

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

IMPACTO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DE DADOS TOPOGRÁFICOS NA SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA COM HEC-RAS: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE PIRANGA–MG

Clivia Dias Coelho¹ & Rafaelly Teixeira Oliveira²

Abstract: This study aimed to assess the impact of topographic data spatial resolution on two-dimensional hydrodynamic flood modeling using the HEC-RAS software. The research focused on the urban area of Piranga (MG), a municipality with a recurring history of flood events. Simulations were conducted using Digital Elevation Models (DEMs) of high (0.5 m) and moderate (10 m) spatial resolution, for return periods of 10 and 50 years. Results indicated that higher-resolution DEMs produced more detailed flood extents and better alignment with local topography, whereas 10 m DEMs yielded broader inundation areas and overestimated average flood depths. The overlay analysis showed over 64% spatial agreement between simulations, suggesting general consistency but notable local differences. The findings highlight the critical role of DEM resolution in ensuring reliable flood modeling outcomes, particularly in urban areas with complex terrain.

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da resolução espacial de dados topográficos na modelagem hidrodinâmica bidimensional de inundações urbanas, utilizando o software HEC-RAS. O estudo foi conduzido na área urbanizada do município de Piranga (MG), uma região com histórico recorrente de eventos de inundação. Foram comparadas simulações realizadas com Modelos Digitais de Elevação (MDE) de alta resolução (0,5 m) e moderada resolução (10 m), para períodos de retorno de 10 e 50 anos. Os resultados mostraram que o MDE de maior resolução proporcionou manchas de inundação mais detalhadas e com melhor adequação às características topográficas locais, enquanto o MDE de 10 m resultou em áreas inundadas mais extensas e profundidades médias superestimadas. A análise de sobreposição entre as manchas revelou coincidência superior a 64%, indicando consistência geral entre os modelos, mas com diferenças relevantes em escala local. Os achados evidenciam a importância da escolha adequada da resolução topográfica para simulações mais precisas, especialmente em áreas urbanas com relevo complexo.

Palavras-Chave – Modelagem hidrodinâmica; Inundações urbanas; Resolução espacial.

INTRODUÇÃO

As inundações são uma parte natural do ciclo hidrológico. No entanto, figuram entre os desastres naturais mais destrutivos, com potencial para causar fatalidades, ferimentos, deslocamento de populações e danos significativos a infraestruturas, patrimônios culturais e ambientais, além de impactos econômicos severos (Credundrr, 2020). Nos ambientes urbanos, esses efeitos são frequentemente agravados por ações antrópicas, como a impermeabilização do solo, que reduz a capacidade de retenção das bacias hidrográficas e intensifica o risco de alagamentos (Reis e Schmidt, 2017).

1) Universidade Federal de São João Del-Rei, Rod. MG 443, Km 7 - Fazenda do Cadete, Ouro Branco, MG 36495-000, clivia.coelho@ufsj.edu.br
2) Universidade Federal de São João Del-Rei, Rod. MG 443, Km 7 - Fazenda do Cadete, Ouro Branco, MG 36495-000, rafa.civilufsj@gmail.com

O mapeamento de áreas inundáveis é uma ferramenta fundamental para o planejamento urbano e ambiental, permitindo o zoneamento das planícies de inundação e a delimitação de áreas de risco. Tais mapas podem ser elaborados com base em cotas históricas de cheia ou em cheias de projeto associadas a diferentes tempos de retorno. A partir dessas informações, é possível estabelecer zonas de restrição à ocupação ou faixas de passagem da cheia, contribuindo para a gestão adequada do território (Larentis et al., 2020).

Diversos modelos numéricos têm sido desenvolvidos para a simulação de inundações em diferentes dimensões — 1D, 2D, 1D/2D acoplados e 3D —, com destaque para os modelos bidimensionais (2D) no contexto urbano. Esses modelos são considerados mais eficazes na representação de escoamentos laterais instáveis e na simulação da dinâmica de cheias em áreas com relevo complexo e elevada ocupação (Merwade et al., 2008; Pinos e Timbe, 2019).

A qualidade dos dados de entrada utilizados nesses modelos, especialmente os topográficos e de rugosidade da superfície, é um fator determinante para a confiabilidade das simulações. Os modelos 2D são particularmente sensíveis à resolução do Modelo Digital de Elevação (MDE) e ao mapa de uso do solo, os quais influenciam diretamente o comportamento do fluxo simulado (Merwade et al., 2008). Com a crescente disponibilidade de MDEs e o avanço das capacidades computacionais, a modelagem bidimensional de cheias tem se tornado uma prática amplamente difundida, sobretudo em ambientes urbanos, nos quais a heterogeneidade do terreno exige maior detalhamento (Muthusamy et al., 2021).

Nesse contexto, a resolução espacial dos MDEs passou a ser objeto de investigação, especialmente na hidrologia urbana. Estudos recentes destacam que, embora MDEs de alta resolução tendam a gerar simulações mais precisas, sua obtenção envolve desafios técnicos e financeiros, particularmente em áreas extensas ou em países em desenvolvimento (Azizian e Brocca, 2020; Brandt, 2016). Assim, a definição de uma resolução “ideal” — que equilibre qualidade e viabilidade computacional — depende das características da bacia hidrográfica e do tipo de evento de cheia considerado (Muthusamy et al., 2021).

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da resolução espacial dos dados topográficos na simulação da extensão e da profundidade de inundações em uma planície urbana, utilizando o modelo hidrodinâmico bidimensional do software HEC-RAS. O estudo de caso foi realizado na área urbanizada do município de Piranga (MG), que apresenta histórico de eventos de inundação e características geomorfológicas e urbanas propícias à ocorrência desses eventos.

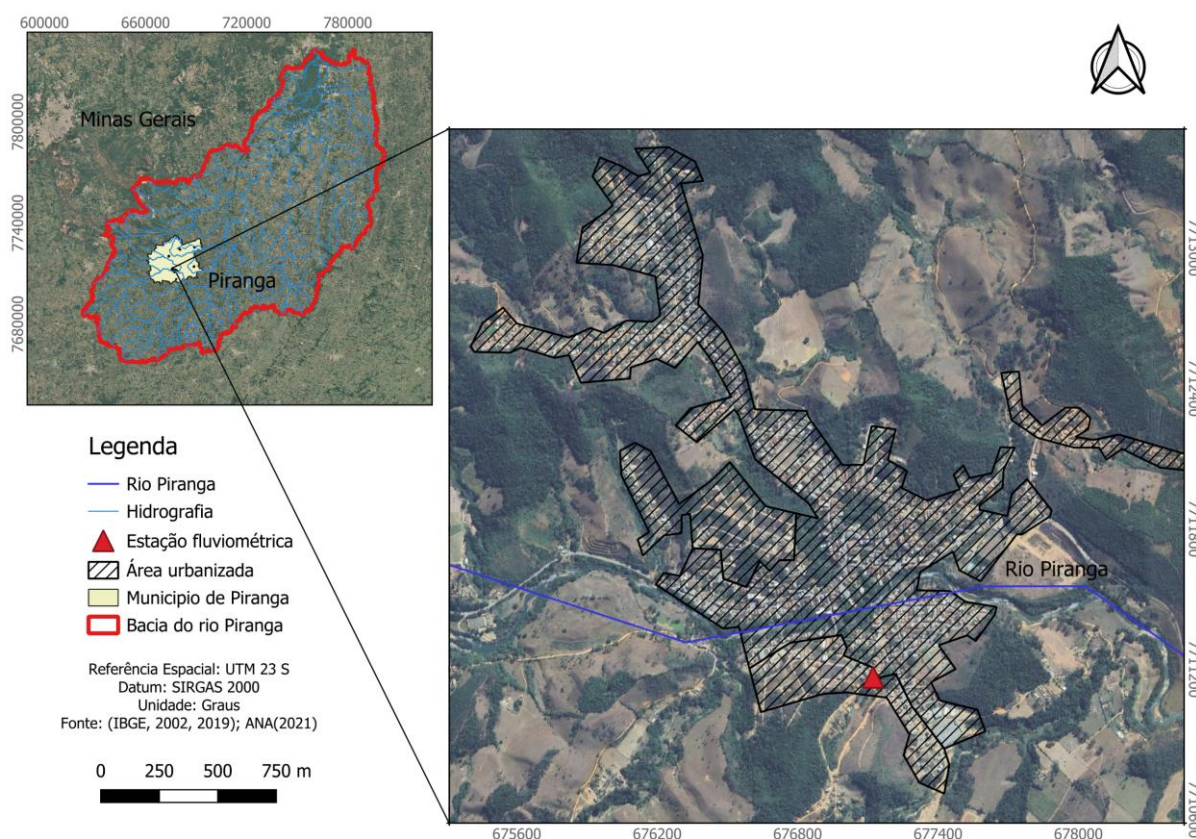
METODOLOGIA

Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho corresponde à região urbanizada do município de Piranga (MG) (Figura 1), que conta com uma população estimada em 17.018 habitantes (IBGE, 2022) e está localizada a 167,7 km da capital mineira, Belo Horizonte. O município situa-se na bacia do rio Doce, mais especificamente na sub-bacia do rio Piranga, que o atravessa e dá nome à localidade. Inserido na Zona da Mata mineira, dentro do bioma predominante da Mata Atlântica, Piranga apresenta clima tropical típico do Brasil Central, com temperaturas amenas que giram em torno de 18°C (IBGE, 2002; 2019). O clima local caracteriza-se por duas estações bem definidas: uma seca, de abril a setembro, e outra úmida, de outubro a março (Profeta, 2014).

Nas últimas duas décadas, o município de Piranga tem enfrentado eventos recorrentes de inundação, fortemente relacionados ao desmatamento das vertentes das encostas, atualmente desprotegidas e recobertas apenas por pastagens. Essa situação faz com que o comportamento do rio Piranga se assemelhe ao de um rio urbano. Além disso, o crescimento populacional às margens do rio reduz a capacidade de prevenção diante de eventos intensos e episódicos, configurando um cenário vulnerável a extremos hidrológicos com impactos sociais e ambientais significativos (Nascimento, 2010).

Figura 1 - Área de estudo: Município de Piranga (MG)



Dados de Vazão

As vazões utilizadas foram obtidas a partir da série histórica da Estação Fluvimétrica de Piranga (código 56028000), com dados diários entre 1938 e 2021, disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Foram estimadas as vazões máximas associadas a períodos de retorno (TR) de 10 e 50 anos, por meio de ajuste de distribuições estatísticas (Gumbel, Log-Normal II e III, Pearson III e Log-Pearson III), com base no menor erro padrão de estimativa. O processamento foi realizado no software Hydrology Plus, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Ambientais (GPRHidro). A Tabela 1 apresenta os valores obtidos de vazão para cada período de retorno.

Tabela 1 – Vazões máximas de projeto para períodos de retorno de 10 e 50 anos

TR	Distribuição estatística	Vazão (m³/s)
10 anos	Gumbel	217
50 anos	Gumbel	294

Dados Topográficos

Foram utilizados dois Modelos Digitais de Elevação (MDEs) com diferentes resoluções para avaliar seu impacto na simulação de inundações. O MDE de alta resolução (0,5 m) foi gerado a partir de imagens WorldView-2, enquanto o MDE de resolução moderada (10 m) foi derivado da interpolação de dados SRTM e ASTER GDEM. Ambos os modelos foram fornecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2014a; 2014b). A comparação entre eles permitiu avaliar os efeitos da resolução sobre a extensão e profundidade da mancha de inundação.

Coefficiente de Manning

A escolha adequada dos valores do Coeficiente de Manning é fundamental para garantir a precisão dos cálculos do nível d'água no HEC-RAS. O coeficiente “n” apresenta grande variabilidade, dependendo de diversos fatores, como rugosidade da superfície, vegetação, irregularidades e alinhamento do canal, limpeza, deposição, obstruções, tamanho e formato do canal, nível d'água, vazão, variações sazonais, temperatura, material em suspensão e carga básica (Brunner, 2016). Em geral, os valores devem ser calibrados sempre que dados observados de nível d'água estiverem disponíveis; na ausência desses dados, recomenda-se utilizar valores obtidos em condições de fluxo semelhantes ou a partir de dados experimentais como referência para seleção.

Neste estudo, adotou-se como base a compilação de valores de “n” para cursos d'água e planícies de inundação apresentada no livro Open-Channel Hydraulics (Chow, 1959). Com base no mapa de uso e ocupação do solo da bacia, foram atribuídos valores específicos do Coeficiente de Manning para cada classe de uso identificada na área de estudo, conforme apresentado na Tabela 2. Para essa identificação, utilizou-se um mapa matricial com resolução espacial de 10 metros, elaborado a partir de imagens de satélite dos sensores ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7, fornecido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016).

Tabela 2 – Coeficientes de Manning adotados de acordo com o uso do solo

Uso do solo	Coeficiente de Manning (n)
Vegetação Nativa	0,070
Pastagem	0,035
Áreas Urbanas	0,035
Cursos d'água	0,025

Modelagem Hidrodinâmica

As simulações foram realizadas com o modelo bidimensional do software HEC-RAS (versão 6.4.1), que utiliza as equações de Saint-Venant para escoamento em regime não permanente. A malha computacional empregada teve resolução espacial de 10 metros, e os cálculos foram executados com intervalo de tempo fixo de 1 minuto.

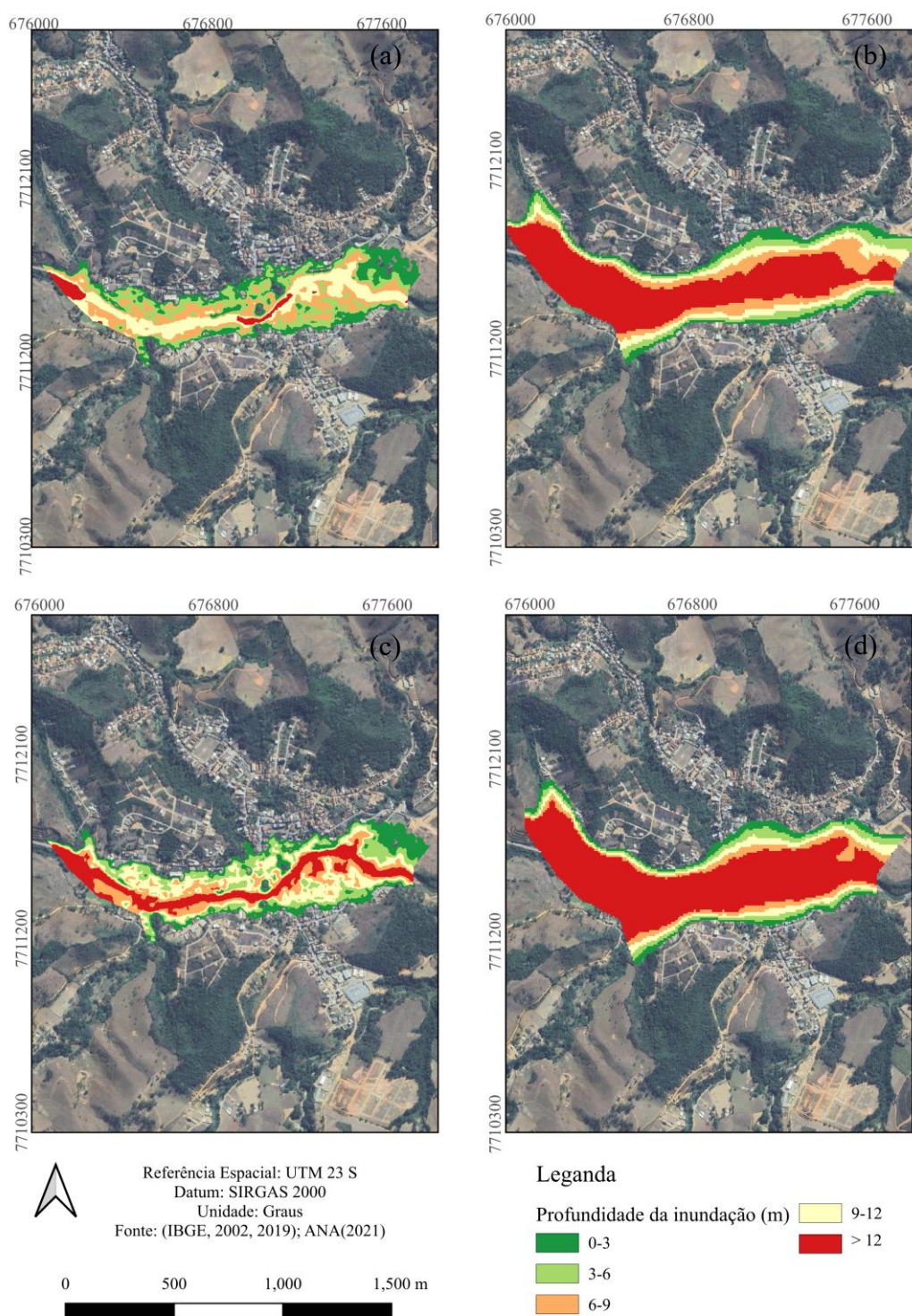
Como condição de contorno de entrada, foram utilizadas as vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 10 e 50 anos. Na extremidade de jusante, adotou-se a condição de profundidade normal, baseada na declividade média do talvegue (0,001 m/m). As manchas de inundação foram geradas com base nos níveis máximos simulados ao longo do evento de cheia.

Para a análise dos resultados, foram comparadas as áreas totais inundadas, as profundidades médias das lâminas d'água e a sobreposição espacial entre as manchas simuladas com os MDEs de 0,5 m e 10 m de resolução, utilizando o software QGIS para o tratamento e a visualização dos dados espaciais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos evidencia a significativa influência da resolução espacial dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) sobre os produtos gerados pela modelagem hidrodinâmica. Conforme ilustrado na Figura 2, as manchas de inundação geradas com MDE de 0,5 m apresentaram contornos mais detalhados e compatíveis com as variações topográficas locais, especialmente em áreas urbanizadas. Já as simulações realizadas com MDE de 10 m resultaram em manchas mais amplas e suavizadas, indicando possível superestimação da extensão da inundação em determinados trechos.

Figura 2 – Mancha de inundação para: (a) período de retorno de 10 anos com MDE de 0,5 m; (b) período de retorno de 10 anos com MDE de 10 m; (c) período de retorno de 50 anos com MDE de 0,5 m; (d) período de retorno de 50 com MDE de 10 m



A Tabela 3 reforça essa observação ao mostrar que a área total inundada simulada com MDE de 10 m foi, para ambos os períodos de retorno, substancialmente maior do que aquela obtida com o MDE de 0,5 m. Para o TR de 10 anos, a diferença entre os dois modelos foi de 20,7 hectares (61,3 ha vs. 40,6 ha), enquanto para o TR de 50 anos essa diferença foi de 23,8 hectares (68,5 ha vs. 44,7 ha). Esses dados indicam que o MDE de menor resolução tende a gerar cenários mais conservadores (ou superestimados) em termos de área impactada.

Tabela 3 – Área total inundada para cada simulação

MDE (resolução)	Período de Retorno	Área Inundada (ha)
0,5 m	10 anos	40,6
10 m	10 anos	61,3
0,5 m	50 anos	44,7
10 m	50 anos	68,5

Os efeitos da resolução também são evidentes nas estimativas de profundidade média de inundação, conforme apresenta a Tabela 4. As simulações com MDE de 10 m produziram profundidades médias consideravelmente maiores, atingindo 22,2 m e 27,0 m para os períodos de retorno de 10 e 50 anos, respectivamente. Em contraste, as simulações com MDE de 0,5 m indicaram profundidades bem menores: 6,2 m e 7,7 m. Isso evidencia como a suavização topográfica causada por resoluções mais grosseiras pode afetar diretamente o balanço hidráulico das áreas modeladas.

Tabela 4 – Profundidade média de inundação para cada simulação

MDE (resolução)	Período de Retorno	Profundidade Média (m)
0,5 m	10 anos	6,2
10 m	10 anos	22,2
0,5 m	50 anos	7,7
10 m	50 anos	27,0

Apesar das diferenças observadas nos resultados brutos, a Tabela 5 mostra que houve uma coincidência espacial considerável entre as manchas de inundação geradas pelos dois modelos, com sobreposição de 65,3% para o TR de 10 anos e 64,3% para o TR de 50 anos. Essa sobreposição sugere que, mesmo com distorções nas estimativas de área e profundidade, os dois modelos tendem a identificar regiões semelhantes como suscetíveis à inundação. No entanto, a precisão nos detalhes — especialmente nas bordas da mancha de inundação — ainda depende fortemente da resolução do MDE utilizado.

Tabela 5 – Porcentagem de sobreposição entre as manchas de inundação

Período de Retorno	Porcentagem de Sobreposição (%)
10 anos	65,3
50 anos	64,3

Esses resultados corroboram estudos anteriores, como os de Azizian e Brocca (2020) e Muthusamy et al. (2021), que ressaltam a importância de encontrar uma resolução topográfica “ideal”, que equilibre fidelidade espacial e viabilidade computacional. No caso do município de Piranga, as evidências indicam que o uso de MDEs de alta resolução é mais adequado para fins de planejamento urbano e gestão de risco, sobretudo em áreas com relevo acidentado ou com ocupação densa.

Ressalta-se que neste estudo não foi realizado o rebaixamento da calha do rio nas simulações, o que pode impactar a precisão das estimativas de inundação. Além disso, os Modelos Digitais de Elevação (MDE) utilizados — gerados a partir de imagens WorldView-2 (0,5 m) e dados SRTM/ASTER (10 m), fornecidos pela ANA — representam a elevação da superfície terrestre sólida e não o leito submerso dos rios. Isso ocorre porque essas fontes não capturam diretamente a topografia abaixo da superfície da água, que normalmente é refletida ou mascarada nas imagens e sensores remotos. Essa limitação pode influenciar a modelagem do fluxo e a delimitação das áreas inundadas, especialmente em trechos com características complexas, devendo ser considerada na interpretação dos resultados.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram claramente que a resolução espacial do Modelo Digital de Elevação (MDE) influencia de forma significativa a precisão das simulações hidrodinâmicas em áreas urbanas. O MDE de 0,5 m forneceu maior nível de detalhamento nas manchas de inundação e representou com mais fidelidade as variações topográficas locais, enquanto o MDE de 10 m apresentou tendência à superestimação tanto da extensão da área inundada quanto da profundidade média da lâmina d'água. A sobreposição parcial entre as manchas simuladas com diferentes resoluções reforça que, embora haja coerência geral nas áreas identificadas como suscetíveis à inundação, o uso de resoluções mais refinadas é essencial para análises precisas, especialmente em contextos urbanos.

Assim, para fins de planejamento urbano, gestão de riscos e tomada de decisão, recomenda-se a utilização de MDEs de alta resolução, sempre que possível, visando à redução de incertezas na modelagem e à melhor delimitação das zonas de risco. Este estudo contribui para a compreensão da sensibilidade dos modelos hidrodinâmicos à qualidade dos dados de entrada e reforça a importância da escolha criteriosa da base topográfica em estudos de inundação.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2014a). *Modelo Digital de Elevação (MDE) de alta resolução espacial*. Brasília. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/830d00e6-9924-469d-b24b-aff67a1fd432>>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2014b). *Modelo Digital de Elevação (MDE) de moderada resolução espacial (células de 10m) da Bacia do Rio Doce*. Brasília. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b4cfe37d-467c-4b67-8aaa-841b4081925b>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2014a). *Modelo Digital de Elevação (MDE) de alta resolução espacial*. Brasília. Disponível em: <

<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/49a3aa22-fff4-4527-a17b-64b6ad31d8cb>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2016). *Uso e Ocupação do Solo em moderada resolução espacial (10m) da Bacia do Rio Doce*. Brasília. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b4cfe37d-467c-4b67-8aaa-841b4081925b>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

AZIZIAN, A.; BROCCA, L. (2020). “Determining the best remotely sensed DEM for flood inundation mapping in data sparse regions”. *International Journal of Remote Sensing*, 41, pp. 1884–1906.

BRANDT, S.A. (2016). “Modeling and visualizing uncertainties of flood boundary delineation: algorithm for slope and DEM resolution dependencies of 1D hydraulic models”. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30, pp. 1677–1690.

BRUNNER, G. W. (2016). *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

CHOW, T. (1959). *Open-channel Hydraulics*. McGraw-Hill Civil Engineering Series.

CREDUNDRR. (2020). *The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019)*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. UN Office for Disaster Risk Reduction. Disponível em: <https://cred.be/sites/default/files/adsr_2019.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2019). *Biomass*. Brasília. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2022). *Panorama: Censo 2020*. Brasília. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

LARENTIS, D. G.; NOGARE, M.; TUCCI, C. E. M.; POHLMANN, P. (2020). “Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas”. *Gestão de Água da América Latina*, v. 17, e13.

MERWADE, V.; OLIVERA, F.; ARABI, M.; EDLEMAN, S. (2008). “Uncertainty in flood inundation mapping: current issues and future directions”. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(7), pp. 608–620.

MUTHUSAMY, M.; CASADO, M. R.; BUTLER, D.; LEINSTER, P. (2021). “Understanding the effects of Digital Elevation Model resolution in urban fluvial flood modelling”. *Journal of Hydrology*, v. 596, 126088.

NASCIMENTO, R. A. (2010). “Impactos pluviais: o caso de Piranga - MG”. *Revista de C. Humanas*, v. 10, n. 1, pp. 94–110.

OGANIA, J.L.; PUNO, G.R.; ALIVIO, M.B.T.; TAYLARAN, J.M.G. (2019). “Effect of digital elevation model’s resolution in producing flood hazard maps”. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5, pp. 95–106.

PEÑA, F.; NARDI, F. (2018). “Floodplain terrain analysis for coarse resolution 2D flood modeling”. *Hydrology*, 5(4), pp. 1–16.

PINOS, J.; TIMBE, L. (2019). “Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins”. *Water Science and Engineering*, 12(1), pp. 11–18.

PROFETA, A. L. (2015). “Dinâmica multitemporal da cobertura do solo no município de Piranga - MG, no período de 1984 a 2009”. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 67, n. 1.

REIS, P. A.; SCHMIDT, M. A. R. (2017). “Avaliação dos Modelos HEC-RAS e GRASS na Identificação de Áreas Vulneráveis a Inundações em Áreas Urbanas”. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(1), pp. 115–126.

SAKSENA, S.; MERWADE, V. (2015). “Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping”. *Journal of Hydrology*, 530, pp. 180–194.

USACE – UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2021). *HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User’s Manual – Version 6.0*.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto sob o qual esta pesquisa foi realizada.