

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

SIMULAÇÃO DE VAZÕES DE PROJETO COM O HEC-HMS NA SUB-BACIA DO IGARAPÉ GRANDE-RR: UMA ABORDAGEM BASEADA EM GEOTECNOLOGIAS E PRECIPITAÇÕES CRÍTICAS

Deividy Kaik de Lima Araujo¹; Manoel Moisés Ferreira Queiroz² & Celso Augusto Guimarães Santos^{3,4}

Abstract: Hydrological studies are essential for urban planning, water resource management, and flood risk mitigation, especially in urban areas. This paper presents the hydrological modeling of the Igarapé Grande sub-basin, located in the municipality of Boa Vista, Roraima (RR), using the HEC-HMS software. The study area covers approximately 32km² and was divided into seven sub-basins and three main river stretches, allowing a detailed analysis of the hydrological behavior. Due to the lack of in loco flow data, only synthetic flows were generated, based on a real rainfall event on March 8, 2025 (CEMADEM), which exceeded the historical 24-hour average recorded by INMET. The adopted methodology included the Curve Number (CN) method to estimate initial losses, the HUST method of the SCS (current NRCS) for the rainfall-runoff transformation, and the Muskingum method for runoff propagation. The results indicated that the highest volumes and peak flows occurred at Sink-1 (outlet – 126.1 m³/s) and E1 (122.6 m³/s), evidencing accumulation of surface runoff in the downstream portions of the basin. In addition, section E2 (74.4 m³/s) and junction J1 (122.5 m³/s), both located in section 2 of the river, presented significant contributions to the runoff, raising concerns about the potential impacts on an existing Sewage Treatment Plant (STP) in the area. The results prove the effectiveness of hydrological modeling in identifying critical areas and highlight the need for sustainable drainage solutions and future hydrodynamic studies.

Resumo: Estudos hidrológicos são essenciais para o planejamento urbano, a gestão dos recursos hídricos e a mitigação de riscos de inundação, especialmente em áreas urbanas. Este artigo apresenta a modelagem hidrológica da sub-bacia do Igarapé Grande, localizada no município de Boa Vista, Roraima (RR), utilizando o software HEC-HMS. A área de estudo abrange aproximadamente 32 km² e foi dividida em sete sub-bacias e três trechos principais de rio, permitindo uma análise detalhada do comportamento hidrológico. Devido à ausência de dados de vazão in loco, foram geradas apenas vazões sintéticas, com base em um evento real de chuva em 8 de março de 2025 (CEMADEM), que superou a média histórica de 24 horas registrada pelo INMET. A metodologia adotada incluiu o método do *Curve Number* (CN) para estimativa das perdas iniciais, o método do HUST do SCS (atual NRCS) para a transformação chuva–vazão e o método de Muskingum para propagação do escoamento. Os resultados indicaram que os maiores volumes e vazões de pico ocorreram nos elementos Sink-1 (exutório – 126,1 m³/s) e E1 (122,6 m³/s), evidenciando acúmulo de escoamento superficial nas porções a jusante da bacia. Além disso, o trecho E2 (74,4 m³/s) e a junção J1 (122,5 m³/s), ambos localizados no trecho 2 do rio, apresentaram contribuições significativas para o escoamento, levantando preocupações quanto aos impactos potenciais sobre uma Estação de

1) Instituto Federal de Roraima, Av. Glaycon de Paiva, 2496 - Pricumã, Boa Vista - RR, (95) 3621-8021, deividy.araujo@ifrr.edu.br

2) Universidade Federal de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, moises@ccta.ufcg.edu.br

3) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, celso@ct.ufpb.br

4) University of South Alabama, Stokes School of Marine and Environmental Sciences, Mobile – AL, USA, santos@southalabama.edu

Tratamento de Esgoto (ETE) existente na área. Os resultados comprovam eficácia da modelagem hidrológica identificando áreas críticas e destacam a necessidade de soluções sustentáveis de drenagem e estudos hidrodinâmicos futuros.

Palavras-Chave – Modelagem hidrológica; HEC-HMS; Escoamento superficial.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado e desordenado nas cidades brasileiras, especialmente em regiões tropicais como a Amazônia, tem resultado em alterações significativas no ciclo hidrológico, agravando problemas relacionados ao escoamento superficial, enchentes e inundações urbanas (TUCCI, 2008; MONTEIRO et al., 2020). Nesse contexto, o planejamento e dimensionamento adequado dos sistemas de drenagem urbana requerem a correta estimativa das vazões de projeto, sobretudo em bacias hidrográficas com dinâmicas complexas de uso e ocupação do solo.

A modelagem hidrológica se apresenta como uma ferramenta essencial para esse fim, permitindo simular a resposta de uma bacia a eventos de precipitação. O modelo HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System*), desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*, destaca-se entre os modelos hidrológicos amplamente utilizados em estudos acadêmicos e projetos de engenharia, por sua flexibilidade, interface amigável e capacidade de simular diferentes métodos de perdas, transformação do escoamento e propagação da cheia (FELIX et al., 2021; USACE, 2023).

A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), como os fornecidos pelo sensor ALOS PALSAR, têm ampliado significativamente a capacidade de análise espacial da hidrologia, proporcionando uma base confiável para a delimitação automática de bacias hidrográficas e extração de parâmetros morfométricos essenciais, como área, declividade e comprimento dos canais (JARIOLLANO et al., 2019; SANTOS et al., 2023). Além disso, trabalhos como os de Cardoso et al. (2023) e Silva et al. (2021) demonstram que a incorporação de dados públicos, como os *shapefiles* e imagens *raster* de *Curve Number* (CN) disponibilizados pelo trabalho do Jaafar et al. 2022 (GCN250) e dados de precipitação do CEMADEN, facilita a parametrização de modelos com foco na realidade nacional e local.

Este trabalho tem como objetivo estimar as vazões de projeto da sub-bacia do Igarapé Grande, localizada no município de Boa Vista-RR, por meio do modelo HEC-HMS, com base em dados topográficos do MDE ALOS PALSAR, análise pluviométrica histórica e recente, e caracterização do uso e ocupação do solo. A partir dos resultados, busca-se contribuir com o planejamento urbano e com propostas de soluções sustentáveis para a drenagem da área em estudo.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo (Figura 1) foi estruturada em seis etapas: (i) aquisição e processamento de dados; (ii) delimitação da bacia hidrográfica; (iii) definição dos parâmetros hidrológicos; (iv) escolha da chuva de projeto; (v) simulação no HEC-HMS; e (vi) análise das vazões de projeto.

A delimitação da sub-bacia do Igarapé Grande foi realizada diretamente no software HEC-HMS, por meio do Módulo *Terrain Processing*, que permite o processamento automático de dados topográficos para fins hidrológicos. Para isso, foi utilizado como base um Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido a partir do sensor ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros, garantindo maior precisão na representação do relevo. A partir do MDE, foram gerados os principais elementos

hidrológicos do modelo, como a rede de drenagem, os divisores de água e as respectivas áreas de contribuição de cada sub-bacia, compondo assim a estrutura inicial do modelo hidrológico.

Figura 1 – Fluxograma metodológico



Para o cálculo do tempo de concentração, foi adotado o método empírico de Kirpich (1940), amplamente utilizado em bacias urbanas e rurais com pequenas áreas, dado por:

$$TC = 0,000323L^{0,77}S^{-0,385} \quad (1)$$

O método de perdas adotado foi o CN (*Curve Number*), conforme desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS, atual NRCS), o qual permite estimar o volume de escoamento direto com base no uso e ocupação do solo, tipo de solo e condição de umidade antecedente (CHOW et al., 1994). A equação fundamental do método é dada por:

$$P_{hex} = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)}, \text{ para } P > 0,2S \quad (2)$$

$$Q = 0, \text{ para } P \leq 0,2S$$

em que: Q é o escoamento direto (mm); P é a precipitação total (mm); S é o armazenamento potencial máximo de água no solo (mm), relacionado ao CN por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

Os valores médios de CN foram obtidos a partir de uma imagem *raster* disponibilizada por Jaafar et al. (2022), referente ao banco de dados GCN250, assumindo condição de umidade antecedente normal (CN II). A imagem foi processada em ambiente SIG para extrair a média ponderada dos valores de CN na sub-bacia.

Para a transformação da chuva em vazão, foi utilizado o método do hidrograma unitário dimensionado (HUST) do NRCS, compatível com a metodologia de perdas por CN. A propagação da vazão nos trechos de canais foi realizada pelo método de Muskingum-Cunge, que considera a atenuação da onda de cheia com base em parâmetros como comprimento do curso d'água, declividade e tempo de propagação (FELLOWS; HOUNSLAW, 1998).

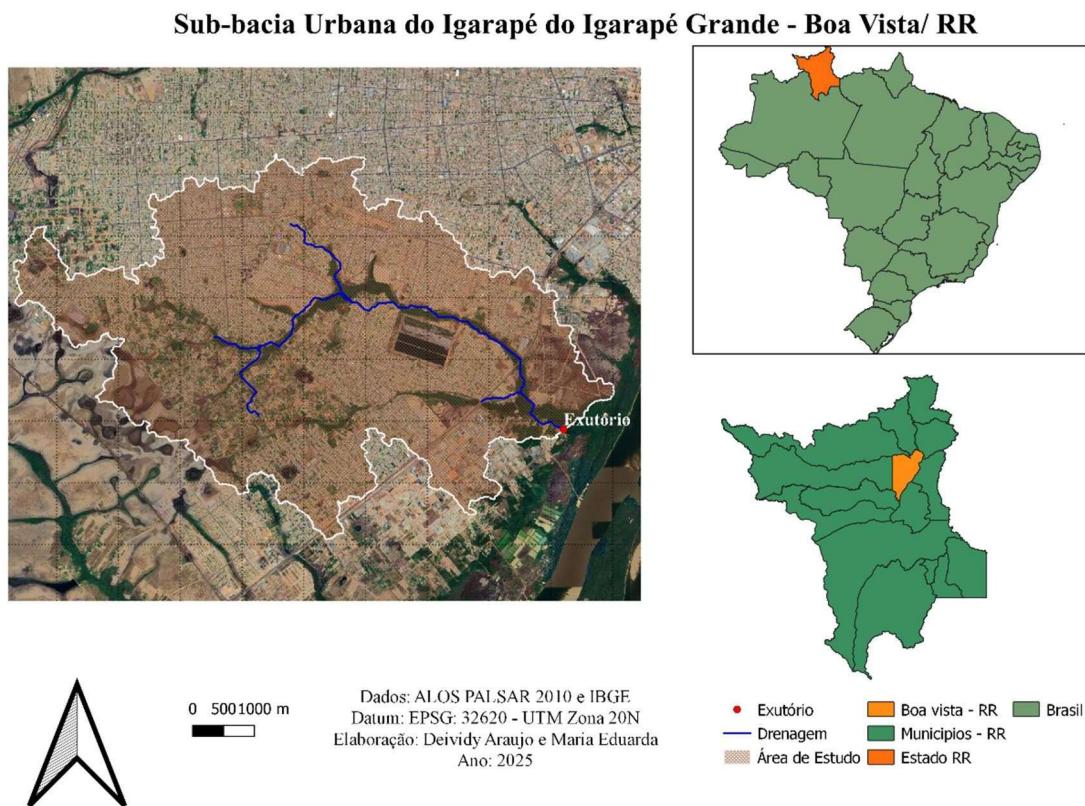
Inicialmente, foi realizada uma análise estatística da série histórica de precipitação de mais de 30 anos de um pluviômetro do INMET na cidade de Boa Vista, com o objetivo de compreender o regime de chuvas local. Em complemento, foi selecionado um evento extremo recente registrado em 08 de março de 2025, medido pela estação automática do CEMADEN (bairro Pricumã), para simulação de um cenário real de inundação urbana. Com os dados processados e o modelo hidrológico

elaborado, foram realizadas simulações das vazões de pico e volumes escoados em diferentes sub-bacias geradas automaticamente pelo HEC-HMS.

3. RESULTADOS

A sub-bacia do Igarapé Grande (Figura 2) está localizada no perímetro urbano do município de Boa Vista, capital do estado de Roraima, extremo norte do Brasil. A região apresenta clima tropical do tipo Aw, com estação chuvosa predominante entre abril e agosto (ALVARES et al., 2013). Inserida na bacia hidrográfica do rio Branco, a sub-bacia é fortemente influenciada pelo processo de urbanização desordenada, o que tem provocado aumento do escoamento superficial e recorrência de alagamentos (SOUZA; MORAES, 2020).

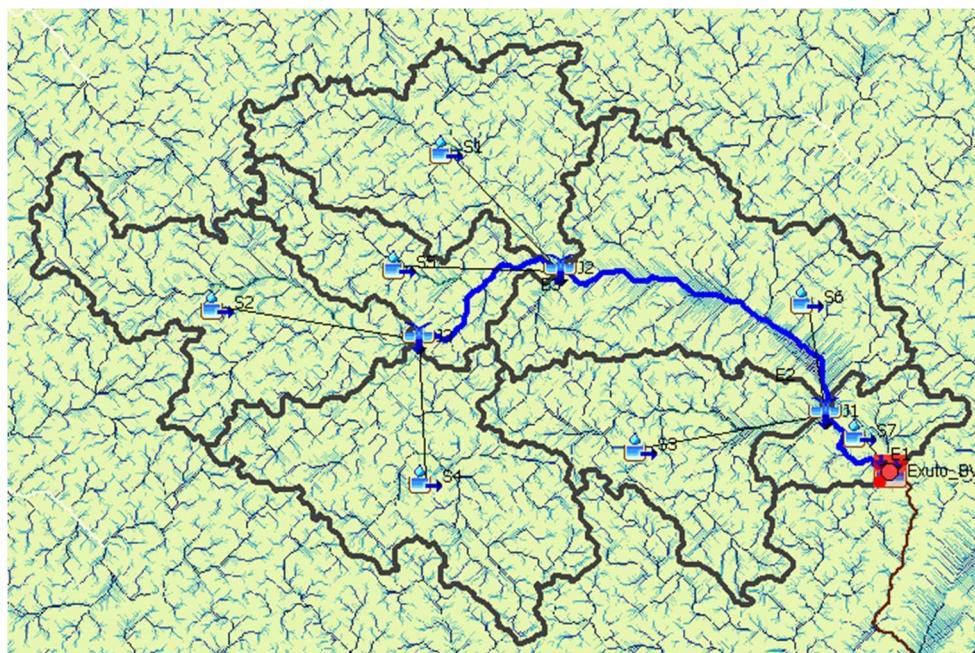
Figura 2 – Área de Estudo



A delimitação da bacia, realizada diretamente no HEC-HMS permitiu estimar uma área total de 32,03 km², tempo de concentração e uma declividade média de 0,001. Além disso, a sub-bacia engloba áreas críticas como os bairros Pricumã, Olímpico e Caranã, onde se observa crescimento urbano contínuo e déficit na infraestrutura de drenagem. Estudos recentes evidenciam a necessidade de modelagens hidrológicas em microbacias urbanas da Amazônia como ferramenta para planejamento sustentável e mitigação de riscos hidrológicos (SANTOS et al., 2021; SILVA et al., 2022).

A Figura 3 apresenta o modelo hidrológico da sub-bacia do Igarapé Grande desenvolvido no HEC-HMS, no qual a área de estudo foi subdividida automaticamente em sete sub-bacias contribuintes, interligadas por 3 trechos principais de cursos d'água. Essa estruturação permite uma representação mais precisa do comportamento hidrológico da bacia, possibilitando a simulação individualizada das respostas de cada unidade hidrológica conforme parametrização descrita na metodologia.

Figura 3 – Modelo HEC-HMS



A Tabela 1 expõe as principais características morfométricas das sub-bacias identificadas. Os dados apresentados referem-se a sete sub-bacias hidrográficas, com áreas a montante variando entre 1,57 km² (S7) e 6,98 km² (S6). Observa-se que os comprimentos dos maiores fluxos oscilam entre 2,34 km e 5,83 km, enquanto as declividades associadas variam de 0,0012 a 0,00704 m/m, indicando características geomorfológicas distintas entre as sub-bacias. Os tempos de concentração (Tc) e tempos de pico (Tp) refletem essas variações, com valores mais elevados nas sub-bacias de maior extensão e menor declividade, como S2 e S4, e valores reduzidos em áreas menores e mais íngremes, como S7. Esses parâmetros são fundamentais para a modelagem hidrológica e o planejamento de intervenções em drenagem urbana e controle de cheias.

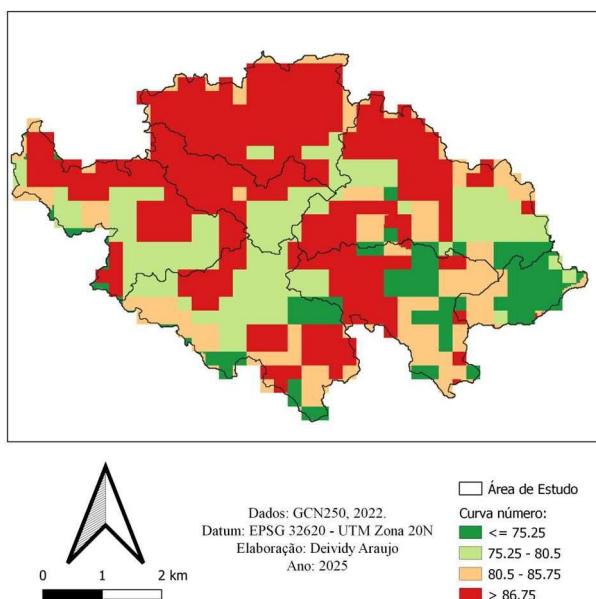
Tabela 1 – Características morfométricas

Sub-bacia	Área (km ²)	Comprimento do maior fluxo (km)	Declividade do maior fluxo (m/m)	Tempo de concentração (Tc) (min)	Tempo ao pico (Tp) (min)	Densidade de Drenagem (Km/Km ²)	Curva Número
S4	5,9305	4,69511	0,00128	170,19	102,11	0,28181	81,4
S2	5,0817	5,82965	0,0012	206,11	123,66	0,17064	83,7
S1	5,1475	4,91138	0,00244	137,44	82,46	0,3848	88,4
S5	2,6987	4,62129	0,00303	120,66	72,39	0,78619	85,9
S6	6,9833	5,68172	0,00264	149,16	89,5	0,55298	87,2
S3	4,618	4,83682	0,00227	139,66	83,8	0,15622	83,1
S7	1,5736	2,34465	0,00704	51,72	31,03	0,73493	76,3

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial do *Curve Number* (CN) obtida a partir de um arquivo *raster* disponibilizada por Jaafar et al. (2022), referente ao banco de dados GCN250, ano de 2022. Essa base de dados foi integrada ao modelo no HEC-HMS, permitindo a extração automática dos valores médios de CN (Tabela 1) para cada uma das sub-bacias delimitadas. Os valores de CN refletem as características de uso e ocupação do solo, tipo de solo e condição de umidade antecedente normal (CN II).

Figura 4 – Distribuição espacial do *Curve Number* (CN)

Distribuição de Curva Número na Sub-Bacia do Igarapé Grande Boa Vista - RR

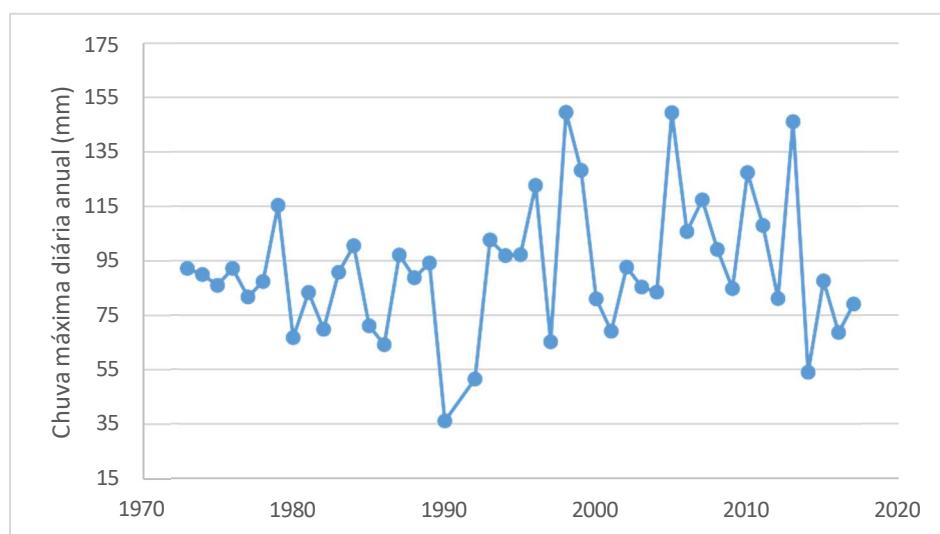


Para definição da chuva de entrada no modelo hidrológico, foi inicialmente realizada uma análise em dados históricos de precipitações máximas diárias anuais provenientes de um pluviômetro convencional monitorado pelo INMET, com registros diários (chuvas de 24 horas) no período de 1973 a 2017. As informações da estação pluviométrica estão apresentadas na Tabela 2, enquanto a distribuição das chuvas ao longo do período analisado encontra-se descrita na Figura 5. Observou-se uma média histórica de precipitação diária de 91,7 mm, valor que serviu como referência preliminar para caracterizar a intensidade das chuvas na região.

Tabela 2 – Postos pluviométrico utilizado (INMET – HidroWEB)

Código	Nome do posto	Município	Período de observação
8260000	Boa Vista	Boa Vista - RR	1973–2017

Figura 5 – Chuvas Máximas Diárias Anuais



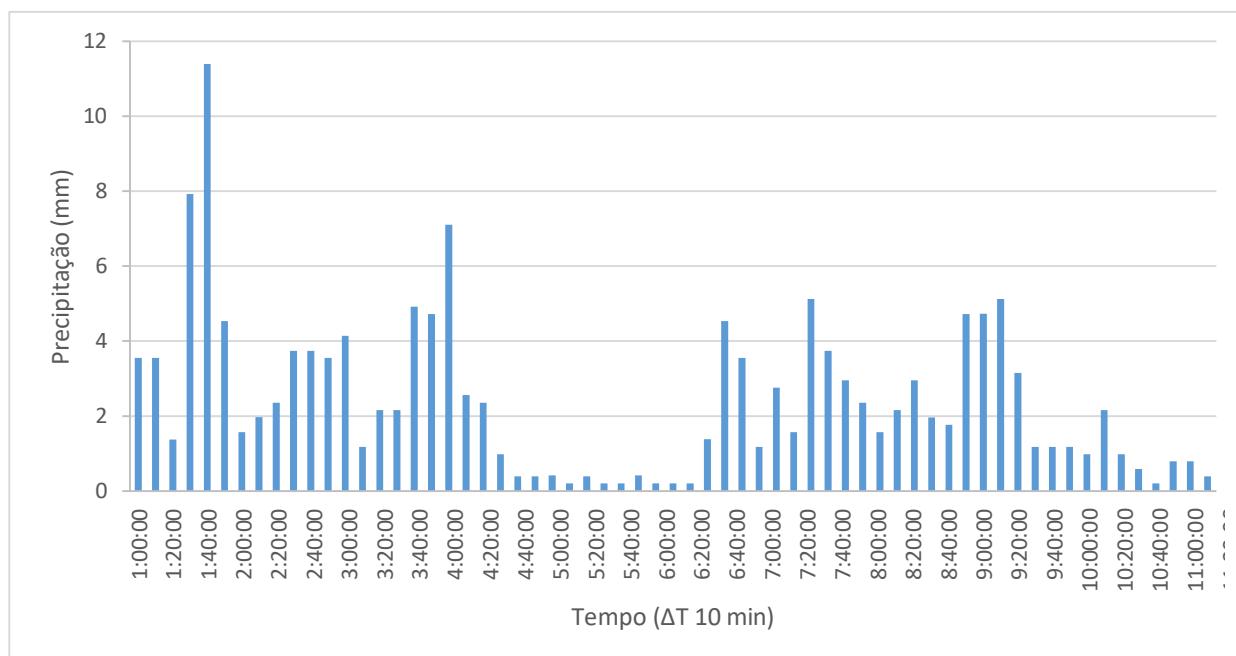
Visando maior precisão e realismo na modelagem, especialmente considerando a escala urbana e os impactos associados a eventos extremos, buscou-se por dados pluviográficos com maior resolução temporal. Verificou-se, com grande relevância para a pesquisa, a presença de uma estação pluviográfica automática operada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) situada no bairro Pricumã (Tabela 3), dentro da área de interesse. A partir da consulta a plataformas de notícias locais e bases de dados meteorológicos, foi identificado um evento de chuva intenso ocorrido entre os dias 8 de março de 2025 totalizou uma precipitação acumulada de aproximadamente 152,36 mm em um intervalo de cerca de 10 horas e 20 minutos. Esse valor excede consideravelmente a média histórica de 24 horas da região, estimada em 91,7 mm, conforme análise da série de 1973 a 2017. A diferença representa um acréscimo de cerca de 66% em relação à média, evidenciando que se trata de um evento extremo de precipitação. Dada a sua magnitude e localização coincidente com a sub-bacia do Igarapé Grande, esse evento foi selecionado como chuva de projeto para a simulação hidrológica no HEC-HMS.

O gráfico do evento registrado pela estação do CEMADEN encontra-se na Figura 6, onde é possível observar a evolução temporal da intensidade da precipitação ao longo das horas. Além do volume total elevado, destaca-se também a intensidade da chuva em determinados intervalos. Por exemplo, entre 01:30 e 01:40 foram registrados 11,39 mm em 10 minutos, o que demonstra a natureza torrencial do evento e a possibilidade significativa de geração de escoamento superficial intenso e rápida resposta hidrológica na bacia urbana.

Tabela 3 – Posto pluviométrico utilizado (CEMADEN)

Código	Nome do posto	Município	Período de observação
140010004A	Olímpico	Boa Vista - RR	08/03/2025

Figura 6 – Chuva de Projeto (08/03/2025)



A Tabela 4 apresenta o resumo global (*Global Summary*) gerado pelo HEC-HMS para a simulação hidrológica da sub-bacia do Igarapé Grande, com base no evento extremo de precipitação ocorrido em 8 de março de 2025.

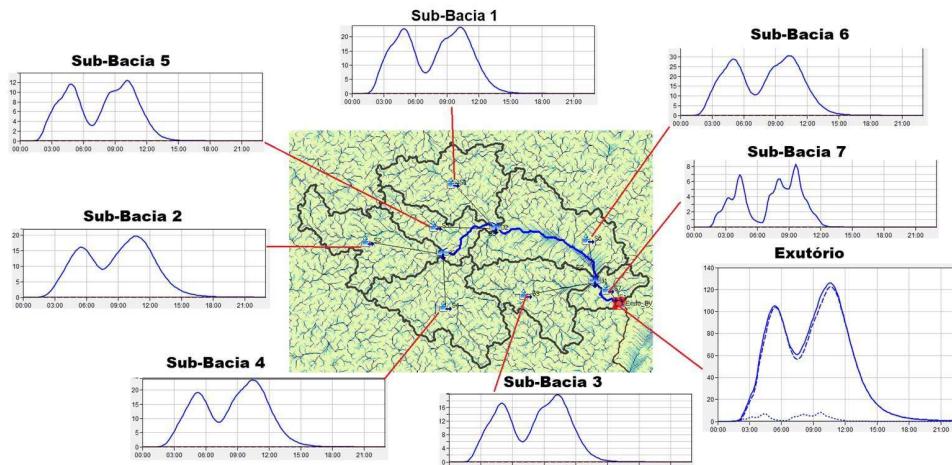
Tabela 4 – Resumo Global HEC-HMS

Elemento Hidrológico	Área de Drenagem (KM ²)	Vazão de Pico (m ³ /s)	Tempo de Pico	Volume (1000 m ³)
S4	5,9	23,6	8 março 2025, 10:30	591,4
S2	5,1	19,8	8 março 2025, 10:40	537,6
J3	11	43,2	8 março 2025, 10:30	1129
E3	11	43	8 março 2025, 10:50	1127,9
S1	5,1	23,3	8 março 2025, 10:20	610,6
S5	2,7	12,4	8 março 2025, 10:10	301,6
J2	18,9	76,7	8 março 2025, 10:30	2040,1
E2	18,9	74,4	8 março 2025, 10:50	2025,3
S6	7	30,7	8 março 2025, 10:20	805,3
S3	4,6	19,8	8 março 2025, 10:20	481,4
J1	30,5	122,5	8 março 2025, 10:30	3311,9
E1	30,5	122,6	8 março 2025, 10:40	3311
S7	1,6	8,2	8 março 2025, 09:40	136,3
Sink-1	32	126,1	8 março 2025, 10:40	3447,3

Os resultados indicam que a vazão de pico na saída da bacia (elemento Sink-1), cuja área de drenagem total é de 32 km², foi de 126,1 m³/s, com tempo de pico registrado às 10h40, e um volume total escoado de 3.447,3 mil m³. Destacam-se também os elementos J1 e E1, ambos com área de drenagem de 30,5 km², apresentando vazões de pico de 122,5 m³/s e 122,6 m³/s, respectivamente. As sub-bacias S1, S4 e S6 contribuíram com vazões de pico superiores a 23 m³/s, evidenciando sua importância no comportamento hidrológico da bacia.

A Figura 7 apresenta os hidrogramas de projeto gerados para cada sub-bacia do modelo hidrológico, permitindo visualizar a resposta individual de cada compartimento da bacia ao evento de chuva simulado. Esses dados demonstram a significativa resposta da bacia ao evento analisado, mesmo em um cenário com base em vazões sintéticas, destacando áreas com maior potencial de geração de escoamento superficial.

Figura 7 –Hidrogramas de projeto



Observa-se que na junção 2 e trecho 2 do rio, as vazões estimadas para os elementos J1 (122,5 m³/s) e E2 (74,4 m³/s), conforme apresentado no *Global Summary* do modelo HEC-HMS, são consideravelmente elevadas. Este trecho é particularmente sensível, pois abriga uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Em situações de escoamento superficial intenso, como o simulado, há risco de sobrecarga do sistema, podendo ocasionar o extravasamento ou mesmo o desvio parcial do esgoto tratado ou em tratamento para o sistema de drenagem pluvial. Tal condição representa um potencial risco ambiental e sanitário.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo apresentou a modelagem hidrológica da sub-bacia do Igarapé Grande, situada em Boa Vista – RR, por meio da aplicação do software HEC-HMS. A partir da delimitação da bacia e do processamento de dados geoespaciais. O modelo foi estruturado em sete sub-bacias e três trechos principais de rios, permitindo uma análise detalhada das contribuições individuais de cada unidade ao escoamento superficial.

O acumulado pluviométrico (registrado por uma estação automática do CEMADEN no dia 8 de março de 2025) superou a média histórica de 24 horas da região, representando um cenário crítico. O modelo adotou o método do *Curve Number* (CN) para estimativa de perdas iniciais, associado aos métodos do SCS para a transformação chuva-vazão e Muskingum para propagação do fluxo, o que forneceu resultados satisfatórios para uma análise preliminar.

Com base nos resultados obtidos na simulação hidrológica da sub-bacia do Igarapé Grande utilizando o HEC-HMS, foi possível identificar os principais pontos de contribuição para o escoamento superficial. A análise revelou que a maior vazão de pico ocorreu no ponto de exutório da bacia (elemento Sink-1), com valor de 126,1 m³/s e volume total de 3.447,3 mil m³. Destacam-se ainda as contribuições expressivas nos trechos J1 e E1, com vazões de 122,5 m³/s e 122,6 m³/s, respectivamente, e volumes superiores a 3.300 mil m³, o que demonstra a forte concentração de escoamento nessas áreas.

Dessa forma, conclui-se que a modelagem hidrológica baseada em dados geoespaciais e em evento extremo recente configura uma abordagem eficaz para análise preliminar de bacias urbanas, contribuindo para o planejamento territorial, a gestão de riscos hidrológicos e a promoção da sustentabilidade ambiental em áreas vulneráveis.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. HidroWEB. Disponível em: <https://mapa.snh.gov.br>. Acesso em: 07 jun. 2025.
- CARDOSO, G. C. et al. Aplicação do modelo HEC-HMS com uso de dados de sensoriamento remoto e geotecnologias para estimativa de vazões em bacias urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 28, n. 2, p. 1–15, 2023. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.2822023012>
- CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. Dados pluviométricos. 2025. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br>. Acesso em: 07 jun. 2025.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1994.
- FELIX, R. F. et al. Modelagem hidrológica com o HEC-HMS para apoio ao planejamento urbano. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 5, p. 835–844, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522021194234>

- FELIX, S. M.; FERREIRA, G. B.; PINTO, M. F. Modelagem hidrológica com o HEC-HMS em bacias hidrográficas urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 26, n. 4, e44, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262020200185>
- FELLOWS, G.; HOUNSLOW, E. W. *Hydrology and Floodplain Analysis*. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- JARIOLLANO, C. R. P.; OLIVEIRA, R. S.; FERREIRA, M. A. Delimitação automática de bacias hidrográficas a partir de MDE do sensor ALOS PALSAR. *Revista Geonorte*, v. 10, n. 37, p. 133-148, 2019.
- JAAFAR, Hadi H.; AHMAD, Farah A.; EL BEYROUTHY, Naji. GCN250: new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. *Scientific Data*, [S.I.], v. 9, n. 1, p. 1–11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01424-2>.
- KIRPICH, Z. P. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.
- LIMA, D. S. et al. Avaliação da eficiência do modelo HEC-HMS na estimativa de vazões em áreas com escassez de dados hidrológicos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 2, p. 534–548, 2022.
- MARTINEZ, C. B.; MAGALHÃES, L. A. Avaliação de alternativas para controle do escoamento superficial urbano com base em modelagem hidrológica. *Revista Engenharia Civil*, n. 60, p. 57–70, 2011.
- MONTEIRO, J. E. B. A.; LIMA, A. F.; SANTOS, F. F. Avaliação dos impactos da urbanização sobre o escoamento superficial em bacia urbana. *Revista Engenharia Civil*, v. 65, p. 47–60, 2020.
- MONTENEGRO, S. M. G. L.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi-arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 434-435, p. 55–68, 2012.
- PREFEITURA DE BOA VISTA. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Boa Vista. Secretaria Municipal de Obras, 2022. Disponível em: <https://boavista.rr.gov.br>
- SANTOS, A. D.; COSTA, M. L.; AMORIM, R. M. Aplicação de MDEs no mapeamento e análise morfométrica de bacias hidrográficas: uma abordagem com dados ALOS e SRTM. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 29, n. 1, p. 1–19, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1982-21702023000100001>
- SANTOS, R. F. et al. Avaliação de cenários de uso do solo em bacia urbana amazônica utilizando modelagem hidrológica. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 29, n. 3, p. 240–248, 2021.
- SCS – SOIL CONSERVATION SERVICE. *National Engineering Handbook: Section 4 - Hydrology*. Washington, D.C., 1985.
- SILVA, D. A. et al. Modelagem hidrológica em bacias urbanas da região Norte do Brasil: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 27, e13, 2022.
- SILVA, R. P. et al. Integração de geotecnologias e modelagem hidrológica para análise de riscos em bacias urbanas. *Revista Geociências*, v. 40, n. 1, p. 123–137, 2021.
- SOUSA, L. M. et al. Diagnóstico da drenagem urbana na cidade de Boa Vista-RR: desafios e perspectivas. *Anais do Simpósio de Engenharia Ambiental da Amazônia Legal*, 2023.
- SOUZA, M. A.; MORAES, A. C. M. Expansão urbana e riscos hidrológicos em cidades amazônicas: o caso de Boa Vista-RR. *Revista Geonorte*, v. 11, n. 41, p. 289–307, 2020.
- TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007.
- TUCCI, C. E. M. Gestão da drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 2008.
- USACE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *HEC-HMS User's Manual*, Version 4.10. Davis, CA: Hydrologic Engineering Center, 2021.
- USACE – U.S. Army Corps of Engineers. *HEC-HMS User's Manual*. Version 4.11. Davis, CA: Hydrologic Engineering Center, 2023.