

USO DE SIMULAÇÃO CONTÍNUA NA VERIFICAÇÃO DA RESPOSTA HIDROLÓGICA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE ÁREA PERMEÁVEL: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO SAPO (MACEIÓ-AL)

*Altair Maciel de Barros¹; Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves² & José Matheus
Anacleto Caldeira Alves³*

RESUMO – A urbanização intensiva gera impermeabilização elevada, potencializando aumento nas vazões de pico e nos alagamentos. Uma forma de conter esse processo é adotar medidas não estruturais na bacia hidrográfica, com a alteração da fração de área permeável. Neste estudo, a partir de simulação contínua com o SWMM, avaliou-se a influência da fração de áreas permeáveis na resposta hidrológica da bacia hidrográfica do riacho do Sapo (BHRS), em Maceió-AL. Foram analisados seis cenários de cobertura do solo, incluindo condições atual, normativas e extremos de permeabilidade. A base de avaliação foram as vazões de pico específicas das sub-bacias, após a calibração do modelo e a extração de eventos da série contínua. Os resultados indicaram redução significativa da magnitude e da variabilidade das vazões de pico específicas com o aumento da permeabilidade, associada à maior estabilidade hidrológica. Entretanto, a resposta mostrou comportamento não linear, com diferenças pouco expressivas entre cenários normativos e mudanças mais acentuadas a partir de um limiar de permeabilidade. A declividade das sub-bacias exerceu forte controle sobre a intensidade do escoamento superficial, mostrando que o êxito no controle pode ocorrer com aumento substancial da área permeável aliado às características físicas da bacia.

Palavras-chave – fração de área permeável; simulação contínua; SWMM.

ABSTRACT – Intensive urbanization has been demonstrated to result in elevated levels of soil sealing, with the potential to increase peak flow rates and urban flooding. One method of mitigating this process is to implement non-structural measures in the catchment by altering the proportion of permeable areas. In this study, the influence of the proportion of permeable areas on the hydrological response of the Sapo Stream catchment in Maceió, Alagoas, was evaluated using continuous simulation with SWMM. Six land cover scenarios were analysed, including current conditions, regulatory standards, and extreme permeability conditions. The basis for evaluation was the specific peak flow rate of the sub-catchments, following model calibration and the extraction of events from the continuous time series. The results indicate a substantial decrease in the magnitude and variability of specific peak flow rates with increased permeability, which was concomitant with greater hydrological stability. However, the response exhibited nonlinear behaviour, with insignificant differences between normative scenarios and more pronounced changes beyond a permeability threshold. The slope of the sub-catchments exerted a strong control over the intensity of surface runoff, demonstrating that successful control can be achieved with a substantial increase in the permeability, in conjunction with the physical characteristics of the catchment.

Key-words – proportion of permeable area; continuous simulation; SWMM.

1) ANA: SPO, Área 5, Quadra 3, Bloco N, Brasília-DF. Contatos: (82) 99128-2779 e altair_m@hotmail.com

2) UFAL: Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió-AL. Contatos: (82) 991056677 e marllus.neves@ctec.ufal.br

3) BRK Ambiental: Av. Fernandes Lima, 679, Farol, Maceió-AL. Contatos: (82) 991074707 e jmatheusalves3@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A urbanização intensiva tem promovido alterações significativas no ciclo hidrológico, especialmente em bacias urbanas, onde o aumento da impermeabilização do solo resulta na redução da infiltração, elevação das vazões de pico e maior frequência de eventos de alagamento (Shuster *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2024; Yin *et al.*, 2025). Esses impactos são particularmente relevantes em cidades tropicais, onde a combinação entre elevada intensidade pluviométrica e ocupação desordenada potencializa problemas de drenagem urbana (Seidl *et al.*, 2020; Brito *et al.*, 2020).

Nesse contexto, há estratégias amplamente discutidas, incluindo medidas estruturais e não estruturais, associadas ao planejamento do uso e ocupação do solo (Fletcher *et al.*, 2015; Sehwat *et al.*, 2025; Rotimi *et al.*, 2025), podendo ser citado o controle da fração de áreas permeáveis, fator-chave na modulação da geração de escoamento superficial, mas com limitações de aplicação em instrumentos urbanísticos de muitos municípios brasileiros.

Estudos indicam que a resposta hidrológica a variações na cobertura do solo nem sempre ocorre de forma linear, podendo apresentar comportamentos de limiar e forte dependência de características físicas das bacias, como declividade e escala (Wang *et al.*, 2024; Yin *et al.*, 2025). Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar a influência da fração de área permeável na geração do escoamento superficial em uma bacia urbana, por meio da simulação contínua com diferentes cenários de cobertura do solo de uma bacia hidrográfica urbana de Maceió-AL, usando o modelo SWMM.

A análise é realizada extraindo eventos a partir de uma série contínua, tomando deles as vazões de pico específicas, permitindo avaliar de forma mais robusta a eficiência hidrológica de diferentes configurações de uso do solo, possibilitando comparações entre sub-bacias de diferentes dimensões.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do riacho do Sapo (BHRS), localizada na área urbana de Maceió-AL, possui aproximadamente 2,1 km². Neste estudo, para fins de modelagem, a BHRS foi dividida em sete sub-bacias (SB), considerando sua fisiografia, uso do solo e rede de drenagem (Figura 1.a).

Na BHRS, predominam solos dos grupos hidrológicos A e C (USDA, 1986) (Figura 1.b), associados a elevado grau de impermeabilização (~75%) e à variabilidade espacial da declividade (Figura 1.c). Observam-se áreas mais planas no tabuleiro costeiro e na planície litorânea, como na SB5 (1,2%) e SB7 (2,2%), e maiores declividades na zona de transição, destacando-se a SB1 (24,1%), SB2 (16,5%), SB4 (10,9%) e SB6 (15,0%).

A rede de microdrenagem da BHRS é conectada ao canal principal artificial em concreto, o

denominado riacho do Sapo, com cerca de 4,4 km de extensão. O tempo de concentração da bacia hidrográfica é de aproximadamente 82 min, estimado via equação de Carter (Silveira, 2005). Sob o clima quente e úmido de Maceió, com precipitação média anual de aproximadamente 1.980 mm e período chuvoso concentrado de abril a agosto (IBGE, 2022; INMET, 2026), a BHRS apresenta recorrentes problemas de alagamento (Peplau e Neves, 2014; Barros *et al.*, 2020).

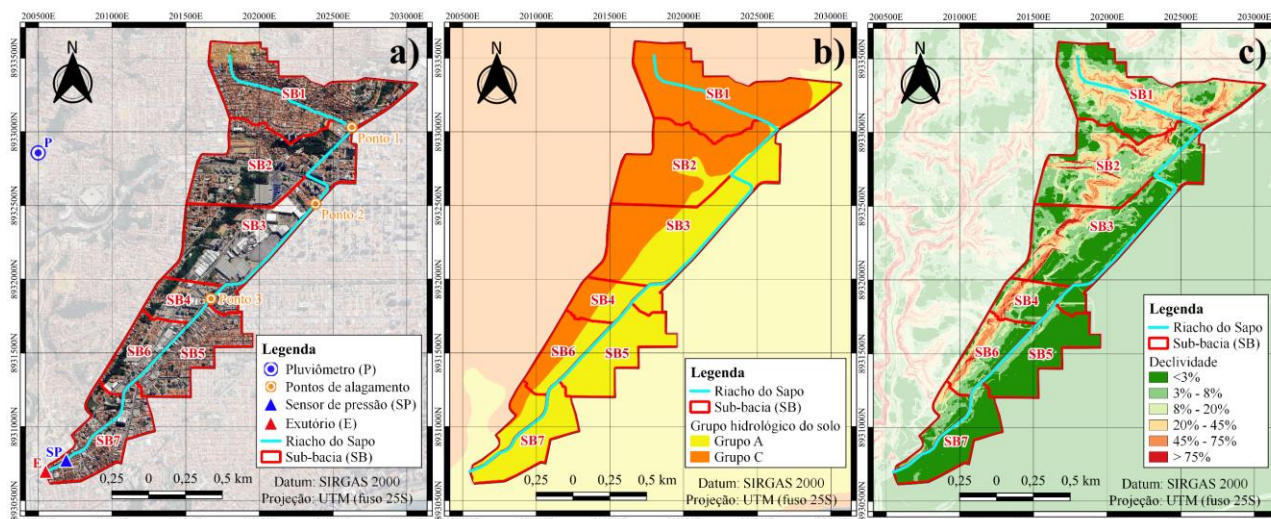


Figura 1 – a) Localização da BHRS, com sua subdivisão em SB, indicação do exutório e dos pontos de monitoramento; b) distribuição dos grupos hidrológicos do solo na BHRS; e c) mapa de classes de declividade do terreno da BHRS.

Em relação aos alagamentos, Peplau e Neves (2014) identificaram três pontos críticos na BHRS (Figura 1.a). O ponto 1 corresponde ao exutório da SB1; o ponto 2 situa-se a jusante de uma área de contribuição equivalente à soma da SB1 com a SB2 e uma parcela da SB3; e o terceiro localiza-se a jusante de uma área correspondente à soma das SB1 à SB4. Com base no método racional e nas propostas de Tucci (2000) e Tucci (2001), os autores estimaram a vazão de pré-urbanização ($q_{pré}$) da BHRS em $17,5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Estudo desenvolvido por Barros e Neves (2025) na região da SB1 indica que a adoção das medidas estruturais como reservatórios de detenção ou microreservatórios de detenção em lotes pode ser eficaz, embora de implementação limitada pela ocupação consolidada da região, de modo que, considerando que há parcelas da BHRS associadas a solos do grupo hidrológico do solo A, este estudo foca na medida não estrutural da implementação de fração de área permeável.

2.2 Dados hidrológicos

Os dados de chuva foram obtidos por um pluviômetro de báscula da Hydrological Services (modelo TB4), com resolução de 0,20 mm, instalado cerca de 1,5 km da área de estudo (Figura 1.a), gerando uma série contínua com passo de cinco minutos no período de 29/03/2014 a 30/04/2021.

A evaporação média diária foi estimada a partir da estação climatológica Maceió (código

935004) (ANA, 2026) no período de 1925 a 1978.

Os dados de nível d'água monitorados no riacho do Sapo foram obtidos por um sensor de pressão instalado próximo ao exutório da BHRS (Figura 1.a), com registros entre 10/2013 e 05/2014. Para calibração, foram utilizados eventos entre 30/04/2014 e 12/05/2014.

2.3 Descrição dos cenários

A análise foi realizada a partir de seis cenários de cobertura do solo: (i) cenário de referência (CenRef), representativo da condição atual da BHRS; (ii) cenário baseado nas diretrizes do Plano Diretor de Maceió (PDMM) (Maceió, 2005) e do Código de Urbanismo e Edificações (CUEMM) (Maceió, 2007), denominado CenPD; (iii) cenário derivado do CenPD com aumento da permeabilidade (CenPD+); (iv) dois cenários extremos, correspondentes à impermeabilização total (Cen0) e à permeabilidade total (Cen100); e (v) um cenário intermediário (Cen75), próximo à condição mais permeável.

O CenRef foi utilizado como base para construção e calibração do modelo. O CenPD considerou a divisão das zonas residenciais em áreas edificáveis, sistema viário e áreas livres, bem como a aplicação de taxas máximas de ocupação e restrições ao parcelamento do solo em áreas com declividade superior a 30%. Também foram consideradas zonas especiais, como áreas de interesse social e ambiental, incluindo faixas marginais de proteção ao longo dos cursos d'água (Maceió, 2005; Maceió, 2007).

O CenPD+ foi desenvolvido para ampliar a fração de área permeável em relação ao CenPD, estabelecendo que 50% da área não edificada dos lotes deveria ser obrigatoriamente mantida como área permeável. Adicionalmente, definiu-se que 20% das zonas residenciais inseridas na BHRS fossem destinadas à implantação de áreas livres de lazer e equipamentos comunitários, em substituição aos 15% previstos pelo PDMM e pelo CUEMM.

Os cenários extremos Cen0 e Cen100 representam condições teóricas limite de geração de escoamento superficial, sendo adotados como envoltórias hidrológicas. O cenário intermediário Cen75 foi incluído para representar uma condição próxima ao limite de máxima permeabilidade.

2.4 Modelagem hidrológico-hidráulica da BHRS nos cenários

A modelagem da BHRS foi feita no SWMM 5.2 (Rossman e Simon, 2022), adotando sua discretização em sete SB e a representação do canal principal (riacho do Sapo) por meio de 15 condutos e 16 nós, utilizando o método da onda dinâmica para a propagação do escoamento.

Os parâmetros do modelo no SWMM para o CenRef foram estimados conforme Barros *et al.* (2020), com exceção do método de infiltração, para o qual foi adotado o método do *Natural Resources*

Conservation Services (NRCS), cujo principal parâmetro é o *Curve Number* (CN). A estimativa do CN considerou a combinação entre os grupos hidrológicos do solo e as classes de cobertura do solo nas SB, com base em valores de referência do NRCS (USDA, 1986). Para cada SB, o CN foi obtido por média ponderada pela área, a partir da sobreposição dos mapas de solo e uso do solo.

Outra variável alterada via calibração manual, por tentativa e erro, foi o percentual de área impermeável (%AI), apontado na literatura como o parâmetro de maior sensibilidade no SWMM (Shinma e Reis, 2011; Beling *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2022).

A parametrização dos cenários Cen0, CenPD, CenPD+, Cen75 e Cen100 foi baseada no CenRef, mantendo-se inalterados os parâmetros físicos das SB e os parâmetros hidráulicos do canal principal, com variação apenas dos parâmetros associados à cobertura do solo nas SB (%AI e CN).

No CenPD, os valores de %AI e CN foram estimados, considerando a distribuição de usos nas zonas residenciais, viárias, de interesse social e ambiental, com predominância de superfícies pavimentadas nas áreas edificáveis e vegetação nas áreas livres e de proteção. De maneira análoga, como o CenPD+ foi derivado do CenPD, com aumento da fração de áreas permeáveis, os valores de %AI e CN foram estimados a partir da combinação do mapa dos grupos hidrológicos do solo (A e C – Figura 1.b) e da distribuição das classes de cobertura do solo avaliadas.

Nos cenários extremos, adotaram-se condições limite: no Cen0, com %AI igual a 100%, o CN foi estimado a partir de usos urbanos altamente impermeáveis (comércio, indústria, residência, estacionamento e rua de asfalto); no Cen100, com %AI igual a 0%, o CN foi associado a coberturas vegetadas (vegetação densa e rasteira). No Cen75, adotou-se condição intermediária (%AI = 25%), com CN obtido por ponderação compatível com essa composição.

2.5 Critérios de análise

A análise do impacto dos diferentes cenários na BHRS foi realizada com base nas vazões de pico específicas ($Q_{p,esp}$, em $L.s^{-1}.ha^{-1}$) das SB, que são as vazões de pico (Q_p , em L/s) normalizadas pela área de drenagem (A , em ha), conforme a Equação 1.

$$Q_{p,esp} = \frac{Q_p}{A} \quad (1)$$

Os valores de Q_p foram obtidos a partir da identificação de eventos hidrológicos na série contínua simulada no SWMM. Para a separação dos eventos, adotou-se o critério do tempo entre eventos (TEE) de 9 h, definido com base em análise de sensibilidade. Verificou-se que, a partir desse valor, a variação no número de eventos identificados é inferior a 5%, indicando sua adequação para a discretização da série.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Calibração do modelo para o CenRef e parametrização dos demais cenários

O modelo apresentou bom desempenho já na condição inicial, antes da calibração, com $R = 0,92$, $R^2 = 0,85$ e $NSE = 0,55$ para o período completo – de 30/04/2014 a 12/05/2014 (Figura 2.a), e $R = 0,97$, $R^2 = 0,94$ e $NSE = 0,77$ para o evento chuvoso identificado no período (Figura 2.b), indicando adequada estimativa dos parâmetros. De modo geral, o modelo reproduziu satisfatoriamente a forma dos limnigramas observados, especialmente as fases de ascensão e recessão.

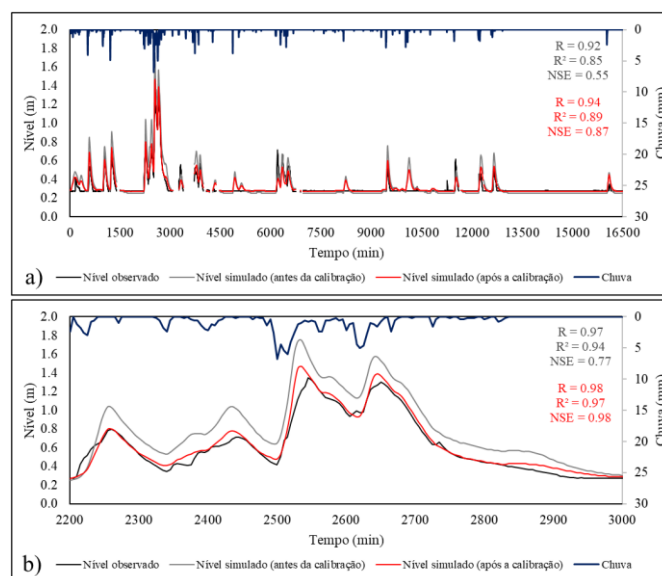


Figura 2 – a) Limnigramas observado e simulado para o período completo e b) para o evento chuvoso.

Após a calibração, observou-se melhoria consistente nas métricas do modelo, com $R = 0,94$, $R^2 = 0,89$ e $NSE = 0,87$ para o período completo (Figura 2.a), e $R = 0,98$, $R^2 = 0,97$ e $NSE = 0,98$ para o evento chuvoso (Figura 2.b), evidenciando a capacidade preditiva do modelo.

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros %AI e CN estimados para as SB nos cenários analisados, assim como de três de seus parâmetros físicos: área (A), largura característica (W) e declividade média (S).

Tabela 1 – Parâmetros físicos e hidrológicos estimados para as SB da BHRS nos cenários avaliados.

SB	A (ha)	W (m)	S (%)	Cen0		CenRef			CenPD		CenPD+		Cen75		Cen100	
				%AI	CN	%AI ¹	%AI ²	CN	%AI	CN	%AI	CN	%AI	CN	%AI	CN
1	47,9	690	24,1	100	90,6	87,6	70,9	63,8	47,5	83,7	45,5	83,2	25	77,2	0	72,8
2	39,2	636	16,5	100	91,5	83,6	48,8	43,9	53,4	84,1	50,8	83,4	25	75,1	0	69,7
3	46,9	705	8,5	100	91,4	84,4	60,0	54,0	54,9	77,7	52,5	78,6	25	63,4	0	54,0
4	14,1	391	10,9	100	92,5	77,5	56,7	51,0	51,3	75,6	46,4	73,4	25	64,7	0	55,4
5	22,3	512	1,2	100	81,8	76,5	69,1	62,2	63,1	76,1	59,5	74,2	25	53,4	0	44,0
6	14,5	281	15,0	100	90,7	81,8	58,0	52,2	47,0	77,3	43,8	75,9	25	67,9	0	60,3
7	25,0	417	2,2	100	86,8	81,0	66,8	60,1	56,7	74,3	53,9	72,8	25	56,6	0	46,5

¹ Valores do parâmetro estimados antes da calibração.

² Valores do parâmetro obtidos após a calibração.

3.2 Influência dos cenários na vazão de pico específica

A Figura 3 apresenta a distribuição das $Q_{p,esp}$ simuladas para os diferentes cenários. O valor de $q_{pré}$ estimado por Peplau e Neves (2014) foi incluído no gráfico sem *outliers* (Figura 3.a), com destaque (sombreamento) para a região de vazões superiores a esse limiar ($q_{pré}$).

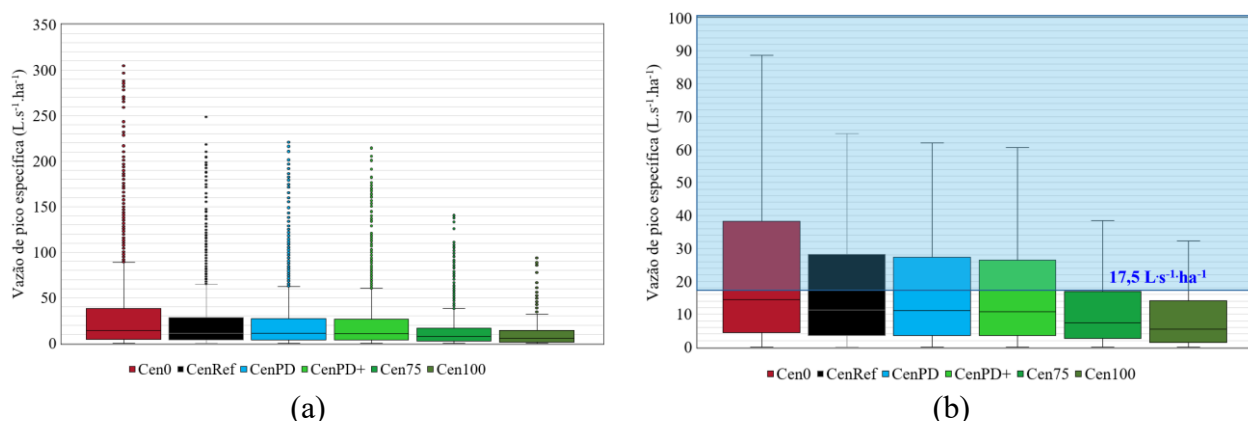


Figura 3 – Distribuição das $Q_{p,esp}$ simuladas para a BHRS nos diferentes cenários: (a) conjunto completo de dados, com presença de *outliers*; e (b) distribuição sem *outliers*, com indicação da $q_{pré}$ (17,5 $L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$).

Observa-se redução consistente da magnitude e da variabilidade das $Q_{p,esp}$ com o aumento da fração de área permeável, evidenciada pela diminuição do número e da intensidade dos *outliers*. Esse comportamento indica maior estabilidade hidrológica e menor ocorrência de eventos extremos. O limite superior dos *boxplots* decresce de 89,1 $L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ (Cen0) para 33,3 $L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ (Cen100), enquanto a mediana reduz de 14,4 para 5,5 $L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$, acompanhada pela diminuição do desvio padrão, de 38,6 para 14,0 $L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$, e da amplitude interquartil, de 33,9 para 12,7 $L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$.

Entretanto, a resposta hidrológica não é linear. As diferenças entre o cenário atual (CenRef) e os cenários normativos (CenPD e CenPD+) são pouco expressivas, indicando baixa sensibilidade a modificações incrementais. Por outro lado, a partir do Cen75 observa-se mudança mais pronunciada, sugerindo a existência de um limiar de resposta, no qual o terceiro quartil passa a assumir valores inferiores à $q_{pré}$ estimada por Peplau e Neves (2014).

A redução da dispersão e dos valores máximos sugere que o incremento da permeabilidade contribui para mitigar eventos críticos, com implicações diretas na redução do risco de alagamento. Assim, intervenções que promovam aumentos mais substanciais na fração de área permeável tendem a gerar benefícios hidrológicos mais relevantes do que ajustes normativos pontuais.

A análise por SB (Figura 4) indica que o aumento da permeabilidade afeta principalmente os quantis superiores das distribuições de $Q_{p,esp}$, com menor impacto nos eventos de baixa magnitude. Esse comportamento sugere que a fração de área impermeável exerce maior controle sobre eventos intensos, nos quais a capacidade de infiltração é rapidamente excedida.

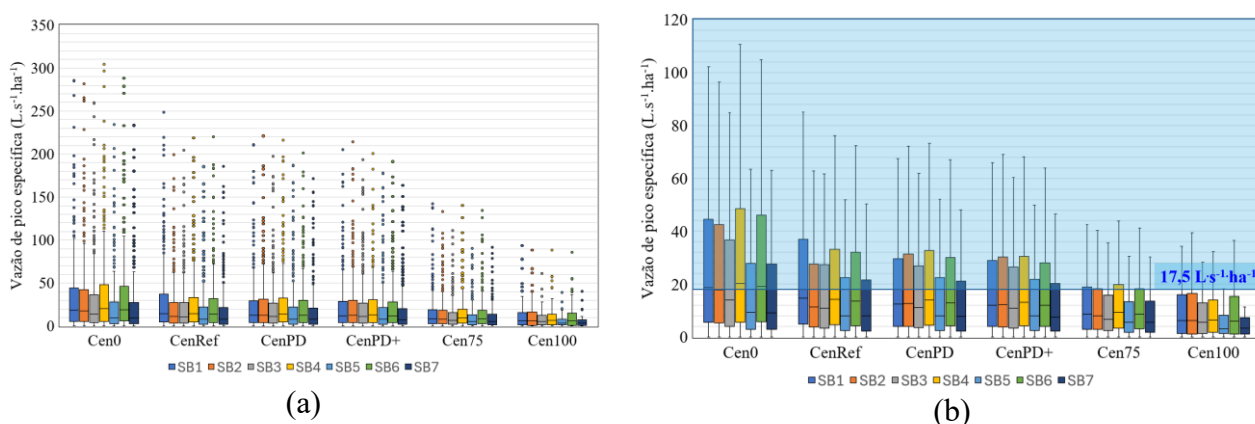


Figura 4 – Distribuição das $Q_{p,esp}$ simuladas para as SB da BHRS nos diferentes cenários: (a) conjunto completo de dados, com presença de *outliers*; e (b) distribuição sem *outliers*, com indicação da $q_{pré}$ ($17,5 \text{ L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$).

Observa-se ainda que as SB5 e SB7 se destacam por apresentarem, desde o CenRef, maior frequência de valores inferiores à $q_{pré}$ estimada por Peplau e Neves (2014). Esse comportamento está associado às suas características físicas, notadamente as baixas declividades e a predominância de solos do grupo hidrológico A, que favorecem a infiltração. A SB6 também apresenta tendência semelhante, especialmente a partir do CenPD+, embora de forma menos pronunciada, em razão de sua maior declividade e das características do solo.

Adicionalmente, a análise dos coeficientes de correlação linear evidenciam que a Q_p apresenta forte correlação com a área de drenagem ($R \geq 0,90$) e com a largura característica ($R > 0,80$), refletindo o efeito de escala. Em contrapartida, a $Q_{p,esp}$ apresenta forte correlação com a declividade média ($0,76 \leq R \leq 0,85$), indicando que esse parâmetro atua como principal controlador da intensidade do escoamento superficial. Assim, sub-bacias com maiores declividades tendem a apresentar valores mais elevados de $Q_{p,esp}$, amplificando os efeitos da impermeabilização, enquanto SB com declividades mais suaves apresentam respostas mais atenuadas e menor sensibilidade às alterações na cobertura do solo.

4 CONCLUSÕES

Este estudo indicou a redução expressiva da magnitude e da variabilidade das vazões de pico específicas com o aumento da permeabilidade, evidenciando maior estabilidade hidrológica e menor ocorrência de eventos extremos. Contudo, essa resposta não foi linear, pois houve diferenças pouco significativas entre o cenário atual (CenRef) e os cenários normativos (CenPD e CenPD+), enquanto alterações mais expressivas ocorreram a partir do Cen75, indicando a existência de um comportamento de limiar na resposta hidrológica da bacia hidrográfica.

Verificou-se ainda que o aumento da permeabilidade atua principalmente na atenuação de eventos de maior magnitude, enquanto eventos menos intensos apresentam menor sensibilidade às

mudanças na cobertura do solo. A resposta hidrológica foi fortemente condicionada pela declividade das sub-bacias, que se mostrou o principal fator de controle da vazão de pico específica.

Os resultados indicam que intervenções urbanísticas devem considerar, de forma integrada, a fração de área permeável e as características físicas intrínsecas da região, a fim de maximizar a eficiência do manejo de águas pluviais.

REFERÊNCIAS

- ANA. (2026). Portal Hidroweb v3.3.8361.0. Recuperado em 26 de janeiro de 2026, de <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>
- BARROS, A.M., NEVES, M.G.F.P., UCHÔA, L.M. (2020). “Modelagem hidrológico-hidráulica e simulação contínua para fins de gestão do regime hidrológico de bacias urbanas” in Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Porto Alegre, Out. 2020.
- BARROS, A.M., NEVES, M.G.F.P. (2025). “Controle do escoamento superficial em diferentes escalas em uma comunidade urbana via simulação por eventos e simulação contínua”. Revista de Gestão de Águas da América Latina, 22(9).
- BELING, F.A., PAIVA, E.M.C.D., PAIVA, J.B.D. (2013). “Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWMM5 na geração de escoamento superficial” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Nov. 2013.
- BRITO, L.K.S., COSTA, M.E.L., KOIDE, S. (2020). “Assessment of the impact of residential urban patterns of different hillslopes on urban drainage systems and ecosystem services in the Federal District, Brazil”. Sustainability, 12(14).
- FLETCHER, T.D, SHUSTER, W., HUNT, W.F., ASHLEY, R., BUTLER, D., ARTHUR, S., TROWSDALE, S., BARRAUD, S., SEMADENI-DAVIES, A., BERTRAND-KRAJEWSKI, J., MIKKELSEN, P.S., RIVARD, G., UHL, M., DAGENAIS, D., VIKLANDER, M. (2015). “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage”. Urban Water Journal, 12(7), 525–542.
- IBGE. (2022). Mapa de Clima do Brasil. Recuperado em 20 de janeiro de 2026, de <https://portaldemapas.ibge.gov.br>
- INMET. (2026). Banco Nacional de Dados Meteorológicos. Recuperado em 22 de janeiro de 2026, de <https://bdmep.inmet.gov.br/#>
- MACEIÓ. (2005). Lei nº 5.486, de 30 de dezembro de 2005. Institui o Plano Diretor do Município de Maceió, estabelece diretrizes gerais de políticas de desenvolvimento urbano e dá outras providências. Diário Oficial [de] Maceió, Maceió.
- MACEIÓ. (2007). Lei nº 5.593, de 8 de fevereiro de 2007. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió, estabelece o zoneamento da cidade de acordo com os parâmetros de macrozoneamento do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (Lei nº 5.486, de 30 de dezembro de 2005) e dá outras providências. Diário Oficial [de] Maceió, Maceió.
- PEPLAU, G.J.R., NEVES, M.G.F.P. (2014) “Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 19(4), 97-106.

ROSSMAN, L. A., SIMON, M. A. (2022). Storm Water Management Model: User's Manual Version 5.2. USEPA. Cincinnati, Ohio.

ROTIMI, F.E., KALATEHJARI, R., DOKYI, G.O., MOSHOOD, T.D., IRA, S. (2025). "Navigating urban hydrology: a comprehensive exploration of impervious area reduction techniques in New Zealand's residential landscapes". Smart and Sustainable Built Environment, 14(5).

SEHRAWAT, S., SHEKHAR, S. (2025). "Integrating low impact development practices with GIS and SWMM for enhanced urban drainage and flood mitigation: a case study of Gurugram, India". Urban Governance, 5(2), 240-255.

SEIDL, M., HADRICHS, B., PALMIER, L., PETRUCCI, G., NASCIMENTO, N. (2020). "Impact of urbanisation (trends) on runoff behaviour of Pampulha watersheds (Brazil)". Environmental Science and Pollution Research, 27, 14259–14270.

SHINMA, T.A., REIS, L.F.R. (2011). "Multiobjective automatic calibration of the Storm Water Management Model (SWMM) using Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)" in World Environmental and Water Resources Congress. Palm Springs, May. 2011.

SHUSTER, W.D., BONTA, J., THURSTON, H., WARNEMUENDE, E., SMITH, D.R. (2005). "Impacts of impervious surface on watershed hydrology: a review". Urban Water Journal, 2(4), 263-275.

SILVEIRA, A.L.L. (2005). "Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 10(1), 5-23.

SILVEIRA, A., CAVALCANTI, A.A., MENEZES FILHO, F.C.M., SEVERINO, M.F. (2022). "Calibração do modelo hidrológico SWMM para a bacia do ribeirão Vai e Volta — Poços de Caldas, Minas Gerais". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 27(1).

TUCCI, C.E.M. (2000). "Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 5(1), p. 61-68.

TUCCI, C.E.M. (2001). "Elementos para o controle da drenagem urbana", in Avaliação e controle da drenagem urbana. Org. por Tucci, C.E.M e Marques, D.M.L.M, ABRH, Porto Alegre, v.2, pp. 421-437.

USDA. (1986). Urban hydrology for small watersheds. Technical Release, n.55. Washington D. C.

WANG, Y., ZHANG, X., GONG, L., WANG, W., SHE, D., LIU, J. (2024). "On the relationship between surface runoff and impervious area in the urban RPA (receiving pervious area)-DIA (disconnected impervious area) system: a simple equation expressing the sensitivity of runoff to changes in imperviousness". Journal of Hydrology, 631.

YIN, Z., LIU, G., ZHENG, Z., LI, X. (2025). "Sustainable stormwater management: runoff impact of urban land layout with multi-level impervious surface coverage". Sustainability, 17(8).

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem ao PPGRHS/UFAL e ao CNPq pelo apoio institucional e financeiro. Agradecem, ainda, aos alunos dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária da UFAL pela colaboração nas atividades de pesquisa.