MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DO RIO AREIÃOZINHO PARA DELIMITAÇÃO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO

Deisy Yurany Avila Morales[1] & Daniel Henrique Marco Detzel[2]

Palavras-Chave – modelagem hidrológica; modelagem hidráulica; manchas de inundação; HEC-HMS; HEC-RAS; rio Areiãozinho.

INTRODUÇÃO

A urbanização altera significativamente a resposta hidrológica das bacias hidrográficas, sobretudo em áreas com elevada impermeabilização do solo, ocupação de margens e intervenções nos cursos d'água. A substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis amplia o escoamento superficial direto, eleva as vazões de pico e antecipa o tempo de concentração das bacias (Tucci, Bertoni, 2003). Em bacias urbanas, esses efeitos intensificam a recorrência e a magnitude dos eventos de inundação, tornando indispensável o mapeamento das áreas suscetíveis como instrumento de planejamento e gestão de risco.

Nesse contexto, o rio Areiãozinho constitui um recorte pertinente para análise, por se inserir em área urbanizada de Curitiba e integrar a bacia do rio Belém. Registros de moradores e dados históricos indicam ocorrências recorrentes de extravasamento em trechos do córrego, associadas à impermeabilização da área de drenagem, à presença de travessias hidráulicas e à limitação da capacidade de escoamento. Entre as ferramentas empregadas na análise de inundações urbanas, destacam-se os modelos HEC-HMS e HEC-RAS, que permitem estimar vazões de projeto, níveis d'água e manchas de inundação com base em cenários de chuva de projeto (USACE, 2023; USACE, 2024).

O objetivo deste trabalho é desenvolver a modelagem hidrológica e hidráulica do rio Areiãozinho, por meio da integração entre os modelos HEC-HMS e HEC-RAS, visando estimar vazões de projeto para tempos de recorrência de 2, 10, 25, 50 e 100 anos e delimitar as manchas de inundação correspondentes.

METODOLOGIA

A área de estudo corresponde à bacia do rio Areiãozinho (5,94 km²), último afluente da margem esquerda do rio Belém antes de sua confluência com o rio Iguaçu, em Curitiba/PR. A base topográfica foi construída a partir de curvas de nível com equidistância de 1 m (IPPUC, 2019), processadas no QGIS para geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) em formato raster.

Modelagem hidrológica. O tempo de concentração foi estimado por múltiplas equações empíricas, conforme a abordagem comparativa de Silveira (2005), adotando-se a mediana dos valores obtidos (1,383 h ≈ 83 min), coincidente com a equação de Kirpich. As chuvas de projeto foram calculadas pela equação IDF de Fendrich (1989) para a estação Curitiba–Prado Velho, conforme recomendado por SUDERHSA e CH2M HILL (2002). A distribuição temporal foi realizada pelo método dos blocos alternados, com duração de 160 min e discretização de 5 min (Tucci, 2004).

A modelagem chuva–vazão no HEC-HMS foi estruturada, utilizando o método SCS *Curve Number* para a separação do escoamento (CN = 89), o hidrograma unitário SCS para a transformação chuva–vazão e a propagação nos trechos pelo método Muskingum-Cunge (USDA, 2004; USACE, 2023). Foram simulados cenários para tempos de recorrência de 2, 10, 25, 50 e 100 anos, gerando hidrogramas de projeto para o rio Areiãozinho e para o rio Belém no trecho a montante da confluência. A consistência das vazões simuladas foi verificada por comparação com os métodos racional e racional corrigido.

1) Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curso de Engenharia Civil, Curitiba-PR, Brasil. E-mail: deisy.morales@ufpr.br.
2) Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Tecnologia, Curitiba-PR, Brasil. E-mail: detzel@ufpr.br.

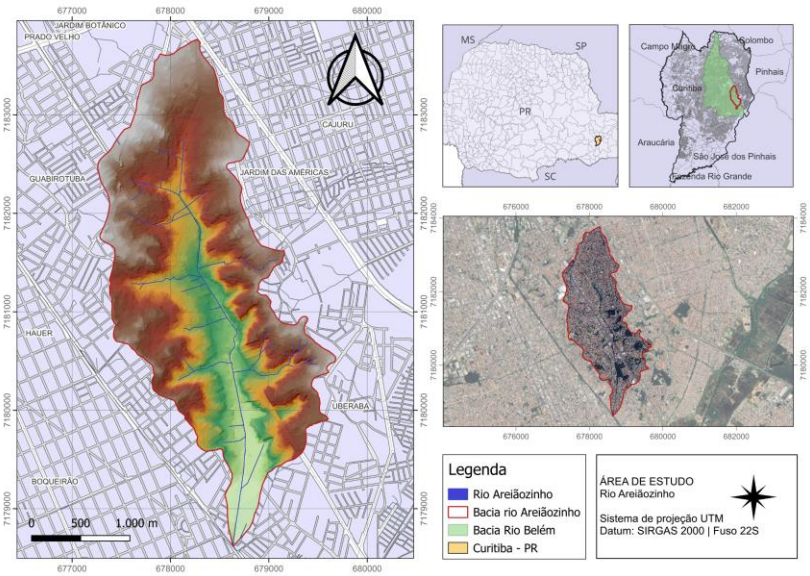


FIGURA 1: Localização do rio Areiãozinho e de sua área de drenagem. Fonte: autoria própria.

Modelagem hidráulica. A modelagem no HEC-RAS foi conduzida em regime permanente e unidimensional. A geometria hidráulica foi construída com seções transversais espaçadas a cada 20 m no Areiãozinho e 50 m no Belém, extraídas do MDE. As cotas de fundo foram ajustadas manualmente (rebaixamento de 1,5 a 2,0 m) e interpoladas longitudinalmente para evitar descontinuidades. Foram representadas 15 pontes e uma galeria celular de concreto (4 células de 4,0 m × 3,5 m). A confluência foi representada por um elemento de junção hidráulica, e a condição de jusante adotada foi a profundidade normal (USACE, 2024).

Os coeficientes de rugosidade de Manning foram calibrados com base em medições de campo (níveis d'água e vazões estimadas pelo método do flutuador), resultando em valores entre 0,015 e 0,070 $s \cdot m^{-1/3}$ na calha principal e n = 0,050 $s \cdot m^{-1/3}$ nas áreas marginais, representando a resistência associada à vegetação, ocupação urbana e obstáculos nas planícies de extravasa-mento (Chow, 1959; Barnes, 1967).

RESULTADOS

As simulações no HEC-HMS indicaram vazões de pico no rio Areiãozinho variando de 20,3 m³/s (TR 2 anos) a 85,3 m³/s (TR 100 anos), com tempo ao pico próximo de 2,0 h em todos os cenários, evidenciando resposta hidrológica rápida e compatível com o elevado grau de urbanização da bacia. A verificação de consistência confirmou que as vazões simuladas permaneceram dentro da faixa definida pelos métodos racional e racional corrigido.

A Tabela 1 sintetiza as vazões de pico e as áreas das manchas de inundação obtidas no HEC-RAS para os tempos de recorrência analisados.

Tabela 1 – Vazões de pico e áreas das manchas de inundação por tempo de recorrência

TR (anos)	Q pico (m³/s)	Área inundada (km²)	Aumento em relação ao TR 2 (%)
2	20,3	0,521	–
10	38,5	0,793	52,2
25	53,5	0,926	77,7
50	67,9	0,976	87,3
100	85,3	1,028	97,3

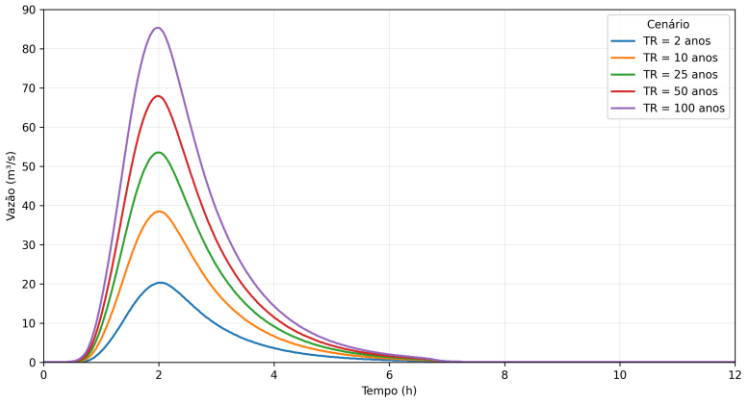


FIGURA 2: Hidrogramas de projeto obtidos no HEC-HMS para o rio Areiãozinho. Fonte: autoria própria.

Os resultados demonstram que o rio Areiãozinho apresenta suscetibilidade ao extravasa-mento mesmo em eventos de menor recorrência. Já no cenário de TR 2 anos, a área inundada atingiu 0,521 km², equivalente a cerca de 8,8% da área de drenagem. O maior incremento relativo de área ocorreu entre os cenários de TR 2 e 10 anos (+52,2%), indicando que, após a superação da capacidade da calha, as áreas marginais hidraulicamente conectadas ao canal são rapidamente incorporadas à mancha. Para tempos de recorrência superiores, a expansão ocorre de forma mais gradual.

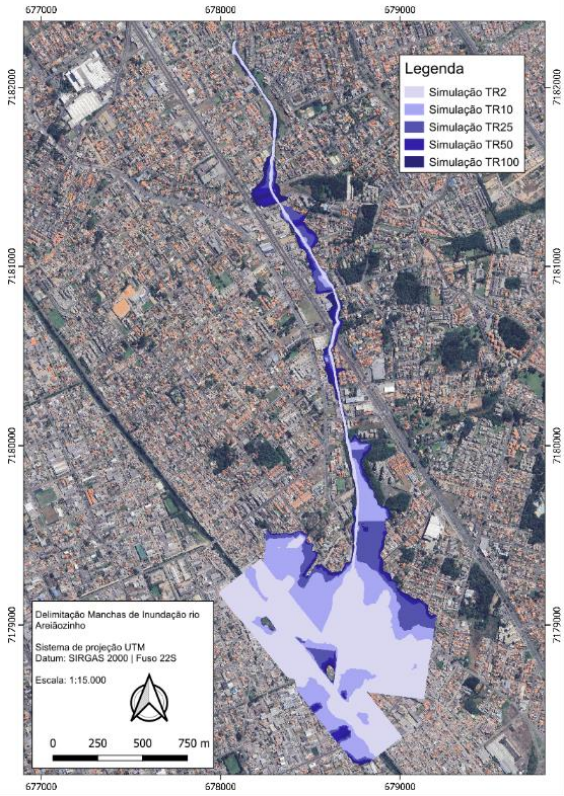


FIGURA 3: Delimitação das manchas de inundação para os diferentes tempos de recorrência

O perfil longitudinal revelou que estruturas transversais (pontes e galerias) atuam como controles hidráulicos locais, provocando elevação do nível d'água a montante e favorecendo o extravasa-mento em trechos com margens mais baixas. As velocidades médias variaram de 1,24 m/s (TR 2) a 1,72 m/s (TR 100), com valores máximos de até 7,21 m/s em pontos de constrição geométrica. O regime predominante foi subcrítico (Froude médio < 1), com pontos localizados de regime crítico ou supercrítico associados a restrições de seção.

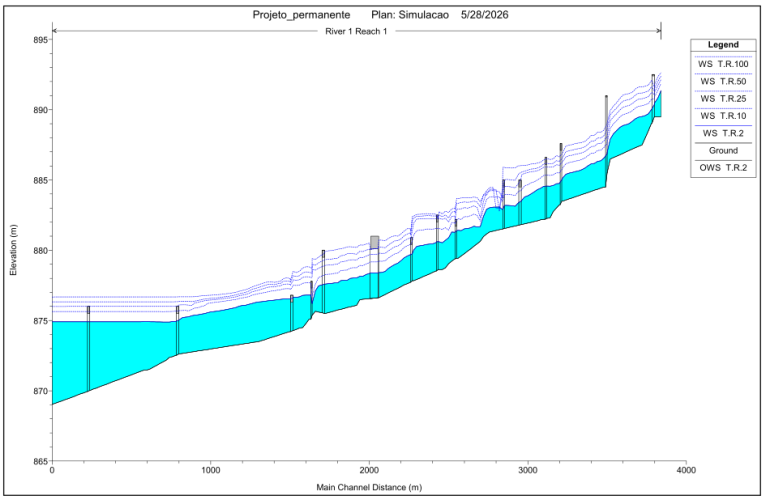


FIGURA 4: Perfil longitudinal do rio Areiãozinho para os diferentes tempos de recorrência

CONCLUSÕES

A integração entre HEC-HMS e HEC-RAS permitiu representar de forma tecnicamente coerente a resposta hidrológica e hidráulica do rio Areiãozinho diante de eventos de projeto. Os resultados evidenciam que a suscetibilidade à inundação não se restringe a eventos raros, pois a mancha correspondente ao TR de 2 anos já apresenta extensão espacial relevante. Esse comportamento reforça a influência da urbanização, das estruturas hidráulicas existentes e da condição de jusante imposta pelo rio Belém sobre o extravasamento do canal.

As manchas obtidas indicam trechos prioritários para avaliação de medidas de drenagem urbana, ordenamento territorial e gestão de risco, especialmente no setor inferior da bacia e na confluência com o rio Belém. Como limitações, destacam-se a ausência de série fluviométrica contínua, o caráter pontual da calibração de campo e as incertezas inerentes aos dados topográficos e aos parâmetros hidrológicos adotados. Recomenda-se, para estudos futuros, a incorporação de levantamentos topobatimétricos atualizados, simulações não permanentes e bidimensionais, representação detalhada da microdrenagem e avaliação de cenários de mudança climática e uso do solo.

REFERÊNCIAS

BARNES, H. H. *Roughness Characteristics of Natural Channels*. Washington, 1967. (Water-Supply Paper, 1849).

CHOW, V. T. *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 1959.

FENDRICH, R. *Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná*. Curitiba: Champagnat, 1989.

IPPUC. *Curvas de nível – equidistância de 1 m*. Curitiba: Portal GeoCuritiba, 2019.

IPPUC; COPRABE. *Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia do Rio Belém*. Curitiba, 2013.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 1, p. 5–29, 2005.

SUDERHSA; CH2M HILL. *Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba*. Curitiba, 2002.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M. *Modelos hidrológicos*. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2005.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.). *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH, 2003.

USACE. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual*. Davis: Hydrologic Engineering Center, 2023.

USACE. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual*. Davis: Hydrologic Engineering Center, 2024.

USDA. *National Engineering Handbook, Part 630: Hydrology. Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes*. Washington, D.C., 2004.