

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BACIA DE DETENÇÃO PARA CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO MUNICÍPIO DE ILHÉUS – BA

Matheus Silva de Azevêdo¹ ; Pedro Rocha Farias² & Andrea Souza Fontes³

Abstract: Climate change and disorderly urban growth have intensified extreme hydrological events, such as floods, impacting cities and populations. In Brazil, urban rainfall causes hundreds of homeless people annually, with Bahia registering over 180,000 people affected between 2017 and 2021. Soil impermeabilization and the exceeded capacity of drainage systems worsen these disasters. Given this, this study sought to simulate the effects of implementing a detention basin to dampen surface runoff in the Teotônio Vilela neighborhood, in Ilhéus, Bahia, an area with recurrent flooding problems. Using HEC-HMS 4.12 software and pluviometric data from Cemaden, inflow hydrographs were generated for return periods of 2, 5, and 10 years. The detention basin was designed based on the hydrological continuity equation, controlling the outflow through a bottom orifice and a rectangular weir. The results demonstrated that the simulated basin was highly effective, reducing peak inflow rates by 75%, 77%, and 78% for the respective return periods, and the maximum water level did not reach the weir crest, indicating safety for storm water volumes of up to 10 years. There was also an increase in the time to peak flow, from 12-14 minutes in the affluent to 29-31 minutes in the effluent. It was concluded that the detention basin is an excellent solution for controlling and dampening peak flows in storm runoff in Teotônio Vilela, although the consideration of more parameters, such as infiltration, could improve the model.

Resumo: As mudanças climáticas e o crescimento urbano desordenado têm intensificado eventos hidrológicos extremos, como inundações, impactando cidades e populações. No Brasil, chuvas urbanas causam centenas de desabrigados anualmente, com a Bahia registrando mais de 180 mil pessoas afetadas entre 2017 e 2021. A impermeabilização do solo e a capacidade excedida dos sistemas de drenagem agravam esses desastres. Diante disso, este trabalho buscou simular os efeitos da implementação de uma bacia de retenção no amortecimento do escoamento superficial no bairro Teotônio Vilela, em Ilhéus, Bahia, uma área com problemas recorrentes de alagamento. Utilizando o software HEC-HMS 4.12 e dados pluviométricos do Cemaden, foram gerados hidrogramas de entrada para tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. A bacia de retenção foi dimensionada com base na equação da continuidade hidrológica, controlando a vazão de saída por um orifício de fundo e um vertedor retangular. Os resultados demonstraram que a bacia simulada foi altamente eficaz, reduzindo as vazões de pico afluentes em 75%, 77% e 78% para os respectivos tempos de retorno, e o nível máximo da água não atingiu a crista do vertedor, indicando segurança para volumes de água pluvial de até 10 anos. Houve também um aumento no tempo para o pico de vazão, de 12-14 minutos na afluente para 29-31 minutos na efluente. Concluiu-se que a bacia de retenção é uma ótima solução para controle e amortecimento de vazões de pico no escoamento pluvial em Teotônio Vilela, embora a consideração de mais parâmetros, como a infiltração, possa aprimorar o modelo.

Palavras-Chave – Modelagem Hidrológica, Alagamento e Medidas Compensatórias

¹) Afiliação: Mestrando Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento - MAASA/UFBA, R. Haroldo Caino 2 Z AP -203, Hab. Sussuarana, BL 02, Salvador, Bahia. Email: azevedo.m@ufba.br

²) Mestrando Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento - MAASA/UFBA, Pedro Rocha Farias, Salvador, Bahia. Email: pedrofarias@ufba.br

³) Professora do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento - MAASA/UFBA, Salvador, Bahia. Email: asfontes@ufba.br

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm provocado eventos hidrológicos extremos, como secas prolongadas ou chuvas acima da média, que inundam regiões e afetam a vida de diversas pessoas em meio urbanos e rurais. Pensar na gestão sustentável dos recursos hídricos é fundamental para garantir a segurança hídrica e mitigar as consequências negativas enfrentadas pelas cidades frente aos desafios impostos pelo aquecimento global (UNESCO, 2016).

No Brasil, as chuvas em áreas urbanas deixam centenas de desabrigados todo ano. No estado da Bahia, por exemplo, contando-se apenas os municípios com mais de 10 mil habitantes, entre os anos de 2017 e 2021, foram mais de 180 mil pessoas desabrigadas ou desalojadas por eventos pluviométricos (SNIS, 2021). O acelerado e desigual desenvolvimento urbano das cidades, transformando áreas verdes em superfícies impermeáveis, impactou diretamente no escoamento superficial e nos sistemas de drenagem, resultando em um maior número de desastres associados a chuva (Tucci, 2007; Zhou *et al*, 2019).

Com o novo padrão de precipitação e a expansão da malha urbana, os sistemas de drenagem tem sua capacidade excedida. Mesmo os projetos de drenagem levando em consideração os impactos da urbanização em seu sistema, esses ainda acabam por não atender devido à complexidade e imprevisibilidade da expansão não planejada das cidades (Zhou *et al*, 2019).

As soluções baseadas no Desenvolvimento de Baixo Impacto (*low Impact Development – LID*), incluindo lagoas de retenção, bacias de retenção e zonas úmidas, são medidas centrais que tratam o escoamento de águas pluviais no final de uma bacia hidrográfica ou área de drenagem (Gilroy *et al*, 2009). Estruturas de amortecimento como bacia de retenção são reguladoras do escoamento, minimizando impactos a jusante e atuando na redução dos picos de chuva do hidrograma, buscando uma distribuição equilibrada da vazão (Ballard; Woods *et al*, 2015).

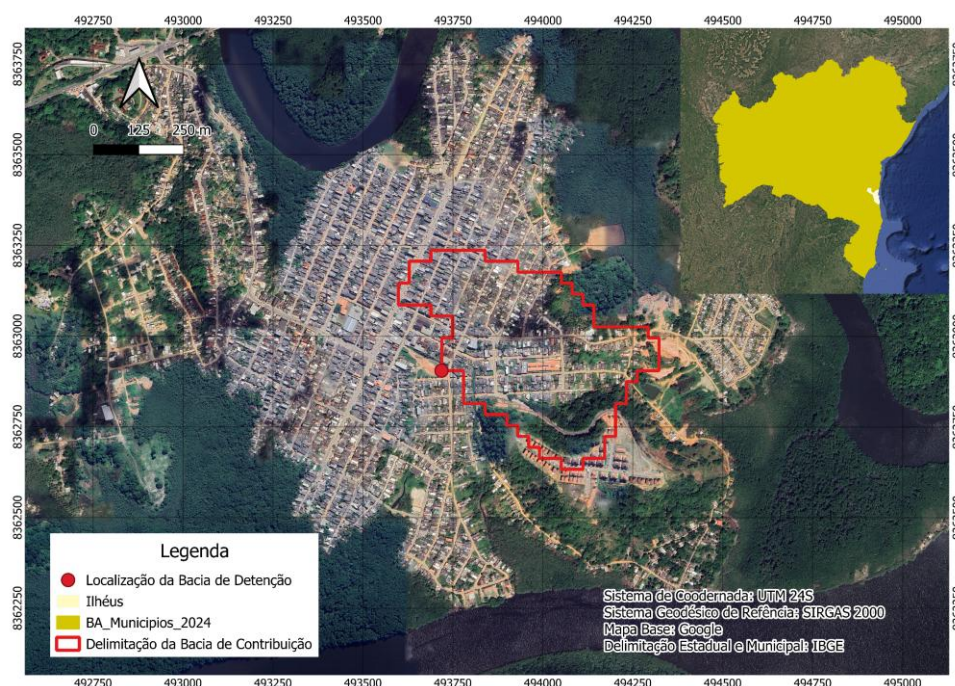
Nesse contexto, esse trabalho visa contribuir com a discussão e o conhecimento de soluções que integrem engenharia, urbanismo e sustentabilidade, com potencial impacto na mitigação de alagamentos. Dessa forma o objetivo do trabalho é a simulação do uso de bacia de retenção para amortecimento do escoamento superficial em Ilhéus – BA.

1. MATERIAIS E MÉTODO

Área de Estudo

A área de estudo é o bairro Teotônio Vilela, na cidade de Ilhéus está situada na região sul do estado da Bahia. O bairro é bastante populoso e tem problemas recorrentes de alagamento devido a deficiência no sistema de drenagem urbana (Figura 1).

Figura 1 - Localização do bairro Teotônio Vilela em Ilhéus, Bahia.



Fonte: Autores

Levantamento de dados

Foram utilizados dados da estação pluviométrica de uma estação pluviométrica localizada na área urbana de Ilhéu, sendo os dados da estação disponibilizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Os dados de precipitação diária e mensal foram organizados em planilhas e submetidos a procedimentos de correção de falhas e anomalias.

Os dados referentes a elevações do terreno foram extraídos pelo Qgis, com base na projeção universal de Mercator, com precisão de 30 metros. Dessa forma foi gerado um Modelo Digital de Elevação que possibilitou a definição das sub-bacias da área.

Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa tem como foco o estudo do impacto da adoção de medidas de compensação estrutural por meio de simulações matemáticas, onde foi avaliado a adoção de uma bacia de detenção no bairro Teotônio Vilela, em Ilhéus, com objetivo amortecer o escoamento pluvial durante as chuvas.

Para atingir o objetivo, inicialmente foi definido o local de implementação da bacia na região de estudo (Figura 1) e quantificado via modelagem hidrológica os hidrogramas de entrada da bacia de detenção, realizada com o auxílio do software HEC-HMS 4.12. De início, na configuração do modelo foi definido o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 24S, sendo posteriormente extraída a bacia de contribuição da região escolhida para a implementação da medida. Na sequência foi escolhido e configurado os métodos de perdas e transformação chuva-vazão disponíveis no software. O método de perdas escolhido foi o Curva-Número (CN) do Soil Conservation Service (SCS). O valor do CN foi extraído do *raster* da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2022) e a abstração inicial em função do CN obtido (USACE, 2023), conforme apresentado na Equação (1).

$$Ia = 0.2 * \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) (1)$$

Onde, Ia é a abstração inicial em milímetros (mm) e CN , o curva número, adimensional.

O método de transformação chuva-vazão escolhido foi o hidrograma unitário do SCS, sendo necessário como parâmetro de estrada o *lag time*, definido como 0,6 do tempo de concentração da bacia conforme recomendado pelo manual do HEC-HMS (USACE, 2023).

A intensidade da chuva de projeto adotado foi para uma duração de 15min, conforme recomendado pelo manual de drenagem da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA, 2023) para bacias urbanas, com três diferentes tempos de retorno, 2,5 e 10 anos. As intensidades para essas chuvas com as características definidas foram quantificadas pela IDF elaborada por Ferraz *et al.*, (2020) para Ilhéus. As intensidades quantificadas foram multiplicadas pela duração da chuva, 15min, obtendo-se três acumulados totais. Esses acumulados foram discretizados pelo método de Huff 1o Quartil, conforme recomendado por Tucci (2012), para um evento com duração de 18 minutos, obtendo-se três histogramas de projeto. A duração do histograma adotado foi 18 minutos para que o intervalo temporal dos blocos de chuva fossem compatíveis com os intervalos temporais de entrada do modelo hidrológico utilizado.

Para o dimensionamento da bacia de retenção, foram utilizados hidrogramas de projeto correspondentes a diferentes tempos de retorno (TR) para a área de estudo: 2, 5 e 10 anos. Estes hidrogramas representam a vazão de entrada (Q_i) na bacia ao longo do tempo, em intervalos de 1 minuto (60 segundos). Os hidrogramas foram ajustados por interpolação linear para compatibilização com o espaçamento adotado para o eixo temporal (Simões *et al.*, 2017). A vazão de pico para cada tempo de retorno é um parâmetro crítico para o dimensionamento.

O dimensionamento da bacia de retenção baseou-se na equação da continuidade hidrológica para simular o balanço de massa e o encaminhamento hidrológico. O volume e nível de água foram atualizados a cada passo de tempo com base nas vazões de entrada e saída (Linsley *et al.*, 1982; Chow *et al.*, 1988).

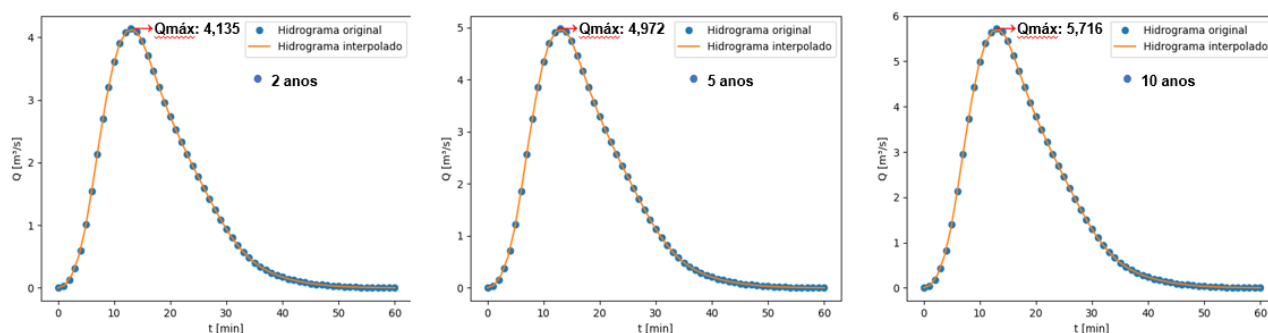
Para controle da vazão de saída, modelou-se um orifício de fundo e um vertedor retangular. A vazão do orifício foi calculada com um coeficiente de descarga de 0.65 (Chow *et al.*, 1988), e a do vertedor com 0.728 (Tucci, 2007; Porto, 2006). A crista do vertedor foi definida a 1.5m, priorizando o orifício para vazões menores e o vertedor para eventos mais intensos.

A análise da bacia de retenção foi realizada com base no código elaborado por Simões *et al.* (2017), para análise de amortecimento de uma bacia de retenção. O código, que resolve o problema matemático com equações diferenciais ordinárias com o método de Runge-Kutta de 5a ordem e o método de Euler (Runge Kutta de 1a ordem), foi adaptado da linguagem Matlab para Python, software gratuito com maior facilidade de instalação e menores exigências de hardware.

2. RESULTADOS E DISCURSÃO

Com os dados de precipitação foram gerados 3 hidrogramas para os respectivos tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos estimados para o cálculo das chuvas de projeto e o resultado dos ajustes por interpolação linear. Segue a figura com os respectivos hidrogramas (Figura 2).

Figura 2 – Hidrogramas – Hidrogramas gerados para o tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos

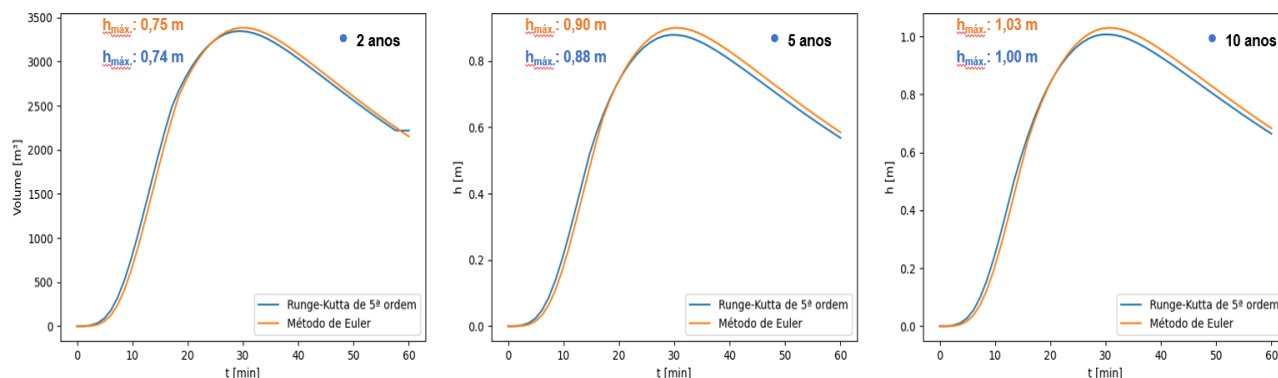


Verificou-se que o método de interpolação utilizado gerou uma ótima aproximação para o hidrogramas de entrada, sem a inserção de valores mínimos ou máximos fictícios entre os pontos originais.

Na sequência, utilizando os hidrogramas e considerando o orifício de saída da bacia retangular com dimensões de 1,0 metro de largura e 0,5 metros de altura (coeficiente de descarga 0,65), e o vertedor retangular com crista a 1,5 metros, com 2,0 metros de largura, foram calculados com base nos métodos de Runge-Kutta de 5ª ordem e no método de Euler, o desempenho da bacia de retenção.

O primeiro resultado foram os gráficos dos 3 casos de tempo de retorno, verificando a altura da lâmina d'água na bacia de retenção pelos dois métodos (Figura 3).

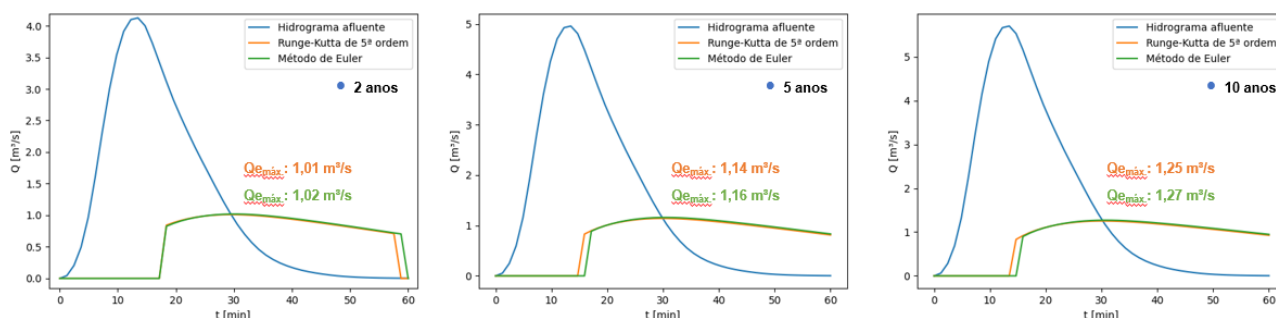
Figura 3 – Nível de água – Níveis máximas de água na bacia para o tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos



Notou-se que para todos os tempos de retorno, o nível máximo da água na bacia não atingiu a elevação da crista do vertedor (1,5). Assim, a vazão de saída foi controlada exclusivamente pelo orifício, mostrando que a bacia suporta com segurança o volume de água pluvial para um tempo de retorno de até 10 anos. A diferença entre os métodos de cálculo de Runge-Kutta e Euler foram ligeiramente diferentes, podendo ser desprezadas considerando as dimensões globais da bacia. Essa pequena variação entre os valores resultantes para os métodos se manteve, sendo possível concluir que para o caso estudado os dois métodos de cálculo foram representativos ao problema.

Em seguida foram gerados os hidrogramas para a verificação da amortização da vazão de pico realizada pela bacia e uma tabela com os respectivos valores de vazões máxima efluente (Figura 4).

Figura 4 – Hidrogramas – Hidrogramas afluentes e efluentes a bacia nos tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos



Observou-se que o pico de vazão de saída varia entre os eventos e houve um aumento nas alturas máximas da água, para os tempos de retorno maiores (Tabela 1).

Tabela 1 – Nível de água, volume e vazões na bacia de retenção para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos

Tempo de retorno [anos]	2	5	10
Nível máx. de água na bacia [m]	0,75	0,90	1,03
Volume máximo na bacia [m³]	3.383	4.049	4.635
Vazão máxima afluente [m³/s]	4,14	4,97	5,72
Vazão máxima efluente [m³/s]	1,02	1,16	1,27

Dessa forma, a bacia de retenção simulada foi muito efetiva, reduzindo a vazão de pico afluentes respectivamente em 75%, 77% e 78% para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. Além disso, notou-se que o tempo do pico de vazão foi atenuado, sendo o tempo de pico afluente ocorrendo entre 12 e 14 minutos, enquanto que no efluente a vazão de pico irá acontecer apenas entre 29 e 31 minutos.

3. CONCLUSÃO

A simulação do uso de bacia de retenção para amortecimento do escoamento superficial no Bairro de Teotônio Vilela em Ilhéus – BA, mostrou que essa solução tem interferência positiva no controle do escoamento superficial das águas pluviais reduzindo a vazão máxima.

O hidrograma gerado pelo método da interpolação linear apresentou um excelente ajuste, dando uma maior confiabilidade aos valores extremos. A altura da crista do vertedor e o orifício dimensionado para a bacia, comportou o volume máximo para os 3 tempos de retorno analisados, sem o acionamento do vertedor. Os resultados apontaram a eficiência na redução das vazões máximas efluentes em 75%, 77% e 78%, respectivamente para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. Além disso, houve também um aumento no tempo para atingir a vazão de pico, sendo este, no afluente ocorrendo entre 12 e 14 minutos e no efluente a vazão máxima ocorrendo entre 29 e 31 minutos.

Dessa forma a escolha de uma bacia de retenção para controle e amortecimento de vazões de pico no escoamento pluvial no bairro Teotônio Vilela, apresentou-se como uma ótima solução. Entretanto, com objetivo melhorar o modelo, seria necessário a consideração de mais parâmetros de análise, além de coletar mais dados da região. Outro ponto adicional, por exemplo, seria considerar a infiltração no modelo da bacia, como auxílio na recarga do lençol freático em contrapartida a impermeabilização gerada pela área urbana.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) (2022). Curva Número na Base Ottocodificada (1985, 2014 e 2022). 2024. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67>. Acesso em: 1 junho 2025.
- BALLARD, B. WOODS, et al (2015). *The SUDS manual*. Ciria: London, UK, pp. 386 - 435.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 572 p.
- FERRAZ, LORENA LIMA ET AL, (2020). *Euações de chuvas intensas para a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira - Sul do Estado da Bahia - Brasil*. Enciclopédia Biosfera, Jandaia-GO, v. 17, n. 33, p. 194-204. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/345872185>. Acesso em: 22 junho 2025.
- GILROY, K. L., & MCCUEN, R. H. (2009). *Spatio-temporal effects of low impact development practices*. Journal of Hydrology, pp. 367(3-4), pp. 228-236.
- LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A., & PAULHUS, J. L. H. (1982). *Hydrology for Engineers*. McGraw-Hill, 512 p.
- Manual de Drenagem Urbana e Manejo das Águas Pluviais do Distrito Federal. Brasília, DF: ADASA, 2023.
- PORTO, R. L. (2006). *Hidráulica Básica*. EESC/USP São Carlos - SP, 520 p.
- SIMÕES, A. L. A., SCHULZ, H. E., PORTO, R. M. (2017). *Métodos computacionais em hidráulica*. Salvador: Edufba, 236 p.
- SNIS (2021). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Série Histórica – 2017 a 2021*. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 2 de junho de 2024.
- TUCCI, C. E. M. (2007). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 944 p.
- TUCCI, Carlos E.M.(2007). *Inundações urbanas*. Porto Alegre: ABRH/Rhama, v. 11. Disponível em: encurtador.com.br/hmtFQ. Acesso em: 17 de maio de 2025.
- TUCCI, C. E. M (2012). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. ABRH. 4ª ed. Porto Alegre. Editora UFRGS.
- UNESCO (2016). *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água e Emprego, Fatos e Números*. Disponível em: https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_405.pdf. Acesso em: 18 de maio de 2025.
- USACE, U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center (2023). HEC-HMS Hydrologic. Reference Manual Version 4.12.
- ZHOU, Qianqian et al. (2019). *Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation*. Science of The Total Environment, [s. l.], v. 658, p. 24–33, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969718350290>. Acesso em: 24 abril 2025.

AGRADECIMENTOS o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.