

ESTIMATIVA DE VAZÕES DE PROJETO NO IGARAPÉ BALIZA-RR UTILIZANDO O MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

ESTIMATION OF DESIGN FLOWS IN THE IGARAPÉ BALIZA-RR USING THE HEC-HMS HYDROLOGICAL MODEL

TÍTULO EM ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO EN EL IGARAPÉ BALIZA-RR UTILIZANDO EL MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

Deivid Kaik de Lima Araujo¹ ; Débora Almeida Evangelista^{2*} ; Manoel Moises Ferreira de Queiroz³ ; Antonio Rondinelly da Silva Pinheiro⁴ ; Maria Eduarda dos Santos Viana⁵

¹Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor no Instituto Federal de Roraima (IFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil; ²Graduação pelo Instituto Federal de Roraima (IFRR). Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental (IFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil; ³Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil; ⁴Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professor na Escola Estadual 26 de Junho, Major Sales, Rio Grande do Norte, Brasil. ⁵Graduação pelo Instituto Federal de Roraima (IFRR). Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental (IFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil.

*Autor correspondente: debora.e@academico.ifrr.edu.br.

Recebido: 10/08/2025 | Aprovado: 25/08/2025 | Publicado: 06/09/2025

Resumo: A intensificação de eventos hidrológicos extremos nas últimas décadas tem evidenciado a necessidade de estudos mais precisos sobre a resposta hidrológica de pequenas bacias hidrográficas, especialmente na região amazônica, onde o uso e ocupação do solo vêm se modificando rapidamente. A modelagem hidrológica é uma ferramenta essencial para a estimativa de vazões de projeto e para o suporte à gestão de riscos e ao planejamento territorial. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo estimar as vazões de pico na sub-bacia do igarapé Baliza, localizada no município de São João da Baliza – RR, por meio do modelo HEC-HMS. A delimitação da bacia foi realizada com base em um Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR, totalizando uma área de 8,19 km². Os dados pluviométricos foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA), e a distribuição temporal das chuvas foi determinada pelo método de Huff (1º quartil). O tempo de concentração foi calculado pelo método de Kirpich (101,43 min) e o lag time como 60% desse valor. O método SCS-CN foi utilizado para estimar as perdas, com valores de CN entre 65 e 98, resultando em retenções potenciais de 21,77 a 108,85 mm. As vazões de pico estimadas foram: 14,1; 20,1; 25,8 e 32,7 m³/s para os períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos, respectivamente. Os resultados demonstram a aplicabilidade do HEC-HMS para modelagem hidrológica em bacias amazônicas e sua importância para a tomada de decisão em contextos urbanos e ambientais.

Palavras-chave: Modelos hidrológicos. Vazão de pico. SCS-CN. Eventos extremos.

Abstract: The intensification of extreme hydrological events in recent decades has highlighted the need for more accurate studies on the hydrological response of small river basins, especially in the Amazon region, where land use and occupation have been changing rapidly. Hydrological modeling is an essential tool for estimating design flows and for supporting risk management and territorial planning. In this context, this study aimed to estimate peak flows in the Baliza stream sub-basin, located in the municipality of São João da Baliza - RR, using the HEC-HMS model. The basin was delimited based on a Digital Elevation Model (DEM) from the ALOS PALSAR satellite, totaling an area of 8.19 km². Rainfall data were

obtained from the National Water Agency (ANA), and the temporal distribution of rainfall was determined by the Huff method (1st quartile). The time of concentration was calculated by the Kirpich method (101.43 min) and the lag time as 60% of this value. The SCS-CN method was used to estimate losses, with CN values between 65 and 98, resulting in potential retentions of 21.77 to 108.85 mm. The estimated peak flows were: 14.1; 20.1; 25.8 and 32.7 m³/s for the return periods of 10, 25, 50 and 100 years, respectively. The results demonstrate the applicability of HEC-HMS for hydrological modeling in Amazon basins and its importance for decision-making in urban and environmental contexts.

Keywords: Hydrological models. Peak flow. SCS-CN. Extreme events.

Resumen: La intensificación de los eventos hidrológicos extremos en las últimas décadas ha puesto de relieve la necesidad de realizar estudios más precisos sobre la respuesta hidrológica de pequeñas cuencas hidrográficas, especialmente en la región amazónica, donde el uso y la ocupación del suelo han estado cambiando rápidamente. La modelización hidrológica es una herramienta esencial para estimar caudales de diseño y apoyar la gestión de riesgos y la planificación territorial. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo estimar los caudales máximos en la subcuenca del arroyo Baliza, ubicada en el municipio de São João da Baliza – RR, utilizando el modelo HEC-HMS. La cuenca fue delimitada con base en un Modelo Digital de Elevación (DEM) del satélite ALOS PALSAR, totalizando una superficie de 8,19 km². Los datos de precipitaciones se obtuvieron de la Agencia Nacional del Agua (ANA) y la distribución temporal de las precipitaciones se determinó utilizando el método de Huff (primer cuartil). El tiempo de concentración se calculó mediante el método de Kirpich (101,43 min) y el tiempo de retardo como el 60% de este valor. Para la estimación de pérdidas se utilizó el método SCS-CN, con valores de CN entre 65 y 98, resultando retenciones potenciales de 21,77 a 108,85 mm. Los caudales máximos estimados fueron: 14,1; 20,1; 25,8 y 32,7 m³/s para los períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, respectivamente. Los resultados demuestran la aplicabilidad de HEC-HMS para el modelado hidrológico en cuencas amazónicas y su importancia para la toma de decisiones en contextos urbanos y ambientales.

Palabras-clave: Modelos hidrológicos. Caudal máximo. SCS-CN. Eventos extremos.

1 INTRODUÇÃO

O A crescente ocupação urbana e as alterações no uso e cobertura do solo nas últimas décadas têm provocado significativos impactos sobre o ciclo hidrológico natural, alterando a geração do escoamento superficial e aumentando a frequência e intensidade de eventos extremos, como inundações e enxurradas (Tucci, 2012; Beskow *et al.*, 2018). Nesse contexto, a modelagem hidrológica tem se consolidado como uma ferramenta essencial para a análise e o planejamento de recursos hídricos, permitindo a simulação de vazões de projeto sob diferentes cenários hidrometeorológicos e de uso do solo.

Entre os modelos hidrológicos disponíveis, destaca-se o Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers. Trata-se de um modelo amplamente utilizado em estudos de bacias hidrográficas, que permite simular o processo chuva-vazão com base em diferentes métodos de perdas, transformações de escoamento e propagação (Fellows *et al.*, 2020). Sua flexibilidade, interface gráfica intuitiva e integração com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm favorecido sua adoção em estudos aplicados à engenharia civil e ambiental (Costa *et al.*, 2022).

A estimativa de vazões de projeto por meio de modelos semi-distribuídos como o HEC-HMS requer a adequada delimitação da bacia hidrográfica, além da seleção criteriosa de parâmetros como tempo de concentração, curva número (CN) e distribuição temporal da chuva. Nesse sentido, a utilização de dados de sensoriamento remoto, como Modelos Digitais de Elevação (MDE), tem viabilizado a delimitação automatizada de bacias hidrográficas com maior precisão e rapidez, especialmente em áreas de difícil acesso (Freitas *et al.*, 2019).

O presente trabalho tem como objetivo estimar vazões de projeto no Igarapé Baliza, localizado no município de São João da Baliza – RR, por meio da aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS. Para isso, foram utilizados dados de precipitação histórica obtidos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), modelagem do tempo de concentração com o método de Kirpich, distribuição temporal de chuvas pelo método de Huff (1º quartil), e o método de perdas por meio do *Curve Number* do Soil Conservation Service (SCS). A delimitação da bacia foi realizada diretamente no HEC-HMS a partir de um MDE obtido via satélite ALOS PALSAR e posteriormente refinada no QGIS para fins de visualização cartográfica.

Este estudo contribui para o avanço do conhecimento técnico aplicado à gestão de recursos hídricos na Amazônia Legal, fornecendo subsídios para obras de drenagem urbana, contenção de cheias e planejamento territorial sustentável no estado de Roraima.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do igarapé Baliza, localizada no município de São João da Baliza, situado na porção sudeste do estado de Roraima, na região Norte do Brasil. O município está inserido na bacia hidrográfica do rio Branco, pertencente à bacia amazônica, sendo está uma das maiores bacias hidrográficas do mundo em termos de extensão e volume de água (ANA, 2020; Ribeiro *et al.*, 2021). A sede municipal encontra-se nas coordenadas geográficas aproximadas de 00°57'40" S e 59°54'30" W, a uma altitude média de 100 metros acima do nível do mar. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), São João da Baliza possui população estimada em 8.464 habitantes e apresenta um cenário de urbanização em crescimento, o que demanda planejamento territorial e gestão integrada de recursos hídricos (Nascimento *et al.*, 2020).

Figura 1 – Município de Estudo.



Fonte: Assembleia Legislativa de Roraima (2021).

A bacia do igarapé Baliza possui relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, com altitudes

variando entre 90 e 170 metros. A área apresenta cobertura vegetal composta por fragmentos de floresta ombrófila densa, pastagens, áreas agrícolas e ocupações urbanas esparsas. O uso e ocupação do solo vêm sofrendo transformações significativas nas últimas décadas, motivadas pelo avanço da fronteira agrícola e pelo crescimento urbano, o que influencia diretamente os processos hidrológicos da bacia, como escoamento superficial e infiltração (Silva *et al.*, 2020; Bezerra *et al.*, 2021).

O clima regional é classificado como Am – equatorial monçônico, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, com temperatura média anual superior a 26 °C e precipitação anual média entre 2.000 mm e 2.500 mm (Alvares *et al.*, 2013; Peel *et al.*, 2007). A estação chuvosa estende-se de dezembro a junho, com picos pluviométricos entre março e maio, o que confere ao regime hidrológico da bacia forte sazonalidade e elevada geração de escoamento superficial durante eventos extremos.

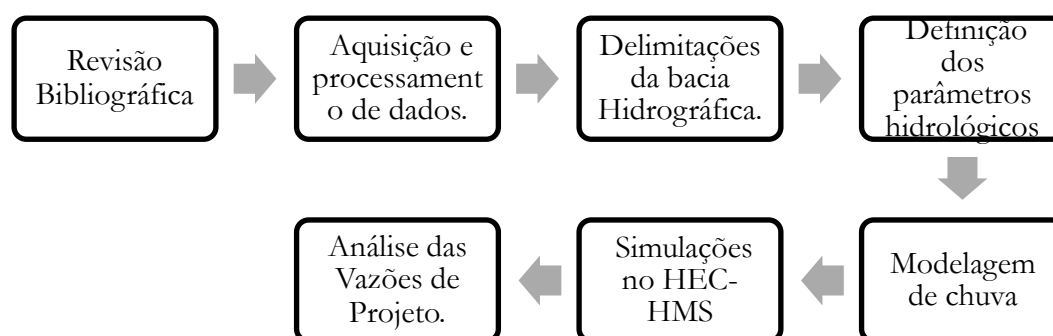
Essas características tornam a bacia do igarapé Baliza um ambiente adequado para estudos de simulação hidrológica, sobretudo com foco em modelagem de eventos críticos e estimativas de vazões de projeto, considerando as exigências para dimensionamento de obras de infraestrutura urbana, drenagem pluvial e manejo de águas pluviais em áreas com crescente ocupação antrópica (Tucci, 2009; Mello *et al.*, 2021).

Além disso, a utilização de modelos como o HEC-HMS, aliada ao emprego de dados derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos via satélite, como o ALOS PALSAR, e sua posterior análise geoespacial no ambiente QGIS, reforçam a abordagem integrada e técnico-científica adotada para o diagnóstico hidrológico da área (Shimada *et al.*, 2014; Medeiros *et al.*, 2020).

2.2 Metodologia da pesquisa

A metodologia adotada neste estudo (Figura 2) foi estruturada em seis etapas: (i) aquisição e processamento de dados; (ii) delimitação da bacia hidrográfica; (iii) definição dos parâmetros hidrológicos; (iv) modelagem da chuva; (v) simulação no HEC-HMS; e (vi) análise das vazões de projeto.

Figura 2 – Fluxograma Metodológico.



Fonte: Autores, 2025

Foram utilizados dados topográficos obtidos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite

ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros. Esses dados foram empregados na delimitação da bacia e na extração de parâmetros morfométricos da área de estudo. As séries históricas de precipitação foram obtidas do banco de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), considerando estações próximas ao município de São João da Baliza – RR, com séries superiores a 20 anos.

A delimitação da bacia foi realizada diretamente no HEC-HMS, utilizando ferramentas de delineamento com base no MDE. Após correções topológicas, a rede de drenagem e os divisores de água foram gerados automaticamente. O ponto de exutório foi definido a jusante do igarapé Baliza. Os shapefiles gerados foram exportados para o software QGIS, onde foram utilizados para a elaboração dos mapas temáticos e de localização da bacia hidrográfica. O tempo de concentração (T_c) foi estimado pelo método empírico de Kirpich (1940), dado por:

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

em que L é o comprimento do curso d'água principal (m) e S é a declividade média do talvegue (m/m), ambos extraídos da geometria da bacia no HEC-HMS. Os cálculos foram organizados em planilhas Excel.

A altura da chuva para diferentes períodos de retorno ($TR = 10, 25, 50$ e 100 anos) foi estimada com base nos dados históricos da estação pluviométrica da ANA, utilizando-se análise estatística de frequência. A distribuição temporal das chuvas foi definida segundo o método de Huff (1967), 1º quartil, por ser adequado para eventos intensos e concentrados no início da tempestade, conforme recomendado por Tucci (2008). A duração da chuva crítica foi determinada a partir de testes sucessivos no HEC-HMS, identificando aquela que resultava na maior vazão de pico para cada período de retorno analisado. Simulação Hidrológica no HEC-HMS. O modelo hidrológico foi construído no HEC-HMS com base nas sub-bacias geradas automaticamente a partir do MDE. A simulação foi realizada para eventos de chuva com os quatro diferentes períodos de retorno. As configurações do projeto incluíram: Método de perda: *Curve Number* (CN) e Transformação chuva-vazão pelo Hidrograma Unitário SCS. O método de perdas adotado, SCS *Curve Number*, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS) - atualmente NRCS, que relaciona a precipitação total com o escoamento direto, levando em conta características do solo, uso e cobertura do solo e condição de umidade antecedente. A equação fundamental é:

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

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

onde:

- Q é a lâmina de escoamento superficial direto (mm),
- P é a precipitação total (mm),
- S é o armazenamento potencial de água no solo (mm), calculado por:

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

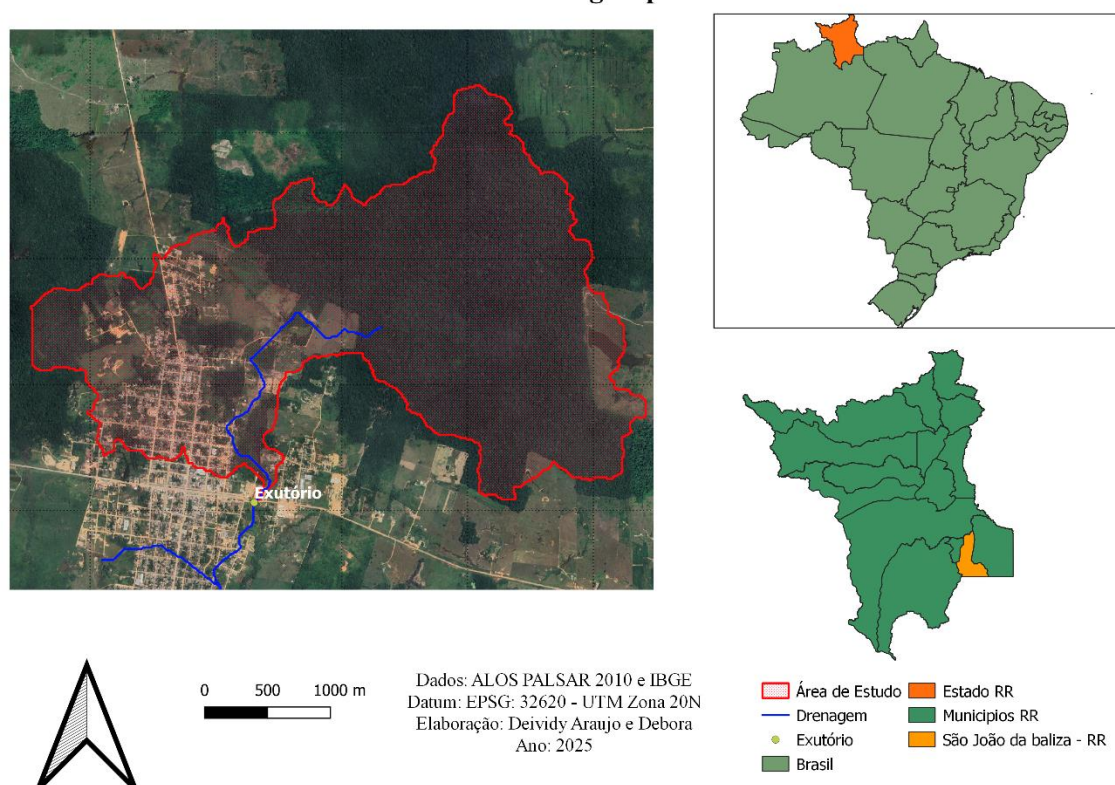
Após a simulação, as vazões de pico geradas para cada evento foram analisadas e comparadas, buscando

identificar o comportamento hidrológico da bacia sob diferentes intensidades de precipitação. Os resultados foram organizados em tabelas e gráficos, permitindo a avaliação da resposta hidrológica do Igarapé Baliza e subsidiando futuros projetos de infraestrutura hidráulica e planejamento urbano.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

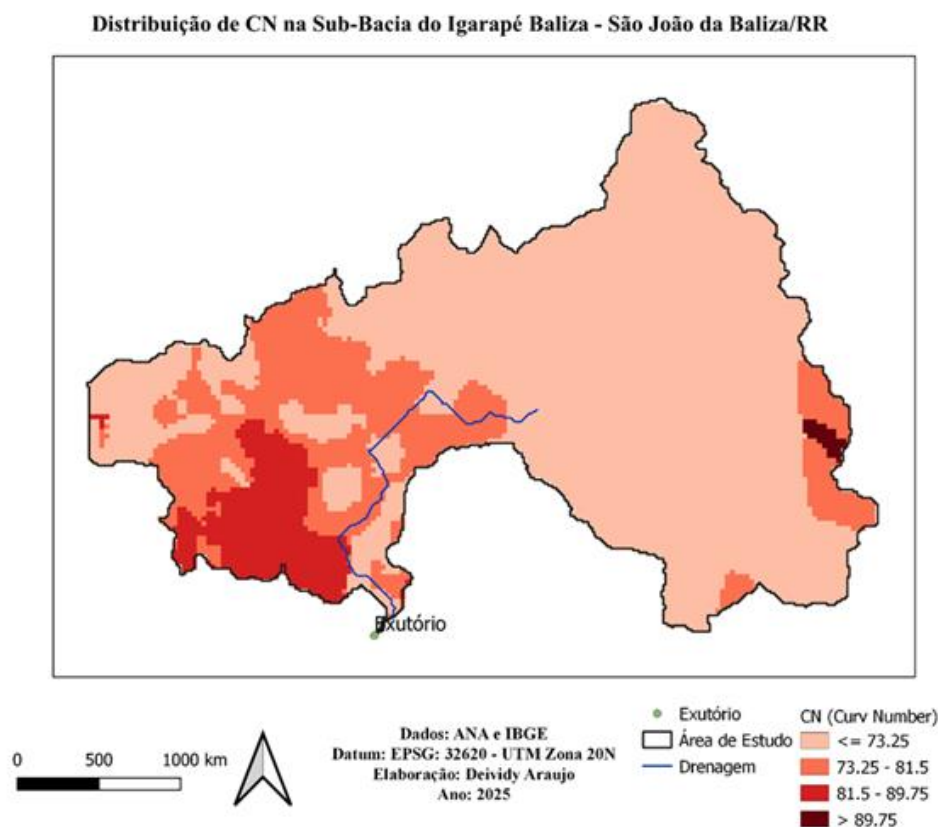
A Figura 3 apresenta a delimitação da sub-bacia do igarapé Baliza, realizada a partir do processamento hidrológico do Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR no ambiente do HEC-HMS, com apoio das ferramentas de extração automática de rede de drenagem e divisores topográficos. A sub-bacia delimitada possui área de 8,19 km², comprimento do caminho de fluxo mais longo igual a 6,19 km, e declividade média ao longo desse percurso de 0,0085 m/m, parâmetros essenciais para a caracterização hidrológica e estimativa do tempo de concentração, conforme orientações metodológicas descritas por Chow, Maidment & Mays (1994) e por Feldman (2000).

Figura 3 – Área de Estudo.
Sub-bacia Urbana do Igarapé da Baliza - RR



Fonte: Autores, 2025.

Com base nos valores de $L=6,190$ km e $S=0,0085$ m/m, obteve-se um tempo de concentração de 101,43 minutos. Para fins de modelagem hidrológica no HEC-HMS, o tempo de tipo (*lag time*) foi estimado como 60% do tempo de concentração, conforme recomendação do Soil Conservation Service (SCS, 1986), resultando em um valor de 60,86 minutos.

Figura 4 – Mapa de CN (*Curve Number*).

Fonte: Autores, 2025.

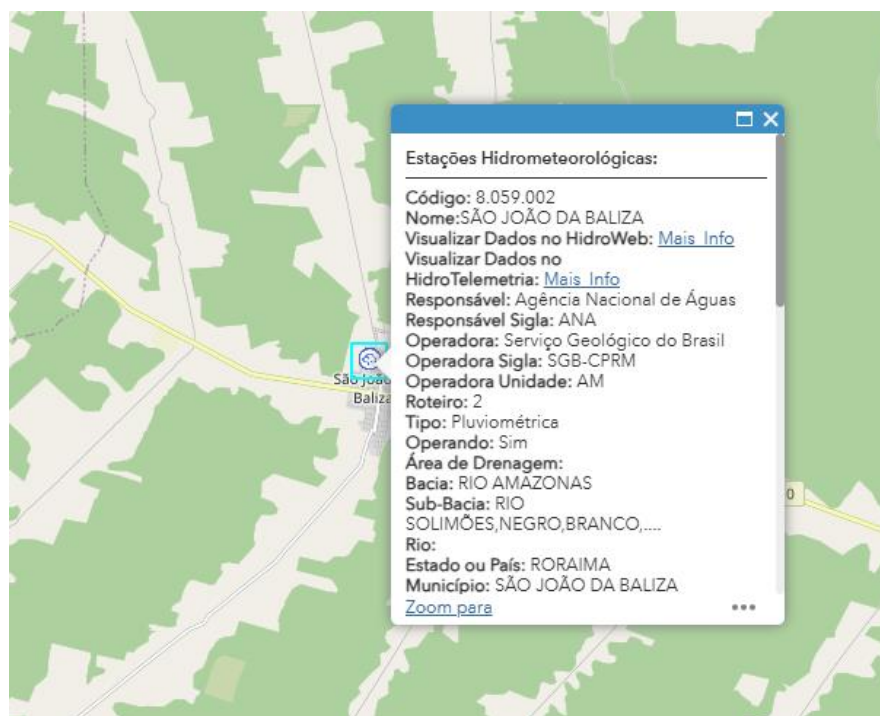
A Figura 4 apresenta a distribuição espacial dos valores do *Curve Number* (CN) na sub-bacia do igarapé Baliza, calculados a partir da combinação do raster proveniente das bacias otocodificadas da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). A análise estatística dos valores de CN resultou em um mínimo de 65, máximo de 98 e média de 70, refletindo uma variabilidade típica de áreas com uso misto, incluindo vegetação natural e áreas urbanizadas em expansão. Com base nessa variação, as estimativas da retenção potencial máxima de água no solo (capacidade de armazenamento) — obtidas pela equação $S=25400/CN-254$ — resultaram em valores de 108,85 mm e 21,77 mm, que correspondem, respectivamente, a 80% e 20% da retenção potencial.

A modelagem da equação de chuva foi realizada utilizando dados pluviométricos disponibilizados pela ANA (Agência Nacional de Águas) por meio da plataforma Hidroweb. A partir desses dados, foram aplicadas análises estatísticas para caracterizar o regime de precipitação na região de estudo. Entre os métodos utilizados, destacam-se a distribuição de Gumbel, que foi empregada para a modelagem da intensidade da chuva, e a desagregação de chuva, que permitiu a divisão da precipitação total em eventos de diferentes durações.

Além disso, as Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) foram geradas para determinar a relação entre a intensidade da precipitação, o tempo de duração da chuva e a frequência de ocorrência desses eventos. A partir dessa análise, foram extraídos os coeficientes necessários para a formulação da equação de chuva, que foi posteriormente utilizada nos cálculos de vazão e dimensionamento do sistema de drenagem. Esse processo permitiu uma estimativa mais precisa dos parâmetros pluviométricos, fundamentais para a avaliação do comportamento hidrológico da área.

A figura 5 apresenta o pluviométrico utilizado para coleta de dados de chuvas do município de São João da Baliza - RR, equipamento é monitorado pela Agência Nacional de Águas, seus dados foram extraídos pela plataforma Hidroweb.

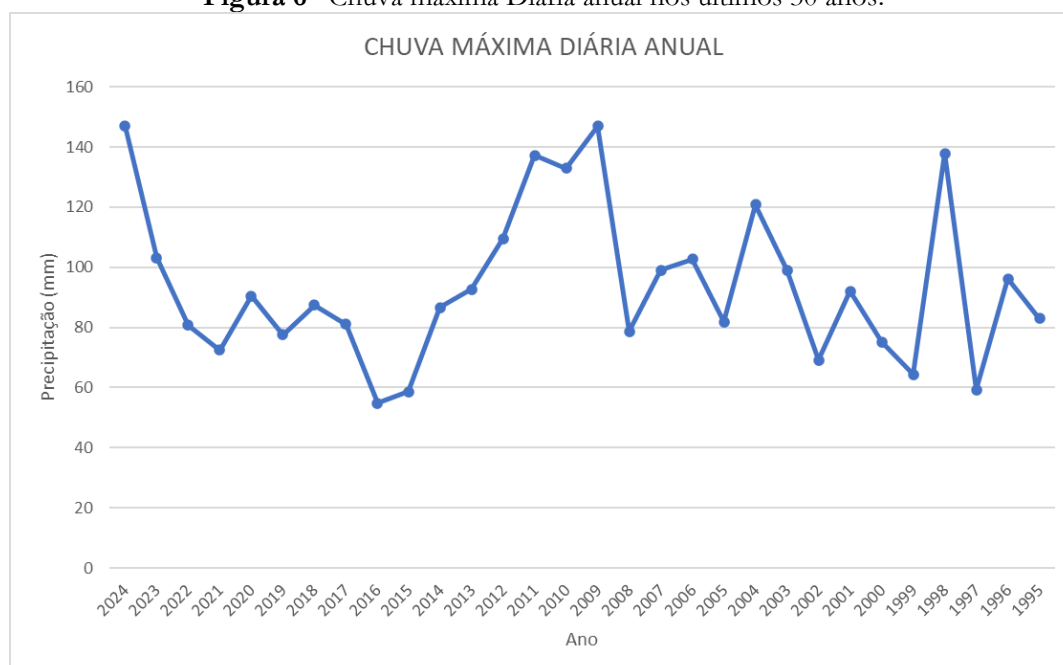
Figura 5 – Posto Pluviométrico escolhido (Código: 8059002).



Fonte: Autores, 2025.

A figura 6 apresenta chuva máxima diária anual nos últimos 30 anos registradas em milímetros entre os anos 1985 a 2024. O gráfico apresenta máximas de 140mm em 2009 e 2024 e valores mínimos de 60mm em 1991 e 2016. A média dos valores das precipitações nos últimas 30 anos corresponde a aproximadamente 91,3mm.

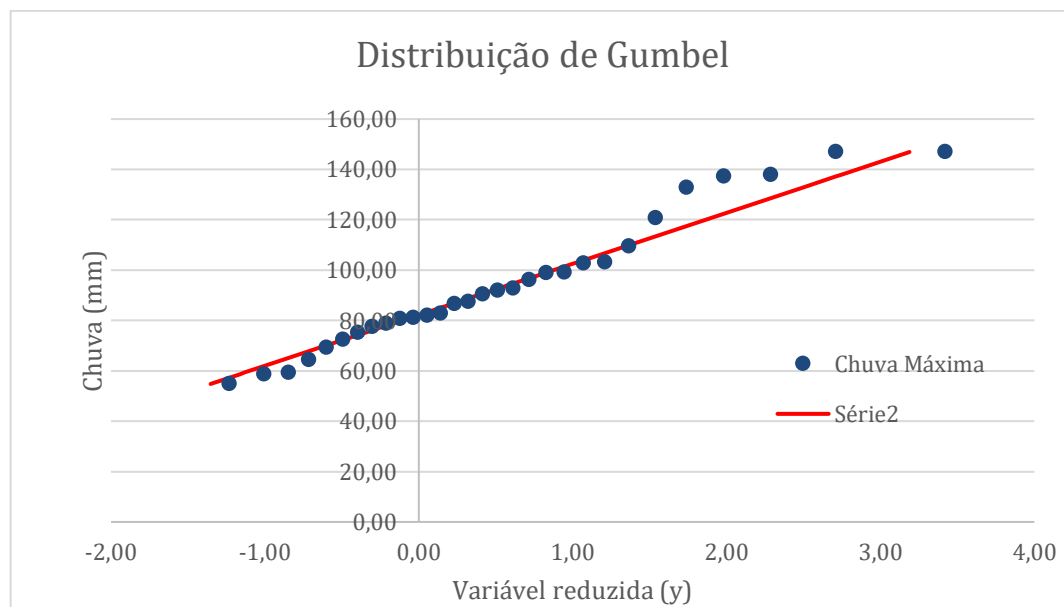
Figura 6 –Chuva máxima Diária anual nos últimos 30 anos.



Fonte: Autores, 2025.

A figura 7 apresenta a distribuição de gumbel, permitindo estimar a chuva máxima esperada nos tempos de retorno estabelecidos (TR 10, 25, 50, 100 anos). O eixo Y representa a precipitação máxima em mm e o eixo X apresenta a variável reduzida (y) da distribuição, utilizado para transformar o tempo de retorno em dados probabilísticos.

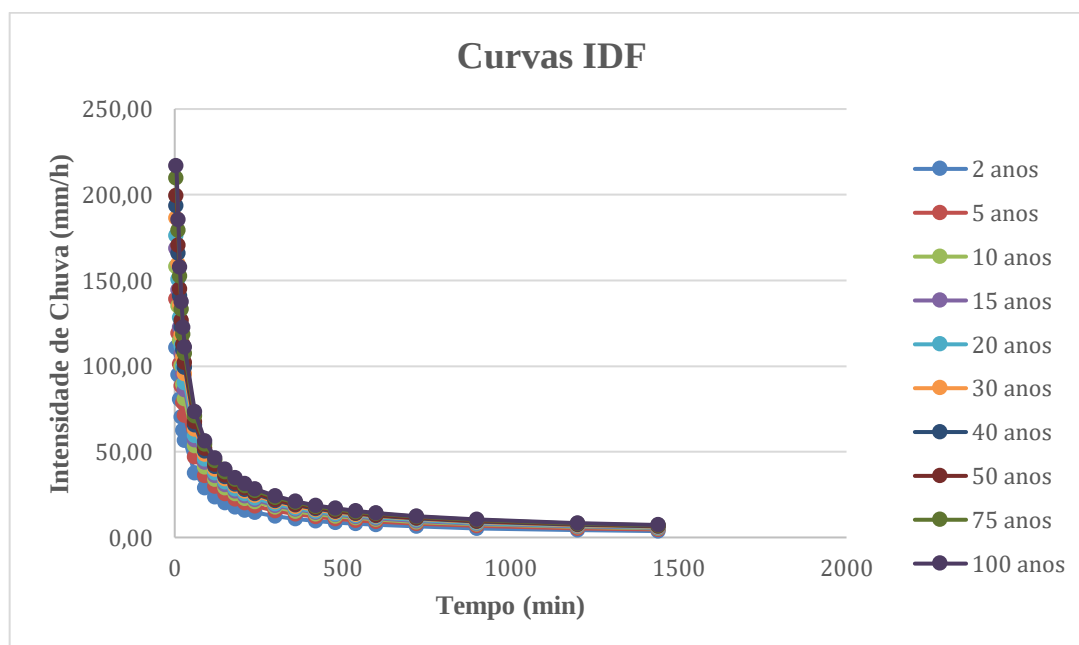
Figura 7 – Distribuição Gumbel.



Fonte: Autores, 2025.

A figura 8 apresenta as Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) geradas para determinar a intensidade da precipitação, o tempo de duração da chuva e a frequência de ocorrência. Após análise dos resultados obtidos originou-se a equação de chuva para bacia hidrográfica de estudo.

Figura 8 – Curvas IDF



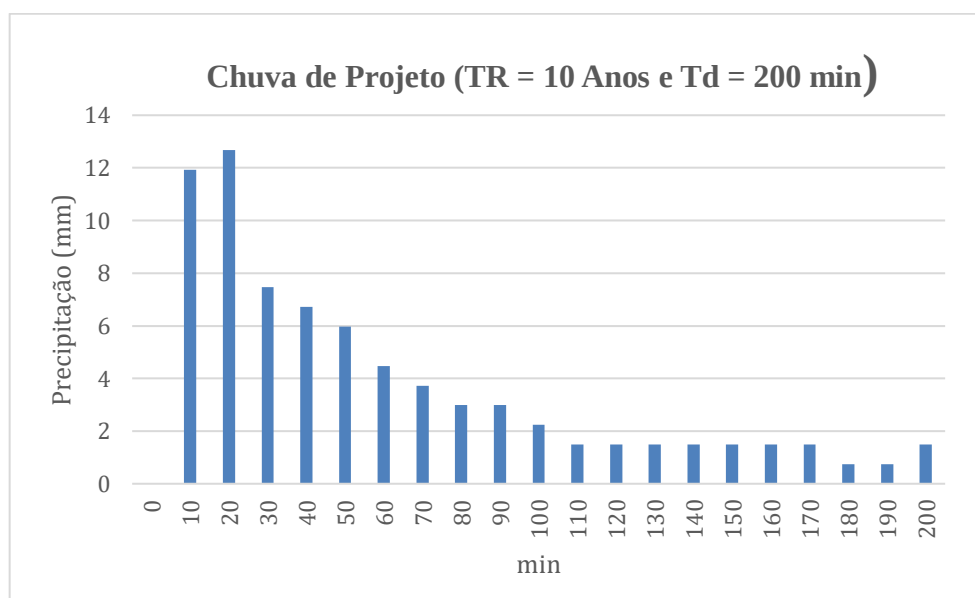
Fonte: Autores, 2025.

Por fim foi obtida a equação de chuva (Eq. 4) para devida área de estudo:

$$I = \frac{848,0081 \times T^{0,1658}}{(t+12)^{0,7498}} \quad \text{Eq. (4)}$$

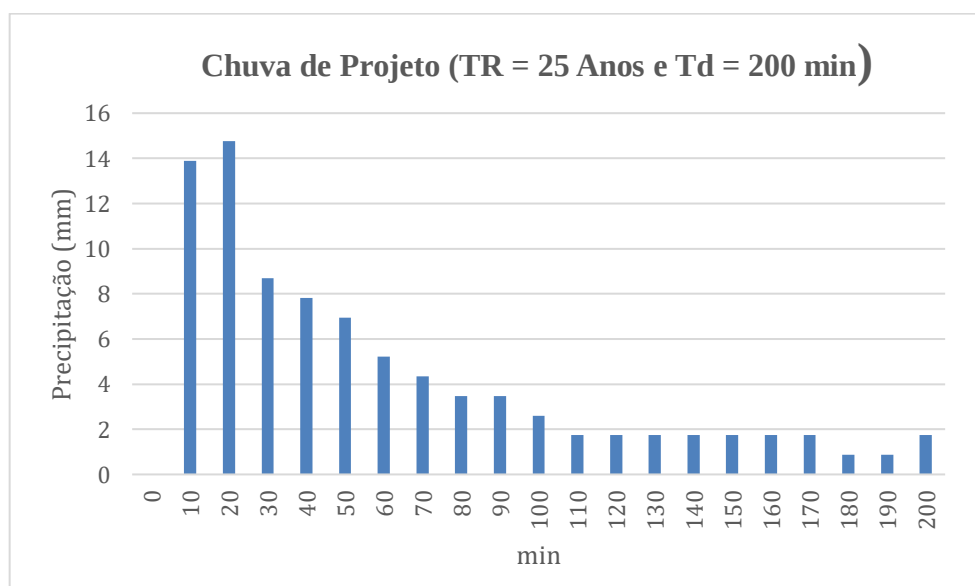
As figuras 9 a 12 apresentam a distribuição temporal determinada pelo método de Huff (1967), considerando o 1º quartil. Foi possível gerar as distribuições das chuvas e apresentá-las por meio de hietogramas de chuva.

Figura 9 – Chuva de Projeto.



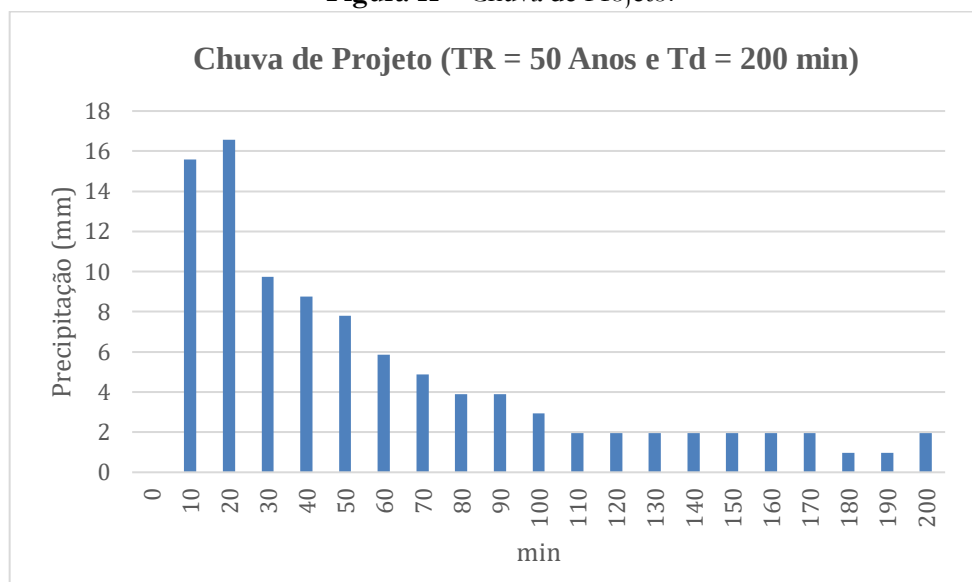
Fonte: Autores, 2025.

Figura 10 – Chuva de Projeto.



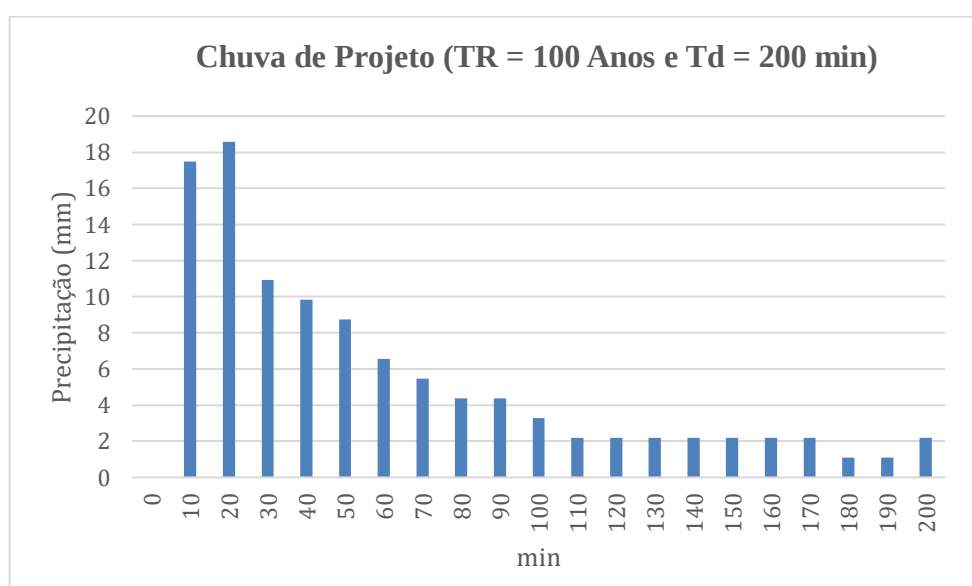
Fonte: Autores, 2025.

Figura 11 – Chuva de Projeto.



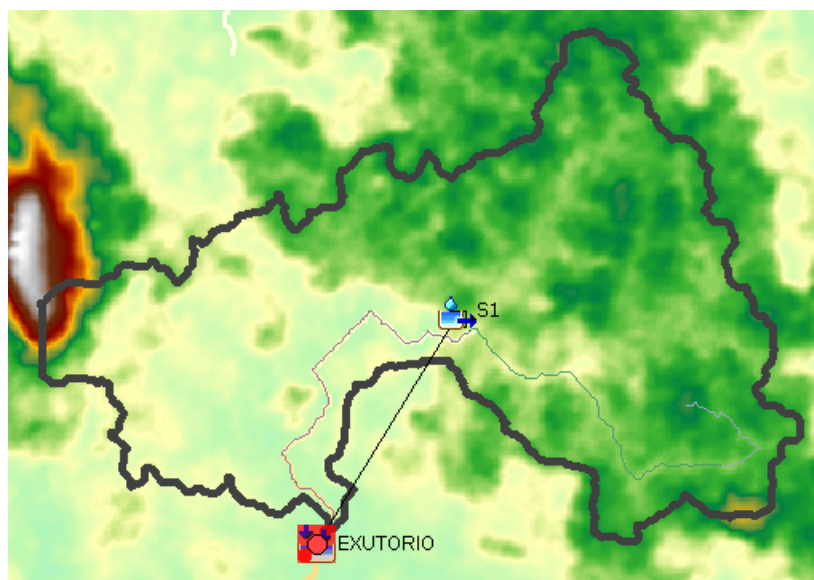
Fonte: Autores, 2025.

Figura 12 – Chuvas de Projeto.



Fonte: Autores, 2025.

Foram considerados tempos de retorno (TR) de 10, 25, 50 e 100 anos, todos com duração de chuva crítica em 200min. No tempo de retorno (TR) em 10 anos, demonstrou máxima nos 30 minutos iniciais de precipitação, alcançando valores superiores a 12mm. Considerando tempo de retorno (TR) de 25 anos demonstrou máxima também nos primeiros 30 minutos, com valores superiores a 14mm. No tempo de retorno (TR) de 50 anos, apresentou máximas nos 50 minutos iniciais, especificamente, os picos de intensidade ocorrem entre os 10 e 30 minutos com valores que ultrapassam 15mm e atingem cerca de 16,5mm. No tempo de retorno (TR) de 100 apresenta valores máximos de precipitação ultrapassando 18mm nos primeiros 20 minutos, atingindo 18,5mm.

Figura 13 – Modelo no HEC-HMS.

Fonte: Autores, 2025.

A figura 13 apresenta a Bacia Hidrográfica do igarapé Baliza no modelo Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC –HMS), nele consta a delimitação da bacia hidrográfica e Exutório. O método Soil Conservation Service (SCS) foi utilizado na elaboração bem como o *Curve Number* (CN).

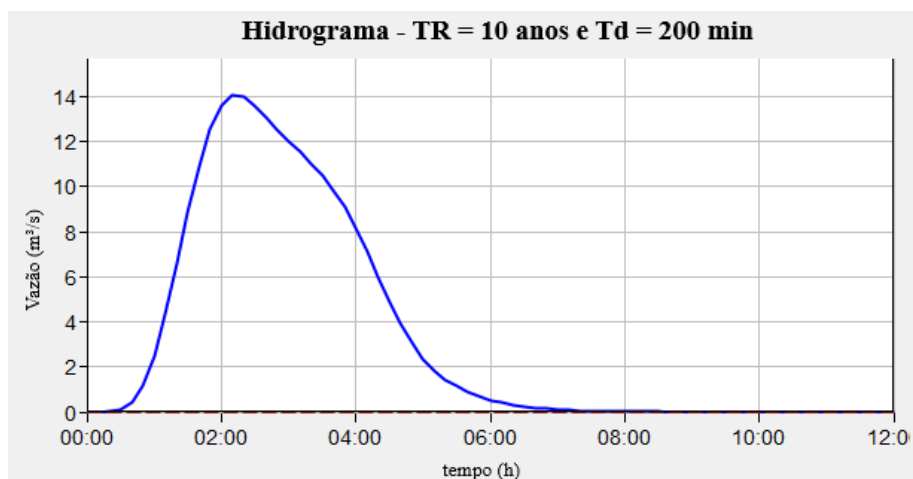
Figura 14 – Exutório Bacia Igarapé Baliza.

Fonte: Autores, 2025.

Após visita in loco constatou-se uma ponte sob a coordenada de exutório, insere-se um contexto de integração entre infraestrutura e meio ambiente, conforme apresentado pela figura 14.

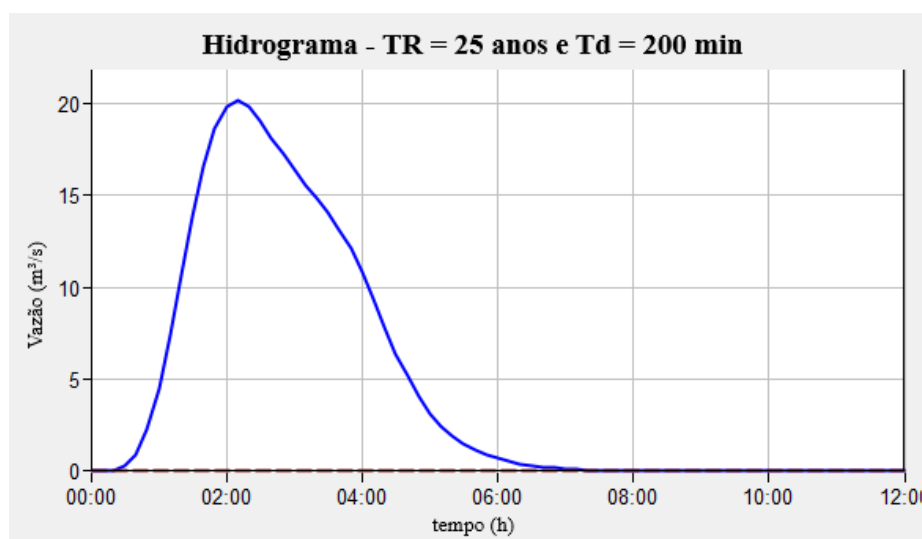
As figuras 15 a 18 representam os hidrogramas de projeto, elaborados para representar graficamente a vazão das chuvas em função do tempo, considerando os tempos de retorno (TR) em 10, 25, 50 e 100 anos.

Figura 15 – Hidrograma de projeto.



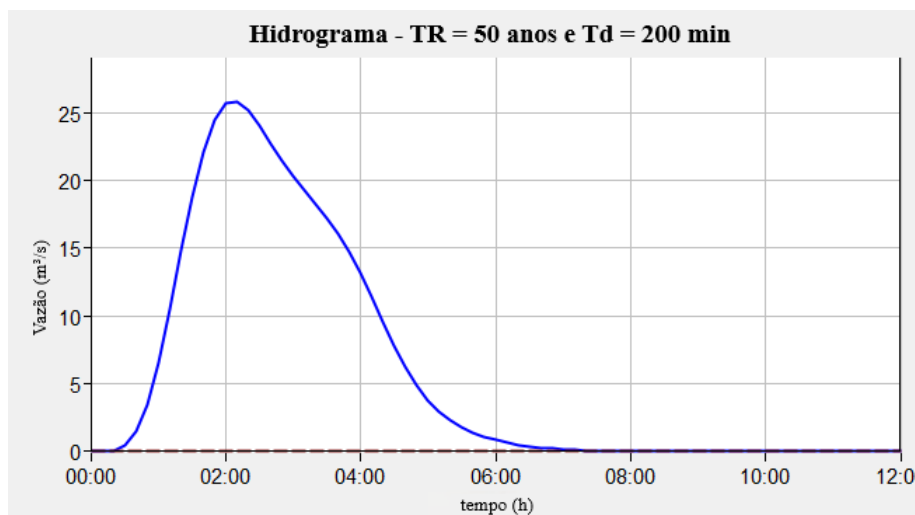
Fonte: Autores, 2025.

Figura 16 – Hidrograma de projeto.



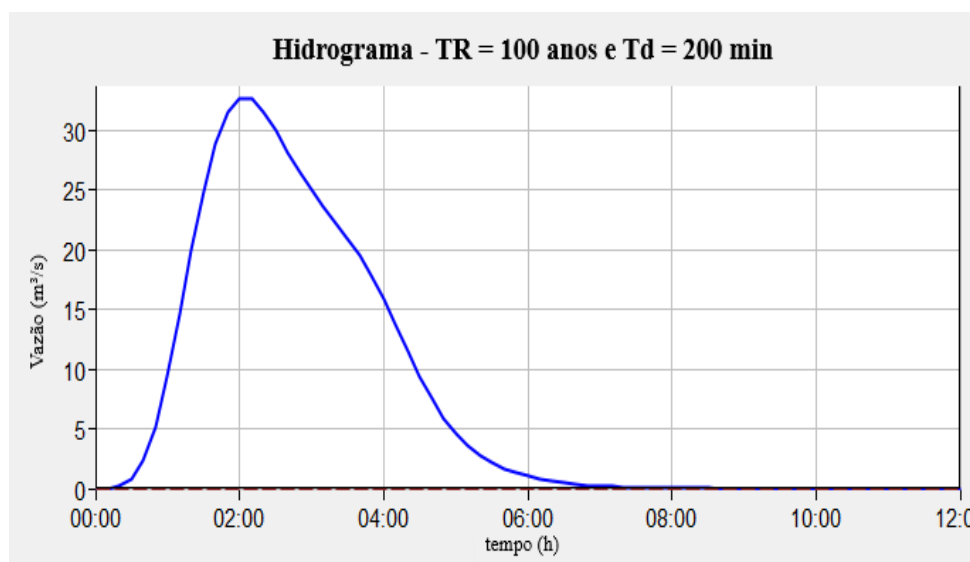
Fonte: Autores, 2025.

Figura 17 – Hidrograma de projeto.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 18 – Hidrograma de projeto.



Fonte: Autores, 2025.

A simulação hidrológica realizada no modelo HEC-HMS permitiu estimar as vazões de pico associadas a diferentes períodos de retorno (TR), utilizando como base a distribuição temporal da chuva pelo Método de Huff (1º quartil), o método de perdas por *Curve Number* (SCS-CN) e o hidrograma unitário do SCS. Os resultados demonstraram um aumento significativo da vazão de pico conforme o incremento do período de retorno, evidenciando o impacto direto da intensidade pluviométrica sobre o escoamento superficial na sub-bacia do igarapé Baliza. Para um TR de 10 anos, a vazão de pico estimada foi de 14,1 m^3/s ; para 25 anos, 20,1 m^3/s ; para 50 anos, 25,8 m^3/s ; e para 100 anos, 32,7 m^3/s . Esses valores indicam um crescimento quase linear da vazão com o aumento do TR, refletindo a resposta rápida da bacia a eventos extremos, característica típica de pequenas bacias com baixa capacidade de infiltração (Tucci, 2009; Feldman, 2000). A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados obtidos.

Tabela 1 – Resumo dos Hidrogramas.

TR (ANOS)	P _{MAX} (MM)	Q _{PICO} (M ³ /S)
10	74,61	14,1
25	86,85	20,1
50	97,43	25,8
100	109,29	32,7

Fonte: Autores, 2025.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo estimar as vazões de projeto na sub-bacia do igarapé Baliza, localizada no município de São João da Baliza – RR, utilizando o modelo hidrológico HEC-HMS, com base em dados fisiográficos extraídos de um modelo digital de elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR e dados pluviométricos históricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A delimitação automática da sub-bacia e a caracterização morfométrica evidenciaram uma área de 8,19 km², com declividade média do caminho de fluxo principal de 0,0085 m/m e comprimento de 6,19 km.

A chuva de projeto foi distribuída temporalmente com base no método de Huff (1º quartil), enquanto as perdas por infiltração foram representadas pelo método do *Curve Number* (SCS-CN). Os valores de CN, calculados com base em dados da ANA e mapas de uso do solo, variaram entre 65 e 98, resultando em retenções potenciais de até 108,85 mm. A análise das simulações indicou um aumento significativo da vazão de pico com o crescimento do período de retorno, com valores de 14,1 m³/s (TR = 10 anos), 20,1 m³/s (TR = 25 anos), 25,8 m³/s (TR = 50 anos) e 32,7 m³/s (TR = 100 anos), demonstrando a sensibilidade da bacia a eventos extremos.

Os resultados obtidos evidenciam a eficiência do HEC-HMS como ferramenta de apoio à análise hidrológica em bacias de pequeno porte na Amazônia Legal, sobretudo quando integrado a dados remotos e métodos consagrados como o SCS-CN e o Huff. Além disso, reforçam a importância do planejamento urbano e ambiental em áreas sujeitas a alterações no uso e ocupação do solo, dado o potencial aumento do escoamento superficial e dos riscos hidrológicos associados.

Trabalhos futuros podem incluir análises comparativas com outros modelos hidrológicos, simulações hidrodinâmicas acopladas para análise de manchas de inundação, bem como a consideração de cenários de mudanças climáticas e expansão urbana.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Deividy Kaik de Lima Araujo: Responsável pela concepção da pesquisa, delimitação da sub-bacia e processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), aplicação do modelo HEC-HMS, análise dos resultados hidrológicos e redação do manuscrito.

Débora Almeida Evangelista: Colaborou na coleta, organização e tratamento dos dados pluviométricos, definição da distribuição temporal das chuvas e apoio na análise dos métodos empíricos utilizados (Kirpich, Huff e SCS-CN).

Manoel Moises Ferreira de Queiroz: Atuou na revisão técnica e metodológica da modelagem hidrológica, verificação dos parâmetros inseridos no HEC-HMS e validação dos resultados obtidos.

Antonio Rondinelly da Silva Pinheiro: Contribuiu com a orientação geral da pesquisa, discussão dos impactos ambientais e urbanos associados aos resultados e revisão final do texto.

Maria Eduarda dos Santos Viana: Colaborou na coleta, organização e tratamento dos dados pluviométricos, definição da distribuição temporal das chuvas e apoio na análise dos métodos empíricos utilizados (Kirpich e SCS-CN).

REFERÊNCIAS

- ABNT. (2023). NBR 9649: *Estudo hidrológico para projetos de barragens*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Alvares, C. A. *et al.* (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711–728.
- Beskow, S. *et al.* (2018). Hydrological modeling in watersheds: an overview of model applications and parameter estimation methods. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22 (2), 117–122.
- Bezerra, J. F. R. *et al.* (2021). Mudanças no uso e cobertura da terra e seus impactos sobre a hidrologia da bacia amazônica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 26, e6.
- Costa, A. C. Da., Machado, R. E., & Almeida, R. M. (2022). Avaliação do modelo HEC-HMS na simulação hidrológica de bacias hidrográficas brasileiras. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27, 1, e35.
- Fellows, M. B. *et al.* (2020). Advances in Hydrologic Modeling with HEC-HMS. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25, 5.
- Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. Davis: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC).
- Freitas, M. R. *et al.* (2019). Uso de dados SRTM e ALOS PALSAR na delimitação de bacias hidrográficas para modelagem hidrológica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12 (6), 2509–2526.
- Gil, A. C. (2019). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. Atlas.
- How, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- IBGE (2025). *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Cidades e Estados: São João da Baliza – RR. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: mai. 2025.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.

- USDA (1986). Soil Conservation Service. Urban Hydrology for Small Watersheds. *Technical Release 55 (TR-55)*, Washington, D.C., 1986.
- Medeiros, P. H. A. *et al.* (2020). Avaliação da aplicação do HEC-HMS em bacias amazônicas com base em dados de radar orbital. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13 (6), 2264–2280.
- Mello, C. R. *et al.* (2021). Modelagem hidrológica para gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas brasileiras. *Ambiente & Água*, 16(2), 1–19.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644.
- Shimada, M. *et al.* (2014). New global digital elevation model using ALOS PALSAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52 (10), 6033–6045.
- Silva, R. M. *et al.* Relação entre mudanças no uso do solo e variações hidrológicas em bacias hidrográficas amazônicas. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 26, n. 1, p. 1–17, 2020.
- Tucci, C. E. M. (2009). *Drenagem urbana*. 3. ed. Porto Alegre: ABRH.
- Tucci, C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2012.
- USACE – United States Army Corps of Engineers. (2021). *HEC-HMS User's Manual Version 4.9*. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.