

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **INUNDAÇÕES URBANAS E MDES GRATUITOS: UMA AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE PRECISÃO PARA MODELAGEM**

*Tatiane Souza Rodrigues Pereira<sup>1\*</sup>; Kamila Almeida dos Santos<sup>2</sup>; Guilherme da Cruz dos Reis<sup>3</sup>;*

*Raviel Eurico Basso<sup>4</sup>; Hugo José Ribeiro<sup>5</sup> & Klebber Teodomiro Martins Formiga<sup>6</sup>*

**RESUMO** – Este estudo investigou a influência de três Modelos Digitais de Elevação (MDEs) gratuitos (Copernicus DEM, NASADEM e Topodata) na modelagem de inundações urbanas, buscando avaliar sua viabilidade para simular eventos extremos, considerando o custo e a disponibilidade de dados. A batimetria fluvial foi obtida via *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), e um evento de projeto com Tempo de Retorno de 100 anos foi proposto com base em dados históricos de vazões. Os mapas de inundação foram gerados utilizando o software HEC-RAS 6.0 e validados com do *dados Light Detection and Ranging* (LiDAR). Os resultados da análise comparativa dos MDEs demonstraram que o Copernicus DEM apresentou o melhor desempenho geral. Apesar de subestimar a área inundada em 18%, este MDE registrou os menores valores de Erro Quadrático Médio (RMSE), Viés Percentual (PBIAS), média e desvio padrão, juntamente com os maiores valores do coeficiente de correlação de Pearson (R), quando comparado aos dados LiDAR, sugerindo maior precisão e acurácia na representação das profundidades e extensões da inundação. Em contrapartida, o NASADEM tendeu a subestimar a área inundada em 30% e tendeu a superestimar as profundidades e extensões. O Topodata, por sua vez, mostrou-se o MDE menos preciso e acurado. Embora sua estimativa da área de inundação se aproximasse dos dados LiDAR, com uma superestimação de apenas 3%, este MDE superestimou consideravelmente as profundidades e extensões da inundação. Concluiu-se que, com a diminuição da resolução espacial dos MDEs, a modelagem de inundações tende a subestimar a área total e a superestima a profundidade.

**ABSTRACT** – This study investigated how three free Digital Elevation Models (DEMs)—Copernicus DEM, NASADEM, and Topodata—fluence urban flood modeling. Our aim was to assess their feasibility for simulating extreme flood events, considering both data cost and availability. We acquired river bathymetry using an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) and proposed a 100-year return period design event based on historical flow data. Flood maps were generated using HEC-RAS 6.0 software and validated against Light Detection and Ranging (LiDAR) data. The comparative analysis of the DEMs revealed that Copernicus DEM exhibited the best overall performance. Although it underestimated the flooded area by 18%, this DEM showed the lowest Root Mean Square Error (RMSE), Percent Bias (PBIAS), mean, and standard deviation. It also yielded the highest Pearson correlation coefficient (R) when compared to LiDAR data, suggesting greater precision and accuracy in representing flood depths and extents. In contrast, NASADEM tended to underestimate the flooded area by 30% and generally overestimated flood depths and extents. Topodata proved to be the least precise and accurate DEM. Despite its flood area estimate being close to LiDAR data, with only a 3% overestimation, this DEM significantly overestimated flood depths and extents. In conclusion, as the spatial resolution of DEMs decreases, flood modeling tends to underestimate the total flooded area while overestimating flood depth.

**Palavras-Chave** – Evento extremo, Sensoriamento Remoto, HEC-RAS.

## 1 - INTRODUÇÃO

A última década (2010-2020) testemunhou um agravamento sem precedentes dos fenômenos meteorológicos extremos em escala global, conforme apontado por Dube *et al.* (2022). Esse período foi marcado por um aumento notável na frequência e intensidade desses eventos, os quais afetaram desproporcionalmente as comunidades mais vulneráveis (ONU, 2020). Espera-se que essa tendência de eventos extremos persista e continue a impulsionar transformações futuras (BELL *et al.*, 2018), configurando um cenário de preocupação para as atividades socioeconômicas em âmbito global (Dube *et al.*, 2022). Nesse contexto, um dos desafios mais prementes reside na intensificação das inundações urbanas ribeirinhas, que impactam diretamente milhares, e potencialmente milhões, de indivíduos, ocasionando perdas socioeconômicas substanciais.

Para enfrentar eficazmente os desafios impostos, torna-se indispensável o investimento simultâneo em estudos e na implementação de medidas de adaptação e mitigação. Essa abordagem integrada visa otimizar a alocação de recursos e o tempo disponível. A título de exemplo, é fundamental a realização de estudos detalhados para o mapeamento das áreas de maior risco de inundaçāo. Concomitantemente, medidas de adaptação, como a construção de diques e a elevação do nível do solo, podem ser implementadas para salvaguardar as comunidades vulneráveis. Em situações extremas, a desocupação ordenada da área urbanizada pode ser considerada como uma alternativa.

Devido à significativa relevância dos impactos socioeconômicos associados às inundações, tem-se observado o desenvolvimento e aprimoramento contínuo de modelos hidráulicos cada vez mais robustos, capazes de espacializar com precisão esses eventos (Aronica *et al.*, 2002). Nesse contexto, uma ferramenta frequentemente empregada em estudos de mapeamento de risco e perigo de inundaçāo é o software *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System* (HEC-RAS) (USACE, 2002). Sua ampla utilização advém tanto de suas diversas capacidades de modelagem de escoamento (Mazzoleni *et al.*, 2020) quanto de sua facilidade de interoperabilidade com Modelos Digitais de Elevação (MDE).

O software HEC-RAS demanda diversas entradas de dados para sua operação, incluindo registros de níveis d'água e vazões, informações batimétricas das seções monitoradas e dados topográficos que descrevem a geometria do canal e da planície de inundaçāo (Pereira *et al.*, 2023). Os dados topográficos podem estar entre os fatores mais limitantes para geração de mapas de inundaçāo, pois dados mais detalhados, isto é, com alta resolução espacial, geralmente não estão disponíveis gratuitamente para a maioria das regiões do planeta (Pereira *et al.*, 2023). Essa restrição inviabiliza muitos estudos locais, visto que o uso de MDEs globais de baixa resolução espacial é

usualmente desaconselhável. Isso porque, esses modelos tendem a introduzir erros significativos nas simulações, o que compromete a confiabilidade dos resultados. A magnitude exata desses erros, no entanto, nem sempre é completamente compreendida, sendo frequentemente categorizada como uma "incógnita" nas análises de simulação.

Nesse contexto de simulações hidrodinâmicas, ao abordar cheias extremas, o conceito de Tempo de Retorno (TR) surge como ferramenta fundamental para mensurar a severidade de um evento, expressando a probabilidade de sua ocorrência em um ano específico (Pereira *et al.*, 2024). Conforme destacado pelos autores, essa métrica é essencial para a compreensão da magnitude (escala) e da raridade (periodicidade) desses eventos. Assim, definir um evento de projeto com um TR predefinido se torna indispensável para diversas aplicações, incluindo ações de planejamento urbano e gestão de riscos. Essa abordagem possibilita simular cenários que refletem um nível de risco aceitável para a infraestrutura e a sociedade, o que contribui para a resiliência de áreas urbanas diante de eventos hidrológicos extremos.

Com o intuito de fomentar as discussões sobre o uso e o impacto de MDEs globais em simulações de inundações locais, este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade dos MDEs NASADEM (Crippen *et al.*, 2016), Copernicus DEM (ESA, 2020) e Topodata (Valeriano e Rossetti, 2011) para modelar inundações em uma área urbana de pequena escala. Para isso, consideraremos um evento de projeto com TR igual a 100 anos e utilizaremos dados LiDAR (Goiânia, 2011) para comparação, por servir como referência de "verdade terrestre" dada a sua alta precisão.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo ocupa aproximadamente 1,92 km<sup>2</sup>, incluindo um trecho de 4,10 km do rio Meia Ponte, onde confluem dois afluentes: os ribeirões Anicuns e João Leite. (Figura 1). Esse segmento do rio caracteriza-se por curvas sinuosas e uma planície de inundaçāo plana, com declividade inferior a 3% (EMBRAPA, 1979). A região está inserida na malha urbana do município de Goiânia, englobando parte dos setores Urias Magalhāes (1), Goiânia II (2), Santa Genoveva (3), Vila Roriz (4), Crimeia Leste (5), Vila Froes (6) e Vila Monticelli (7). Esta área possui relevância social, sendo composta predominantemente por ocupações antigas e de baixo padrão construtivo, além de possuir histórico recorrente de inundações.

A metodologia empregada para a produção dos mapas de inundaçāo extrema envolveu o delineamento da área urbana e a utilização de um evento de projeto com TR igual a 100 anos (Figura

2a). Este evento foi fundamentado em dados históricos de vazões, utilizados para simular uma inundação hipotética.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

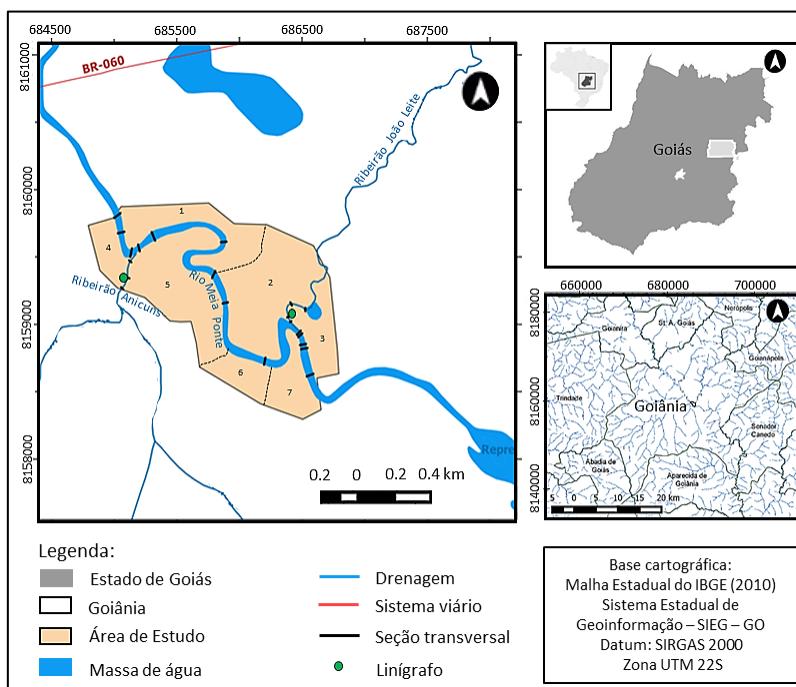
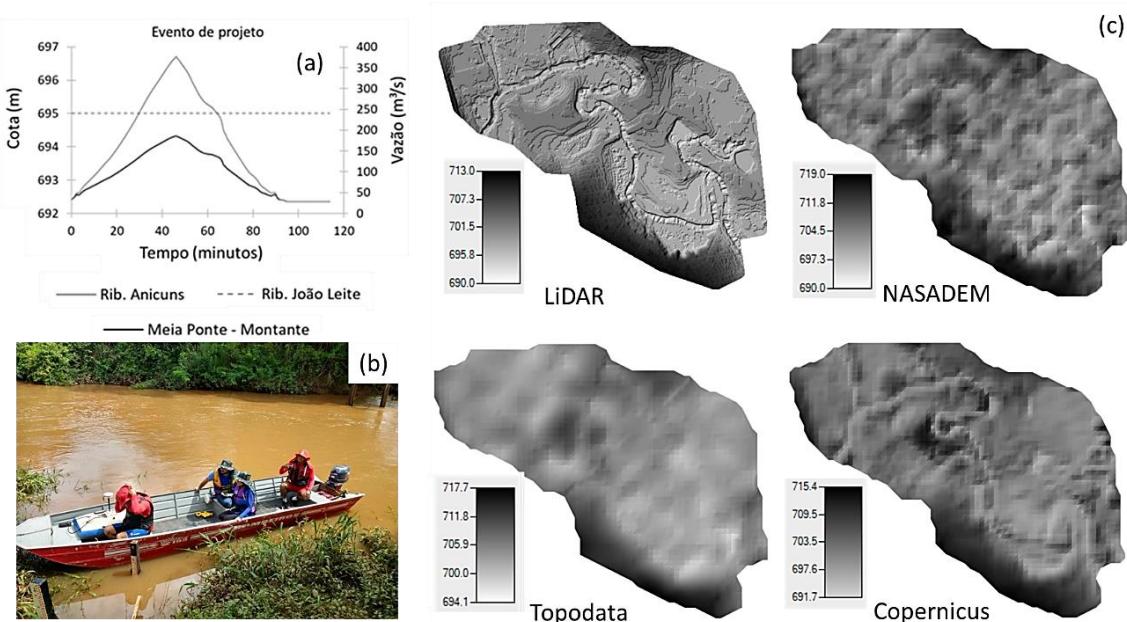


Figura 2 – Dados considerados. (a) Hidrograma de Projeto, (b) Batimetria com ADCP e (c) MDEs.



Para tanto, na análise estatística, considerou-se a vazão máxima diária anual a montante de Goiânia, obtida na estação fluviométrica de ID 60640000, referente ao período de 30 anos, compreendido entre janeiro de 1978 e dezembro de 2007 (ANA, 2023). A melhor distribuição de probabilidade para refletir o comportamento da amostra foi empregada, e a sua adequação foi

verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov entre as amostras observadas e calculadas pertencentes à mesma população, considerando um nível de confiança de 95%. Com base nos valores observados de vazão máxima natural, realizou-se o ajuste a uma distribuição de probabilidade de Gumbel.

Os dados topográficos empregados nas simulações foram o LiDAR (1 m), NASADEM (~30 m), Topodata (~30 m) e Copernicus DEM (30 m) (Figura 2c). Adicionalmente, foi empregada uma batimetria composta por 21 seções transversais, obtida com um ADCP “*in loco*” (Figura 2b).

A modelagem hidrodinâmica foi realizada com uma abordagem bidimensional (1D/2D), empregando o software HEC-RAS 6.0. Esta metodologia integrada permitiu simular o comportamento da inundação no cenário de evento extremo.

A configuração de modelagem hidrodinâmica 1D/2D foi a adotada por Pereira (2022), Pereira *et al.* (2023) e Pereira *et al.* (2024). Para a modelagem hidrodinâmica, as condições de contorno estabelecidas foram: vazão a montante para o rio Meia Ponte e um declive de 0,07% a jusante. A condição inicial foi definida pela vazão. O coeficiente de Manning foi adotado como 0,03 para o canal e 0,06 para a superfície da planície de inundação, valores estes em conformidade com a literatura especializada. Cabe salientar que não foi realizada a etapa de calibração do modelo, uma vez que o foco do estudo residiu na validação da capacidade intrínseca dos MDEs em gerar mapas de inundação comparáveis aos dados de referência.

Assim, para a comparação e avaliação dos mapas de inundações previstos entre os diferentes MDEs, empregou-se três índices principais: área total inundada (quantifica a extensão espacial da área coberta pela inundação em cada MDE), profundidade da água (mede a altura da coluna d'água em pontos específicos dentro da área inundada) e extensão da inundação nas seções transversais (avalia a distância horizontal da inundação em seções transversais predefinidas ao longo do curso d'água). As avaliações foram fundamentadas em três métricas estatísticas principais, como o Erro Quadrático Médio (RMSE), o Viés Percentual (PBIAS) e o coeficiente de correlação de Pearson (R), conforme metodologia detalhada por Pereira *et al.* (2023), além da média ( $\bar{X}$ ) e desvio padrão (DP).

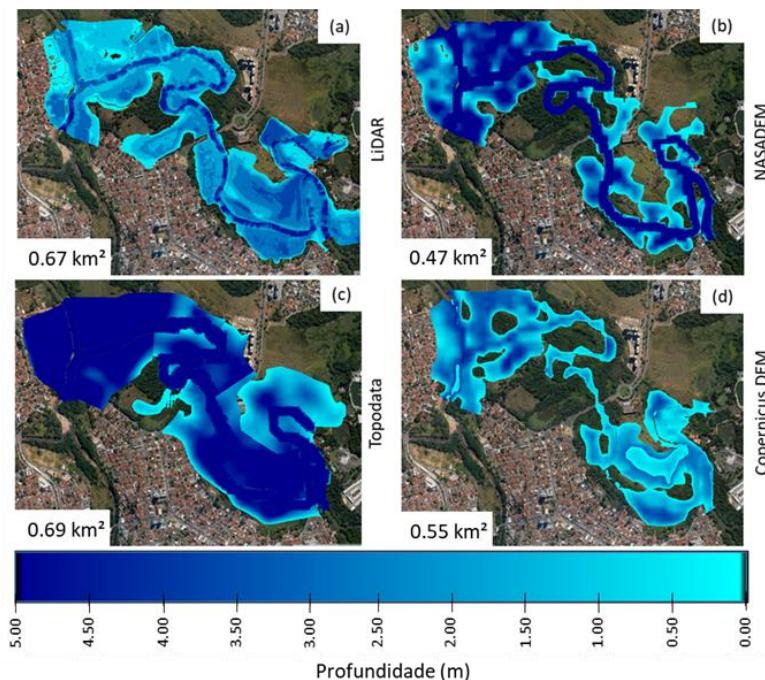
### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após interpolação no RAS Mapper do HEC-RAS, foram geradas 251 seções transversais para o trecho do rio com espaçamento de aproximadamente 15 metros e o canal foi mesclado aos MDEs.

No RAS Mapper do HEC-RAS, foram geradas 251 seções transversais para o trecho do rio, com um espaçamento de aproximadamente 15 metros, e então mesclado o canal aos MDEs.

Para avaliar a aplicabilidade dos MDEs na modelagem de inundações em áreas de pequena escala, foi utilizada uma abordagem combinada 1D/2D e simulado um evento de projeto para cada MDE. Em seguida, foram comparados os resultados com a simulação gerada a partir dos dados LiDAR (Figura 3).

Figura 3 Inundações simuladas para o evento de projeto com os valores de áreas totais inundadas expressas em km<sup>2</sup>.



Um primeiro resultado é que as simulações de inundações são comparáveis. As diferenças em termos de áreas inundadas com o NASADEM, Topodata e Copernicus DEM em relação ao LiDAR, foram de 0,20, -0,02 e 0,12 km<sup>2</sup>, respectivamente, indicando maior subestimação da inundaçāo com NASADEM, 29,85%, e menor subestimação com Copernicus DEM, 17,91%, além de pequena superestimação da inundaçāo com Topodata, 2,98%.

A análise visual dos mapas de inundaçāo (Figura 3) revelou variações significativas na precisão e no detalhamento das características de inundações, influenciadas pelo MDE empregado.

O LiDAR (Figura 3a) demonstrou esperada superioridade, produzindo o mapa mais preciso e detalhado, com contornos de profundidade de água suaves e bem definidos. Essa acurácia pode ser atribuída à sua alta resolução, que capta as menores nuances topográficas do terreno. O NASADEM (Figura 3b) gerou um mapa com contornos menos precisos e definidos, mas suaves, exibindo imprecisões em áreas de topografia complexa (relevo irregular e/ou acidentado). Por isso, ele é menos detalhado que o LiDAR. Em contraste, o Topodata (Figura 3c) resultou, em geral, no mapa menos preciso. Apesar de apresentar um valor de área mais próximo ao do LiDAR, ele mostrou menor detalhamento da inundaçāo devido à generalização das profundidades e contornos menos suaves,

possivelmente por conta de correções angulares que não aprimoraram os detalhes do modelo. Por sua vez, o Copernicus DEM (Figura 3d) superou o Topodata e o NASADEM, produzindo contornos de profundidade de água mais precisos, graduais e suaves, embora ainda não atinja a precisão do LiDAR.

Para complementar a análise visual inicial, realizou-se uma análise quantitativa (Tabela 1). Esta focou nos erros sistemáticos dos MDEs — especificamente se superestimam ou subestimam a inundação — visando avaliar seus comportamentos gerais nas simulações. Tal abordagem justifica-se porque uma representação mais precisa da confiabilidade exigiria um número maior de simulações, abrangendo uma variedade mais ampla de cenários de inundação.

Tabela 1 - Resumo dos índices RMSE, PBIAS, média ( $\bar{X}$ ), desvio padrão (PD) e R obtidos comparando as profundidades e extensões máximas da água para cada seção transversal dos MDEs com LiDAR para o evento de projeto.

Evento	Rio	MDE	RMSE (m)	PBIAS (%)	$\bar{X}$ (m)	DP (m)	R
Profundidade da inundação	Rio Meia Ponte	LIDAR	-	-	5,93	0,973	-
		NASADEM	1,86	-77,94	10,39	1,604	0,51
		Topodata	3,31	-138,48	13,90	2,145	0,43
	Rib. Anicuns	Copernicus	0,49	-20,69	7,11	1,137	0,78
		LIDAR	-	-	5,72	1,786	-
		NASADEM	2,12	-92,44	10,62	1,450	0,94
	Rib. João Leite	Topodata	3,75	-163,48	14,36	0,790	0,95
		Copernicus	0,58	-25,25	7,09	1,957	0,96
		LIDAR	-	-	4,88	0,981	-
		NASADEM	1,04	-47,23	7,18	1,253	0,99
		Topodata	2,33	-105,96	10,03	1,672	0,99
		Copernicus	0,25	-11,59	5,45	1,045	0,99
Extensão da inundação	Rio Meia Ponte	LIDAR	-	-	229,85	119,371	-
		NASADEM	4,83	18,87	186,53	136,472	0,67
		Topodata	4,41	-15,05	254,66	147,552	0,77
	Rib. Anicuns	Copernicus	4,21	24,23	175,74	129,895	0,71
		LIDAR	-	-	246,43	78,515	-
		NASADEM	2,59	-16,90	287,03	87,327	1,00
	Rib. João Leite	Topodata	3,31	-19,47	303,55	122,176	1,00
		Copernicus	1,15	6,38	237,84	94,767	1,00
		LIDAR	-	-	128,02	56,290	-
		NASADEM	4,00	-13,91	132,64	74,472	0,64
		Topodata	8,90	-89,49	222,52	90,173	0,73
		Copernicus	2,48	-14,40	130,18	37,374	0,82

Para todos os cursos d'água analisados, o Copernicus DEM apresentou os melhores resultados de profundidades em termos de precisão e acurácia. Tal fato é evidenciado pelos valores mais baixos de RMSE, indicando que suas estimativas de profundidades foram as mais próximas dos dados de referência do que os dos demais MDEs. Além disso, seus PBIAS foram os mais próximos de zero, sugerindo uma superestimação mínima e mais consistente das profundidades. Os altos valores de R encontrados em todos os casos (variando de 0,78 a 0,99) reforça a forte correlação entre as estimativas e os dados de referência do LiDAR.

O NASADEM apresentou um desempenho intermediário na estimativa das profundidades nos três corpos d'água estudados. Embora tenha apresentado valores de R relativamente altos em alguns casos (como no Ribeirão Anicuns, 0,94, e João Leite, 0,99), seus RMSEs foram consideravelmente maiores que os do Copernicus DEM, e seus PBIAS indicam superestimação significativa da profundidade em todas as avaliações. Isso sugere que, apesar de uma boa correlação com os dados de referência (variando de 0,51 a 0,99), o NASADEM superestimou as profundidades de forma mais acentuada do que o Copernicus DEM.

O Topodata exibiu o pior desempenho em todos os cenários para as profundidades, com os maiores RMSEs e os PBIAS mais negativos (indicando forte superestimação da profundidade). Portanto, ficou claro que este MDE é o menos preciso para a finalidade de estimar profundidades. Mesmo com altos valores de R em alguns casos (como nos ribeirões Anicuns, 0,95, e João Leite, 0,99), a sua baixa precisão (altos RMSE e PBIAS) o torna inadequado para aplicações que exigem alta acurácia na profundidade.

Quanto às extensões da inundação, o Copernicus DEM também obteve os melhores resultados na representação, em termos de precisão. Isso é evidenciado pelos valores mais baixos de RMSEs e PBIAS mais próximos de zero, além de altos valores de R (variando de 0,71 a 1,00). Tal fato indica que a simulação se aproxima mais da realidade e apresenta menor erro. No entanto, é importante notar que nos ribeirões Anicuns e João Leite, a simulação com este MDE subestimou a área inundada, em média de 15,30%, e no rio Meia Ponte, superestimou a inundação em 14,40%. Esses resultados indicam variabilidade na precisão do Copernicus DEM em simulações de inundação, que podem decorrer da geografia local, morfologia dos cursos d'água e características da própria inundação, possivelmente influenciada pela resolução do MDE e complexidade hidrodinâmica.

Os MDEs NASADEM e Topodata frequentemente tenderam a superestimarem as extensões da inundação. Apenas no rio Meia Ponte o NASADEM subestimou as extensões da inundação. Embora tenham apresentado R muitas vezes altos, o que significa que conseguem capturar o padrão da inundação, eles falham em representar a magnitude correta, ou seja, a extensão real da área inundada.

#### 4 – CONCLUSÃO

O estudo revelou que o processo de tratamento dos MDEs pode impactar significativamente a precisão das informações topográficas, como observado no desempenho inferior do Topodata, mesmo em comparação com o NASADEM, que compartilha a mesma base de dados SRTM. Os achados de Lacerda *et al.*, 2021, corroboram esses resultados, destacando a importância do reprocessamento dos

MDEs na precisão vertical, mais do que a própria aquisição dos dados pelos sensores. Segundo esses autores, o NASADEM foi mais acurado verticalmente e o Topodata foi o MDE de menor precisão em relação, também, ao ASTERGDEM, por exemplo.

O Copernicus DEM destacou-se como o MDE de melhor desempenho geral para as simulações de eventos de projeto com tempo de retorno (TR) de 100 anos, em áreas de pequena escala (500 m) e topografia complexa. Seus resultados foram próximos aos obtidos com o MDE de referência, LiDAR, conforme evidenciado por Pereira *et al.* (2023), superando o NASADEM e, por último, o Topodata.

Os resultados inferiores do NASADEM e Topodata em relação ao Copernicus DEM e LiDAR podem também ser atribuídos à baixa resolução espacial efetiva desses MDEs, acima de 30 m, ~45 m (Guth, 2006; Grohmann, 2018), o que pode levar a generalizações excessivas nos processos de interpolação, com ocorrência de cotas maiores para uma área do que seria na realidade. Esses achados sugerem que, à medida que a resolução espacial dos MDEs diminui, a modelagem tende a subestimar a área total inundada e a superestimar as profundidades da inundação. Esse comportamento é fisicamente consistente, pois um MDE de baixa resolução tende a “alisar” o terreno, o que pode fazer com que certas áreas sejam representadas com cotas mais baixas do que a realidade. Dessa forma, as variações topográficas que reteriam a água são menos precisas, resultando em uma distribuição da água por uma área menor e mais profunda.

Portanto, as limitações de resolução e de reprocessamento/pós-processamento não apenas elucidam o desempenho inferior do NASADEM e do Topodata, mas também evidenciam a relevância da seleção criteriosa do MDE mais apropriado para cada aplicação, considerando suas limitações, vantagens, desvantagens e potencialidades.

Em contextos que demandam otimização de custo e tempo, o Copernicus apresenta-se como uma alternativa estratégica. Embora sua precisão seja inferior à obtida por levantamentos a LiDAR, este modelo oferece cobertura global, custo computacional acessível e menor valor de resolução espacial, ainda que inferior em comparação com dados LiDAR.

## REFERÊNCIAS

ARONICA, G.; BATES, P. D.; HORRITT, M. S. (2002). *“Assessing the uncertainty in distributed model predictions using observed binary pattern information within GLUE”*. Hydrological Processes, 16(10), pp. 2001-2016.

ANA. Agência Nacional de Águas. (2023). HidroWeb. SNIRH. *“Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos, 2021”*. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 06 de outubro de 2022.

BELL, J. E.; BROWN, C. L.; CONLON, K.; HERRING, S.; KUNKEL, K. E.; LAWRIMORE, J.; LUBER, G.; SCHRECK, C.; SMITH, A.; UEJIO, C. (2018). “*Changes in extreme events and the potential impacts on human health*”. *J Air Waste Manag Assoc.* Apr, 68(4), pp.265-287.

CRIPPEN, R.; BUCKLEY, S.; AGRAM, P.; BELZ, E.; GURROLA, E.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; LAVALLE, M.; MARTIN, J.; NEUMANN, M.; NGUYEN, Q.; ROSEN, P.; SHIMADA, J.; SIMARD, M.; TUNG, W. (2016). “*NASADEM Global Elevation Model: Methods and Progress*”. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* XLI-B4, pp.125-128.

DUBE K, NHAMO G, CHIKODZI D. (2022). “*Flooding trends and their impacts on coastal communities of Western Cape Province, South Africa*”. *GeoJournal.*; 87(Suppl 4), pp. 453-468.

ESA. (2020). European Space Agency. “*Copernicus Digital Elevation Model (DEM), Validation Report*”. Version 2.0. Disponível em: < [https://spacedata.copernicus.eu/documents/20126/0/GEO1988-CopernicusDEM-RP-001\\_Validation Report\\_V1.0.pdf](https://spacedata.copernicus.eu/documents/20126/0/GEO1988-CopernicusDEM-RP-001_Validation Report_V1.0.pdf)>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022.

GOIÂNIA. Prefeitura de Goiânia. (2011). “*Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia – MUBDG*”. v. 23.

GUTH, P. L. (2006). “*Geomorphometry from SRTM: Comparison to NED*”. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), pp. 269–277.

GROHMANN, C. H. (2018). “*Evaluation of TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites: comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS AW3D30*”. *Remote Sensing of Environment*, 212, pp. 121-133.

LACERDA, H. C.; LEITÃO, R.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; MACEDO, D. R. (2021). “*Avaliação comparativa da precisão vertical de modelos digitais de elevação derivados de satélites globais gratuitos*”. *Revista Espinhaço*, 10(1), pp. 1-12.

MAZZOLENI, M., PARON, P., REALI, A.; JUIZO, D.; J. MANANE, J.; L. BRANDIMARTE, L. (2020). “*Testing UAV-derived topography for hydraulic modeling in a tropical environment*”. *Natural Hazards*, 103, pp. 139-163.

ONU. (2020). United Nations Office. “*2020 State of Climate Services: Risk Information and Early Warning Systems: Risk information and early warnings systems*”. World Meteorological Organization - WMO n.1252, pp. 1-25

PEREIRA, T. S. R.; MENDES, T. A.; FORMIGA, K. T. M. (2024). “*Extreme Floods: 1D/2D Hydraulic Modeling with HEC-RAS and LiDAR*”, in *Anais do 16th International Conference on Urban Drainage*, ICUD, Delft, Jun. 2024, pp. 1-4.

PEREIRA, T. S. R.; SANTOS, K. A.; REIS, G. DA C. DOS R.; RIBEIRO, H. J. CARVALHO, T. P.; MENDES, T. A.; DUARTE, L. V. OLIVEIRA, J. M. CASTILHO, J. H. M.; FORMIGA, K. T. M. (2023). “*Modelagem de Inundação 1D/2D com HEC-RAS e MDEs LiDAR e COPERNICUS DEM*” in *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, SBRH, Aracaju, Nov. 2023, 1, pp. 1-10.

PEREIRA, T. S. R. (2022). “*Influência dos dados hidráulicos e topográficos na modelagem hidrodinâmica de áreas ribeirinhas*” in *Tese se Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCIAMB da Universidade Federal de Goiás – UFG*.

USACE. (2002). “*HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*”, Version 3.1. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. (2011). “*Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data*”. *Applied Geography* (Sevenoaks), 32, pp. 300-309.