SENSIBILIDADE DA CHUVA DE PROJETO À SELEÇÃO DA JANELA HISTÓRICA: IMPLICAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DA MICRODRENAGEM URBANA

Elis Ferreira Lopes [1] ; Carlos Eduardo de Sousa Lima[2]& Cleiton da Silva Silveira [3]

Palavras-Chave – Chuva de projeto, Drenagem Urbana, Janela histórica.

INTRODUÇÃO

O dimensionamento de sistemas de drenagem reduz os impactos da recorrência de eventos hidrológicos extremos em zonas urbanas. O desempenho dessas infraestruturas depende da vazão de projeto obtidas da qualidade das séries históricas de dados e das hipóteses estatísticas adotadas na modelagem. Contudo, em cenários de rápida expansão urbana e variabilidade climática, falhas no estabelecimento dessas premissas elevam os riscos de subdimensionamento, resultando em inundações frequentes e severos prejuízos socioeconômicos, como analisado por Wu *et al.* (2022). É nesse contexto de vulnerabilidade que as abordagens convencionais de engenharia passam a ser questionadas.

Neste artigo, contesta-se a premissa da estacionariedade em séries temporais, em consonância com as evidências de precipitações extremas discutidas por Agilan *et al.* (2021), Liu *et al.* (2024) e Shao *et al.* (2024). Visto que a não estacionariedade altera diretamente o tempo de retorno de precipitações, a seleção do período histórico analisado passa a governar as incertezas na modelagem chuva-vazão. Portanto, é justificada uma análise relacionada à definição das vazões de projeto de infraestrutura de drenagem urbana.

O objetivo do presente artigo é analisar a influência da seleção da janela histórica de precipitação e da escolha do modelo de distribuição de probabilidade para estimativa da vazão de projeto de uma microbacia urbana, com enfoque em discutir a hipótese de estacionariedade afetam o dimensionamento de um sistema de drenagem urbana. O objeto de estudo do trabalho é uma microbacia denominada “Atacadão”, localizada no município de Sobral, no estado do Ceará.

METODOLOGIA

Inicialmente, foi selecionado um projeto de uma microbacia chamada “Atacadão” na cidade de Sobral, Ceará. A partir do memorial de Sobral (2022) foram obtidos os parâmetros hidrológicos necessários para aplicação do Método Racional: área da bacia (A), coeficiente de escoamento superficial (C), tempo de concentração (tc), além dos parâmetros locais da equação intensidade-duração-frequência (IDF). Foram analisados três tempos de retorno (TR), correspondentes a 10, 25 e 50 anos. E para a modelagem probabilística das precipitações máximas anuais foram avaliadas as distribuições de Gumbel Máximos Tipo I e Log-Pearson III.

[1]) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), elis_f.lopes@hotmail.com
[2]) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), eduardolima@alu.ufc.br
[3]) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), cleitonsilveira@ufc.br

Os dados de precipitação diária foram obtidos do conjunto BR-DWGD/DataClimaBR de Xavier (2022), para o município de Sobral, abrangendo o período de 1961 a 2025. Inicialmente, as séries foram organizadas e submetidas ao tratamento de consistência. Em seguida, foram extraídas as precipitações máximas anuais, utilizadas como base para a análise de frequência.

Com o objetivo de avaliar a influência da seleção do período histórico sobre as estimativas hidrológicas, a série foi subdividida em janelas históricas decenais (1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010 e 2011–2020). Paralelamente, foram construídas janelas móveis de 10 anos para análise da evolução temporal das estimativas. Para cada janela histórica foram ajustadas as distribuições de Gumbel Máximos Tipo I e Log-Pearson III, sendo posteriormente estimadas as precipitações associadas aos tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos. A Tabela 1 faz uma síntese das principais informações referente a metodologia aplicada.

Tabela 1 – Descrição metodológica

Item	Descrição	Fonte
Área da microbacia (A)	23.48 ha (0.2348 km²)	Sobral (2022)
Coeficiente de escoamento (C)	0,8	Sobral (2022)
Tempo de concentração (tc)	15 min	Sobral (2022)
Tempo de retorno (TR)	10, 25 e 50 anos	Sobral (2022)
Parâmetros locais da equação IDF	a = 392,827; b = 0,164; c = 5,378; d = 0,594	Sobral (2022)
Histórico de Precipitação	1961 - 2010	Xavier (2022)
Janela histórica	10 anos	-
Distribuição	Gumbel Máximos Tipo I; Log-Pearson III	-
Método	Método Racional	-

As precipitações máximas diárias estimadas foram convertidas para duração compatível com o tempo de concentração da microbacia (15 min) por meio de um fator de desagregação obtido a partir da relação entre a precipitação de curta duração estimada pela equação IDF local e a precipitação diária correspondente. Esse procedimento permitiu manter constantes os parâmetros hidráulicos da microbacia e avaliar exclusivamente a influência da janela histórica de precipitação. A intensidade média de precipitação foi então calculada pela equação IDF:

$$i = \frac{a.TR^{b}}{t+c^{d}} \quad (1)$$

em que (i) representa a intensidade de chuva (mm.h^{-1}), (TR) o tempo de retorno (anos), (t) a duração da precipitação (min) e (a), (b), (c) e (d) os parâmetros locais da equação.

As vazões de projeto foram determinadas pelo Método Racional:

$$Q = 0,00278.C.I.A \quad (2)$$

onde (Q) é a vazão de projeto (m³.s^{-1}), (C) o coeficiente de escoamento superficial, (I) a intensidade média da precipitação (mm.h^{-1}), (A) a área da bacia (km^2) e (0,00278) é uma constante de conversão de unidades.

Por fim, os resultados foram analisados por meio de três abordagens complementares: (i) comparação das vazões de projeto obtidas para diferentes janelas históricas fixas; (ii) avaliação da evolução temporal das vazões de projeto em janelas móveis de 10 anos; e (iii) construção de uma matriz de transição para quantificar as diferenças percentuais das estimativas entre janelas históricas, distribuições probabilísticas e tempos de retorno.

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a variação das vazões de projeto obtidas para o TR de 25 anos para janelas históricas decenais fixas de precipitação, ajustadas em distribuições de Gumbel Máximos Tipo I e Log-Pearson III. Evidencia-se a variação dos valores de precipitações tanto em cada janela histórica quanto para cada distribuição probabilística.

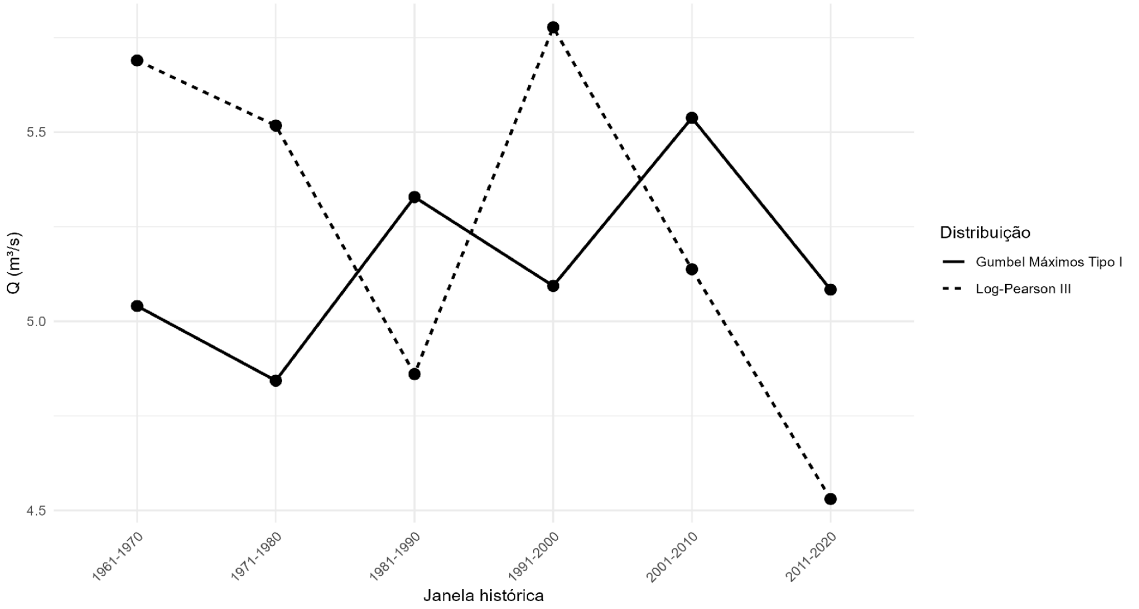


Figura 2. Gráfico de vazão de projeto (TR=25 anos) por janela histórica de dados de precipitação usados.

A Figura 2 apresenta a evolução temporal da vazão de projeto, para o tempo de retorno de 25 anos, em janelas móveis de precipitação de 10 anos, com dois ajustes probabilísticos. Surgem flutuações marcantes na vazão de projeto estimada, o que contrasta com a hipótese de estacionariedade assumida na determinação desses parâmetros hidrológicos.

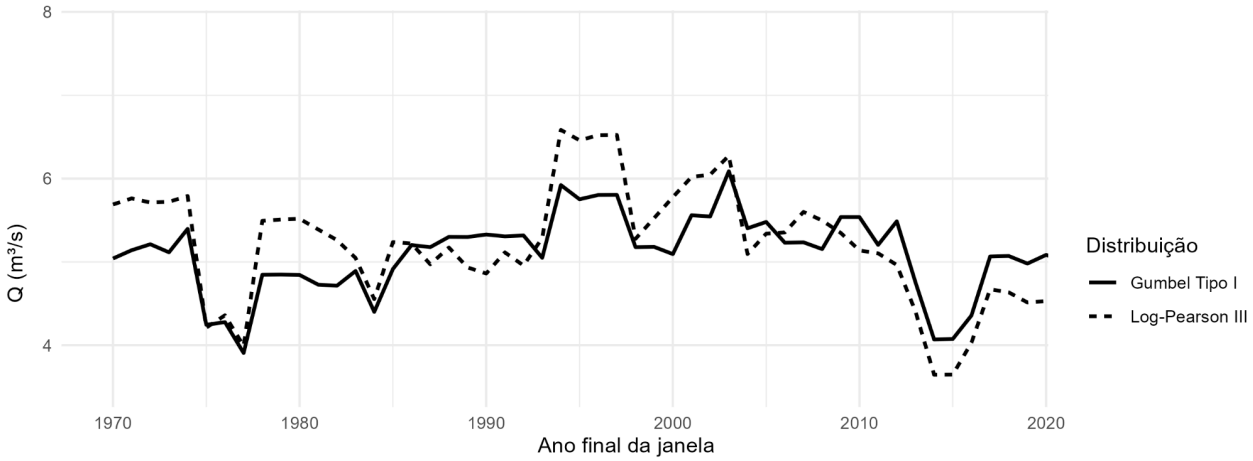


Figura 2. Evolução da vazão de projeto (TR=25 anos) em janelas móveis de 10 anos.

A Figura 3 mostra a matriz com o percentual de variação da vazão de projeto determinada com as duas distribuições analisadas (Gumbel Máximos Tipo I e Log-Pearson III) e a partir dos três valores de tempos de retorno (10, 25 e 50 anos), em janelas históricas de 10 anos. Os valores positivos (tons de azul) indicam aumento da vazão estimada, enquanto valores negativos (tons de vermelho) representam redução da vazão. A intensidade da cor é proporcional à magnitude da

variação percentual (ΔQ). A comparação entre janelas históricas decenais evidenciou que as estimativas de vazão variam de forma não uniforme ao longo do período analisado, indicando sensibilidade das precipitações extremas à composição da amostra utilizada no ajuste probabilístico.

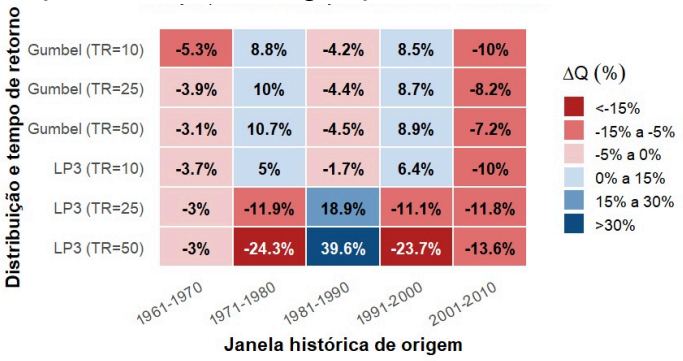


Figura 3. Matriz de sensibilidade das estimativas de vazão de projeto em relação à janela histórica de referência.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir:

- A seleção da janela histórica de precipitação exerce influência significativa sobre as estimativas de vazão de projeto para microdrenagem urbana, mesmo mantendo constantes os parâmetros físicos da bacia e o método de dimensionamento;
- Embora os dados não permitam rejeitar em definitivo a hipótese de estacionariedade, demonstra-se que a escolha da janela temporal constitui uma fonte crítica de incerteza;
- Incorporar a não estacionariedade climática ao dimensionamento de drenagem urbana é crucial para evitar o subdimensionamento, assegurando a longevidade da infraestrutura frente à intensificação de eventos hidrológicos induzidos pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AGILAN, V., UMAMAHESH, N. V., MUJUMDAR, P. P. (2021). Influence of threshold selection in modeling peaks over threshold based nonstationary extreme rainfall series. *Journal of Hydrology*, v. 593, 125625.

LIU, Y., CHEN, J., XIONG, L., XU, C. Y. (2024). Integrating heterogeneous information for modeling non-stationarity of extreme precipitation in the Yangtze River Basin. *Journal of Hydrology*, 645, 132159. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132159

SHAO, J., WANG, J., WANG, W. et al. (2024). Research on the Degree of Non-Stationarity in Extreme Precipitation in the Continental United States. *Water Resour Manage* v.38, p.537–551. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03683-x

SOBRAL. (2022). *Memorial do Projeto de Drenagem: Microbacia Atacadão.* Sobral/CE, 22 p. Disponível em: https://transparencia.sobral.ce.gov.br/arquivo/nome:ec8e2c9baf03dfdb5044b8536fcd7245.pdf

XAVIER, A. C., SCANLON, B. R., KING, C. W., ALVES, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, v.42, n.16, 8390-8404. https://doi.org/10.1002/joc.7731

WU, Y., YU, G., SHAO, Q. (2022). Resilience benefit assessment for multi-scale urban flood control programs. *Journal of Hydrology*, v.613, 128349. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128349