanda em Eng. Civil, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, 36036-900, (32)2102-3419 (R.210), [thais.melo@engenharia.ufjf.br](mailto:thais.melo@engenharia.ufjf.br)  
3) Professor, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, Martelos - Campus UFJF, 36036-900, (32)2102-3419 (R.210), [celso.bandeira@ufjf.edu.br](mailto:celso.bandeira@ufjf.edu.br)  
4) Graduanda em Eng. Civil, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, 36036-900, (32)2102-3419 (R.210), [ana.araujo@engenharia.ufjf.br](mailto:ana.araujo@engenharia.ufjf.br)  
5) Graduando em Eng. Sanit. e Ambiental, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, 36036-900, (32)2102-3419 (R.210), [george.mendes@engenharia.ufjf.br](mailto:george.mendes@engenharia.ufjf.br)  
6) Mestrando PEC/UFJF, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, 36036-900, (32)2102-3419 (R.210), [marcel.andrade@engenharia.ufjf.br](mailto:marcel.andrade@engenharia.ufjf.br)  
7) Engenheiro, Prefeitura de Carangola, Praça Cel. Maximiano, 88 - Centro, Carangola - MG, 36800-000, (32)99965-7509, [luisgabdo@gmail.com](mailto:luisgabdo@gmail.com)



**Palavras-Chave** – HEC-RAS, simulação hidrodinâmica, equação de onda de difusão.

## INTRODUÇÃO

Os modelos hidrodinâmicos distribuídos descrevem a dinâmica de escoamento da água nos canais e planícies de inundação através da solução numérica de equações matemáticas, como as Equações de Saint-Venant. Essas aplicam os princípios da conservação da massa e do momento e são obtidas pela integração das equações de Navier-Stokes na profundidade, considerando que a escala do comprimento longitudinal é muito superior à do comprimento vertical do sistema (FLETCHER, 2017). Os modelos bidimensionais são recomendados para mapeamento de planícies de inundação largas, heterogêneas e anisotrópicas; reservatórios; áreas de vertimento de diques; baías e estuários; rios entrelaçados; curvas e meandros abruptos; e em torno de obstáculos (USACE, 2016). Em um ambiente urbano de rio natural, Dhungel, Barber e Mahler (2019) identificaram que o modelo 1D não tem apresentado bons resultados em regiões de meandros e que o modelo 2D pode produzir resultados superiores quando há maiores variações temporais em regime transiente. As etapas iniciais de preparação e parametrização dos modelos bidimensionais de mapeamento de inundações, em geral, são constituídas pela geometria da planície e do canal; coeficientes de rugosidade (que podem ser extrapolados do mapa de uso e cobertura do solo); hidrogramas de escoamento em regime variável; a distribuição temporal e espacial da precipitação sobre a malha; e níveis de água iniciais (SHARMA & REGONDA, 2021; JAFARZADEGAN et al., 2021).

A equação de onda de difusão (Diffusion Wave) consiste em uma simplificação das Equações de Saint-Venant, considerando que a aceleração inercial é menor que as outras formas de aceleração, como ocorre no regime fluvial ou subcrítico ( $Fr < 1$ ). Considera-se que o atrito do leito é igual ao gradiente de pressão, e que a inclinação da superfície da água é igual à declividade de atrito, desprezando os termos de aceleração local e turbulência. Sua formulação matemática em duas dimensões ocorre conforme a equação 1, em que “h” representa a profundidade da água, “t” representa o tempo, “x” e “y” os eixos longitudinal e transversal, “z” a cota do nível d’água, “e” as fontes e sumidouros e “k” um fator calculado conforme a equação 2, em que “c” é um fator de conversão, “n” o coeficiente de rugosidade de Manning e “||v||” o módulo da velocidade de escoamento (Savant et al., 2019). Como só tem uma variável desconhecida (“h”), o procedimento de cálculo é bem mais célere (Savant et al., 2019), podendo ser empregado em simulações preliminares de rios e planícies de inundação, para uma primeira estimativa da extensão de inundações e realização



de calibrações iniciais, ou quando as incertezas dos dados de entrada superar as incertezas do modelo, além de representar bem as condições observadas em sistemas como reservatórios.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hk\frac{\partial z}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial(hk\frac{\partial z}{\partial y})}{\partial y} = e \quad (1)$$

$$k = \frac{c^2 h^{4/3}}{n^2 \|v\|} \quad (2)$$

Dessa forma, apresenta-se estudo de caso desenvolvido no município de Carangola – MG, para o qual se aplicou modelo baseado nas equações de onda de difusão buscando identificar o comportamento hidrodinâmico das cheias. Objetiva-se verificar a aplicabilidade do modelo de ondas de difusão para o mapeamento de planícies de inundação através de dados secundários, com objetivos específicos de identificar a sensibilidade do modelo aos parâmetros de entrada (cotas e rugosidade do terreno) e estimar a vazão de restrição para as inundações urbanas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Áreas de estudo

O município de Carangola está localizado próximo à divisa dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, na região Leste de Minas Gerais, mesorregião da Zona da Mata Mineira. Conforme o último censo, tem uma população estimada de 33.022 pessoas e uma área total de 353.404 km<sup>2</sup>. O principal curso d'água da sua macrodrenagem é o rio Carangola, afluente da margem esquerda do rio Muriaé e seu maior tributário, na bacia do Rio Paraíba do Sul. A cidade se desenvolveu no vale deste rio, ocupando sua planície de inundação. A microbacia possui histórico de eventos de inundações recorrentes em diferentes cidades e conta com um sistema de alerta SACE (CPRM, 2021).

Para a simulação hidrodinâmica, adotou-se a área de estudo formada pela zona urbana do município de Carangola, nos distritos sede e de Lacerdinha, drenados pelo rio Carangola e seu afluente local, o córrego Papagaio. Buscou-se simular eventos de cheia com diferentes vazões de pico, assim como o maior evento já registrado, em 19/02/2021.

### Modelagem hidrodinâmica e preparação do modelo

As simulações hidrodinâmicas fizeram uso do *freeware* HEC-RAS 6.0, por meio do solucionador numérico da matriz de volumes finitos Pardiso (direto) das equações de onda difusa em duas dimensões.



A partir das cartas de relevo e hidrografia do IBGE e imagens do *Google Maps*, foi delimitada a planície máxima possível de inundação do rio Carangola e do córrego Papagaio, então discretizada em uma malha quadrangular de 5 m de lado. Para representação dos dados de terreno da planície de inundação, foram utilizados diferentes modelos digitais de elevação (ALOS/PALSAR (NASA / JAXA), ASTER V3 (NASA / METI), SRTM (NASA) e ALOS3DWORLD (JAXA)), sobre os quais foi realizada a construção da calha dos cursos d'água a partir de imagem matricial gerada pela interpolação de quatro seções batimétricas conhecidas (levantamento realizado pela empresa ENGEORPS em 2012 no projeto “Elaboração de Estudos para Concepção de um Sistema de Previsão de Eventos Críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul e de um Sistema de Intervenções Estruturais para Mitigação dos Efeitos de Cheias nas Bacias dos Rios Muriaé e Pomba e Investigações de Campo Correlatas”). Também se elaborou mapas de uso e cobertura do solo simplificados para determinação do coeficiente de rugosidade, mediante análise visual das imagens de satélite do *Google Maps*, com as classes: canal, área urbana densa e área aberta com mistura de construção, gramíneas e solo, não havendo florestas na planície. O tempo computacional foi controlado para atender a condição de Courant–Friedrichs–Lewy (CFL); como se trata de um método implícito, o número de Courant pode superar à unidade, com limite superior em 5,0 (USACE, 2016).

### Cenários de simulação

Inicialmente, foram realizadas quatro simulações do modelo bidimensional para teste do MDE que melhor se ajustaria às condições observadas (ALOS/PALSAR, ALOS3DWORLD, ASTER e SRTM), sendo considerados os coeficientes de rugosidade para as classes de uso do solo: área urbana com médio a alto desenvolvimento ( $n = 0,125$ ), área aberta com mistura de construção, gramíneas e solo ( $n = 0,075$ ) e canal natural do Rio Carangola ( $n = 0,05$ ).

Em seguida, foi realizada análise de sensibilidade em modelo unidimensional (pelas equações de onda de difusão) para o parâmetro coeficiente de rugosidade. Adotou-se valores entre 0,04 e 0,14 no canal, e de 0,08 a 0,24 na planície de inundação, de acordo com valores reportados na literatura. Também se realizou simulações com a estimativa do coeficiente pelo método de Cowan (1956) no canal e valores típicos por cobertura do solo na planície de inundação.

O terceiro grupo de simulações ocorreu com a inclusão do curso tributário. Para isso, foi realizada a simulação do hidrograma do evento máximo de cheia para esse tributário pelo *freeware* HEC-HMS. Sendo simulados seis cenários: atual, com barragem de amortecimento e com



amortecimento e retificação, com e sem influência da cheia no rio Carangola (vazão do evento de cheia e vazão médio de longo termo).

Também, se buscou estimar a vazão de restrição (Peplau & Neves, 2014) no rio Carangola, definida como aquela que não gere inundações nos pontos sensíveis e não provoque remanso na foz do córrego Papagaio. Fazendo uso do MDE com os melhores resultados e do coeficiente de rugosidade calibrado, foram geradas simulações hidrodinâmicas com diferentes vazões de pico.

Os hidrogramas foram obtidos da estação fluviométrica com telemetria de código 58929000 (PCH Jusante), com intervalo de 15 minutos, em especial para o evento de vazão máxima observada, ocorrido em 19/02/2021. Alguns hidrogramas foram construídos com a alteração da vazão de pico desse evento para um valor desejado, com conseqüente redução dos demais valores na mesma proporção, para que se obtenha a mesma geometria da curva (mesmos tempos de pico, recessão e concentração).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Simulação com diferentes modelos digitais de elevação

Os resultados das simulações preliminares com quatro diferentes modelos digitais de elevação são apresentados na Tabela 1, em que se compara as áreas de inundação resultantes na planície.

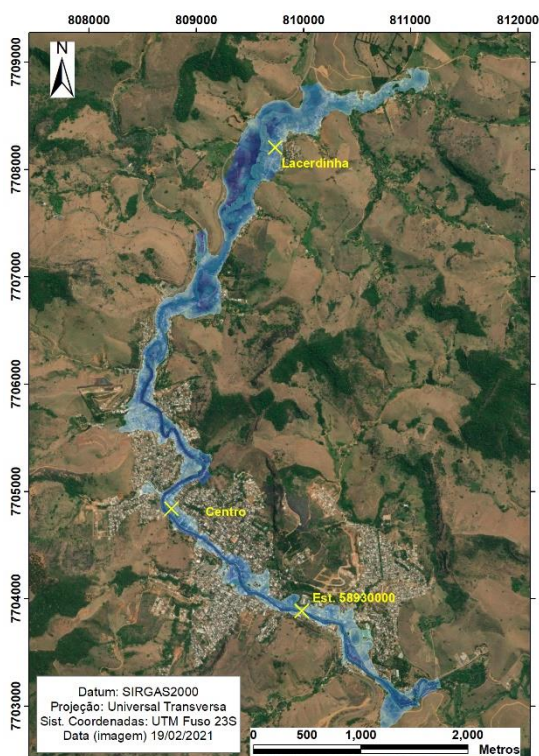
Tabela 1– Áreas de inundação na vazão máxima de 19/12/2011, para diferentes modelos digitais de elevação.

Modelo	Resolução Espacial	Área inundada (ha)
(A) ALOS/PALSAR	12,5 m	43,609
(B) ASTER	30 m	35,473
(C) SRTM	30 m	9,504
(D) ALOS3DWorld	30 m	14,664

\*Intervalo computacional “ $\Delta t$ ” dado pela condição  $1,0 < Cr < 5,0$ . Coeficiente de rugosidade (n) conforme distribuição de cobertura do solo da Figura 6-C: 0,05 no canal natural do rio; 0,125 na área mais densamente urbanizada; e 0,075 em área aberta menos urbanizada.

Os resultados para o MDE (A) (ALOS/PALSAR) foi aquele que mais se aproximou da área alagada durante o evento simulado (figura 1), conforme as informações reportadas pela população local e marcas de inundação, embora as profundidades obtidas em muitos pontos tenham valores exagerados (de dois a três metros acima do reportado) pelas irregularidades do modelo. As maiores inundações foram obtidas com os MDE (A) e (B), tanto em área de inundação quanto nas profundidades resultantes, com uma diferença relativa de 18,7%. A diferença foi bem maior em relação aos MDE (C) e (D), com áreas inundadas até 78,2% menores que aquelas simuladas pelo

modelo (A), e bem diferente da situação constatada. Portanto, os modelos SRTM e ALOS3DWORLD não apresentam representação hidraulicamente consistente do terreno na área de estudo, não sendo aplicáveis para estudos hidrodinâmicos ali desenvolvidos.



A resolução espacial contribui para a qualidade dos resultados, já que *pixels* menores permitem maior detalhe na representação do terreno. Entretanto, ela não foi o parâmetro responsável pela diferença observada, já que o modelo ASTER V3 aproximou-se bem dos limites detectados, mesmo com *pixels* de 30m.

A interpolação da batimetria gerou inconsistências em áreas de feições complexas, como curvaturas mais acentuadas. O modelo de ondas difusivas, contudo, foi consistente quanto a orientação e magnitude dos vetores de velocidades, embora a validação dependa de estudos adicionais com dados primários.

Figura 1 – Alcance simulado para a inundação do evento de 19/02/2021.

### **Análise de sensibilidade e calibração preliminar do coeficiente de rugosidade**

Os resultados da análise de sensibilidade ao parâmetro “n” podem ser observados na tabela 2 e na Figura 1-A, que apresenta cotograma comparando os valores gerados pelo modelo HEC-RAS 1D com aqueles observados na estação telemétrica 58930000 (Carangola), para diferentes combinações do número de Manning “n”, no trecho do rio em estudo.

Coefficientes de rugosidade mais altos no canal resultaram em maiores manchas de inundação, já que o escoamento é mais lento, com maior dissipação de energia e menor vazão transmitida na calha regular. Ficou evidenciado que a redução da rugosidade na calha natural do rio pode contribuir para mitigar os problemas de inundação urbana neste município, mas essa medida pode trazer impactos ambientais negativos indesejados.

Tabela 2– Detalhe dos dados hidráulicos em cada simulação, no tempo de pico (Q: vazão; V: velocidade; canal, esquerda e direita: valores para o canal regular e planícies de inundação).

Cenário	Elevação máxima (m)	Qesquerda (m <sup>3</sup> /s)	Qcanal (m <sup>3</sup> /s)	Qdireita (m <sup>3</sup> /s)	Largura da inundação (m)	Vesquerda (m/s)	Vcentro (m/s)	Vdireita (m/s)
0,18_0,09_0,18	9,46	60,60	569,50	38,23	143,06	0,62	3,58	0,70
0,18_0,12_0,18	10,18	125,47	470,04	72,28	150,92	0,79	2,71	0,86
0,20_0,14_0,20	10,61	145,40	429,36	84,57	171,37	0,72	2,36	0,82
Cowan	9,38	48,71	571,0	38,84	118,91	0,53	3,63	0,75
Estação 58930000	6,45		341,45					

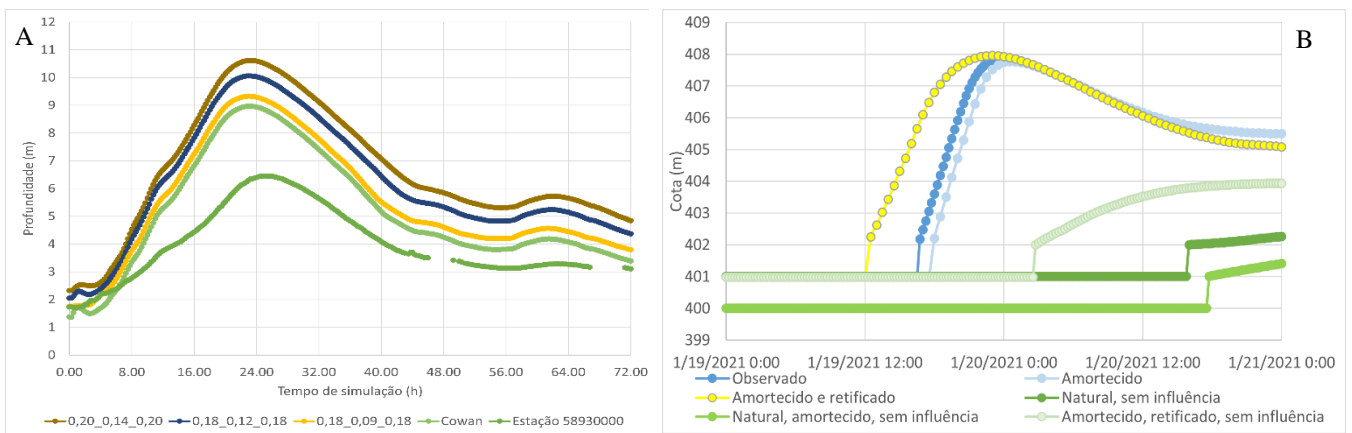


Figura 2 – Resumo dos resultados. A) Cotagrama comparativo de cada simulação com aquela da estação de referência (58930000), no mesmo ponto; B) Gráfico das cotas de inundação em um ponto na área urbana em Lacerdinha, para diferentes cenários (400 m corresponde ao nível natural do terreno, sem inundação).

Os três cenários de melhor ajuste apresentaram inundação na planície acima da cota de 400 m, que corresponde ao nível de alerta para inundações no município. A distribuição estimada pelo método de Cowan foi a que mais se aproximou das condições observadas, em relação ao nível d'água no canal; uma distribuição heterogênea dos valores do coeficiente de rugosidade pode melhorar a acurácia do modelo por representar melhor as condições reais, mas é de mais difícil calibração. Nota-se, contudo, que a vazão no canal em qualquer cenário é bem superior à medida na estação de monitoramento utilizada para validação dos dados e com flutuação irregular em relação à variação da profundidade inundada, indicando que a profundidade é o parâmetro mais adequado para validação dos dados, evitando também incertezas associadas à curva-chave da estação de monitoramento, já que se trata de leitura direta. Além disso, as diferenças entre os valores mínimo e máximo de profundidade é de pequena magnitude (diferença de 12% com uma elevação de 55% no coeficiente de rugosidade no canal), o que pode indicar que a incerteza se concentra principalmente na representação do relevo e da batimetria, sendo corroborado pelas maiores diferenças relativas observadas ao se comparar diferentes modelos de elevação do terreno de levantamentos mais



grosseiros. Assim, as incertezas associadas ao coeficiente de rugosidade podem ser compensadas por uma representação fidedigna da morfologia do terreno.

### **Simulação de inundações em curso d'água tributário**

Nas inundações às margens do rio Carangola, não foi observada diferença significativa originada do acréscimo de vazões do córrego Papagaio para nenhum dos casos, em comparação aos resultados das simulações anteriores, de modo que sua contribuição é pouco significativa a jusante de sua foz. Em sentido oposto, nota-se diferença significativa nas inundações sobre as margens do córrego Papagaio nos cenários com e sem influência dos eventos extremos no rio Carangola. Desse modo, pode-se entender que o regime neste rio está relacionado também ao regime de enchentes no córrego Papagaio, uma vez que a região de sua foz é formada por planície de relevo muito suave e os níveis d'água elevados na foz causam remanso, com grande perda de energia. A aceleração do escoamento pela retificação do córrego produziu os piores resultados, em relação ao tempo e duração da passagem do pico, já que não há boa capacidade de escoamento a jusante. Desse modo, a solução dos problemas de escoamento no distrito de Lacerdinha estão condicionados à melhoria do escoamento no curso principal.

Os erros e incertezas com os dados secundários da representação do terreno impediram a utilização do modelo hidrodinâmico pela equação de ondas de difusão para representar o escoamento na microbacia de um curso d'água de pequenas dimensões, com largura muito inferior às dimensões do *pixel* do MDE e com pequenas profundidades da calha regular.

### **Estimativa da vazão de restrição e simulação da vazão amortecida**

A Figura 3 apresenta cotograma gerado em ponto representativo amostrado no centro do município. Observa-se que, ao se considerar o cenário mais restritivo, isto é, nenhum transbordamento da calha, a vazão de restrição seria inferior a 50 m<sup>3</sup>/s, mesmo essas vazões provocaram o transbordamento da calha em alguns pontos. Entretanto, a vazão de 100 m<sup>3</sup>/s apresenta resultados razoáveis como meta dos projetos de mitigação para cheias severas, já que não produz inundações em pontos sensíveis ou resulta em profundidades de inundação inferiores a 0,6 m, baixas velocidades e de rápida recessão. Essa vazão é compatível com as maiores vazões observadas na estação de monitoramento nos dias sem inundação na área urbana, portanto as incertezas nos dados secundários e grosseiros de relevo, batimetria e rugosidade não dificultaram a estimativa da vazão de restrição. A



principal importância desse cálculo é que essa vazão pode subsidiar a definição de medidas mitigatórias para as inundações na área urbana.

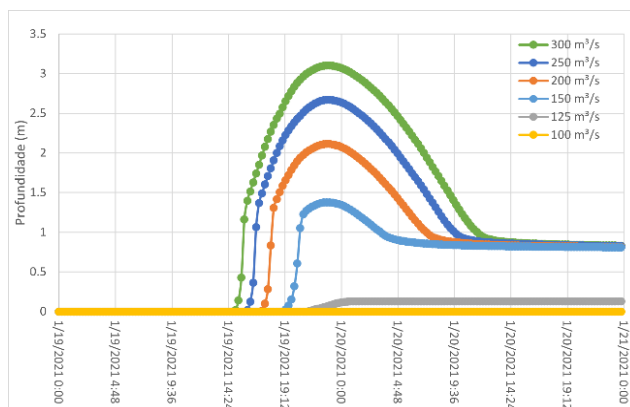


Figura 3 - Cotograma gerado em ponto no centro do município, para cheias com diferentes vazões no Rio Carangola.

## CONCLUSÃO

A qualidade dos dados de entrada em qualquer modelo hidráulico impacta diretamente no nível de detalhe, confiança e veracidade dos resultados obtidos. Nas simulações hidrodinâmicas de cheias e inundações, o relevo (junto à batimetria) e a rugosidade do terreno são as principais fontes de incerteza, assim como as vazões transmitidas. Neste estudo de caso com dados secundários, de resolução espacial grosseira e não validados, observou-se que as cotas do terreno produzem as maiores incertezas, por ter maior variação entre as fontes de dados. Em seguida, percebe-se que a representação da batimetria traz incertezas em pontos de maior complexidade, como trechos de curvaturas acentuadas, saltos e corredeiras. O coeficiente de rugosidade é o parâmetro de entrada de mais difícil obtenção, mas, como sua faixa de variação é reduzida, as incertezas podem ser compensadas por uma boa representação do relevo e procedimentos de calibração com distribuições espacialmente variadas. A resolução espacial utilizada (12,5 m a 30 m) não permitiu boa representação do escoamento na drenagem de cursos d'água de pequena ordem; as vazões do curso principal, de algumas ordens de grandeza superiores, também dificultam essa representação. A seleção dos dados secundários de melhor qualidade nas simulações preliminares permitiu estimar com boa acurácia a vazão máxima que não produz inundação na área urbana.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. SACE: Sistema de Alerta de Eventos Críticos. Link: <http://www.cprm.gov.br/sace/>. Acesso em novembro de 2021.



FLETCHER, Steven J. Subcomponents of Variational Data Assimilation. *Data Assimilation for the Geosciences*, p. 705–751, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128044445000179>>. Acesso em: 26 Nov. 2021.

DHUNGEL, S.; BARBER, M. E. ; MAHLER, R. L. Comparison of one- and two-dimensional flood modeling in urban environments. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, v. 14, n. 04, p. 356–366, 2019. Disponível em: <<https://www.witpress.com/elibrary/sdp-volumes/14/4/2519>>. Acesso em: 26 Nov. 2021.

JAFARZADEGAN, Keighobad; ALIPOUR, Atieh; GAVAHI, Keyhan; et al. Toward improved river boundary conditioning for simulation of extreme floods. *Advances in Water Resources*, v. 158, p. 104059, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309170821002128>>. Acesso em: 9 Feb. 2022.

PEPLAU, Gustavo José Rocha.; NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das. Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19 n.4, p. 97-106. ABRH, 2014.

SAVANT, Gaurav; TRAHAN, Corey J.; PETTEY, Lucas; et al. Urban and overland flow modeling with dynamic adaptive mesh and implicit diffusive wave equation solver. *Journal of Hydrology*, v. 573, p. 13–30, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169419302902>>. Acesso em: 10 Feb. 2022.

SHARMA, Vimal Chandra ; REGONDA, Satish Kumar, Two-Dimensional Flood Inundation Modeling in the Godavari River Basin, India—Insights on Model Output Uncertainty, *Water*, v. 13, n. 2, p. 191, 2021.

U. S. ARMY CORPS ON ENGINEERS. HEC-RAS RIVER ANALYSIS SYSTEM: 2D Modeling User’s Manual. Versão 5.0. Washington D. C., 2016.

## AGRADECIMENTOS

À Prefeitura Municipal de Carangola e seu corpo técnico pela confiança, comprometimento e solicitude para a realização desse estudo de grande interesse social.