

Influência de Soluções Baseadas na Natureza no escoamento superficial da Bacia do Belém em Curitiba

Fernanda Marques de Souza¹ ; José Mauricio Muñoz Bolívar² ; Altair Rosa³ & Juliana de Toledo Machado⁴

RESUMO

A urbanização e a impermeabilização do solo alteram a resposta hidrológica de bacias urbanas, elevando o escoamento superficial e os picos de vazão. Este estudo avaliou a influência de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) na dinâmica hidrológica da Bacia do rio Belém, em Curitiba (PR), por meio de modelagem com o EPA-SWMM. Foram simulados cenários com e sem a aplicação de pavimentos permeáveis e jardins de chuva, considerando tempos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos. Os resultados indicaram redução do escoamento superficial de até 7% (jardins de chuva), 8% (pavimentos permeáveis) e 15% (combinação das técnicas). A redução média dos picos de vazão foi de 2,24%, 2,64% e 4,98%, respectivamente. Para $Tr = 50$ anos, os volumes infiltrados variaram entre 5,5 e 8,9 mm, com taxa máxima de infiltração de 3,41 mm/h. Observou-se eficiência em todos os eventos simulados, inclusive para eventos mais intensos. A área de aplicação (3% a 5% das sub-bacias) influenciou os resultados, indicando maior efetividade de estratégias distribuídas. A modelagem permitiu a avaliação comparativa de cenários, contribuindo para o planejamento de drenagem urbana.

Palavras-Chave – Soluções baseadas na natureza; drenagem urbana; sustentabilidade.

ABSTRACT

Urbanization and soil sealing alter the hydrological response of urban basins, increasing surface runoff and peak flows. This study evaluated the influence of Nature-Based Solutions (NBS) on the hydrological dynamics of the Belém River Basin in Curitiba (PR) through modeling with EPA-SWMM. Scenarios with and without the application of permeable pavements and rain gardens were simulated, considering return periods of 2, 5, 10, 20, and 50 years. The results indicated a reduction in surface runoff of up to 7% (rain gardens), 8% (permeable pavements), and 15% (combination of the techniques). The average reduction in peak flow rates was 2,24%, 2,64%, and 4,98%, respectively. For a return period (Tr) of 50 years, the infiltrated volumes ranged from 5,5 to 8,9 mm, with a maximum infiltration rate of 3,41 mm/h. Efficiency was observed in all simulated events, including more intense events. The application area (3% to 5% of the subcatchments) influenced the results, indicating greater effectiveness of distributed strategies. The modeling enabled a comparative assessment of the scenarios, contributing to urban drainage planning.

Key-words – Nature based solutions; urban drainage, sustainability.

1) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba, PR, Brasil, CEP 80215-901. E-mail: fernanda.souza3@pucpr.edu.br

2) Mestrando o Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba, PR, Brasil, CEP 80215-901. E-mail: bolivar.jose@pucpr.edu.br

3) Professor do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba, PR, Brasil, CEP 80215-901. E-mail: altair.rosa@pucpr.br.

4) Pesquisadora Associada do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba, PR, Brasil, CEP 80215-901. E-mail: julitoledomachado@gmail.com.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerada, associado à expansão de áreas construídas e à ocupação de zonas ambientalmente inadequadas, tem intensificado pressões sobre os sistemas urbanos e os recursos naturais, resultando em alterações no microclima, aumento da frequência de eventos extremos e degradação dos sistemas hídricos (Sarra; Mulfart, 2021). Nesse contexto, Ren et al. (2022) evidenciam que a intensificação da urbanização está diretamente relacionada ao aumento de impactos ambientais negativos, com implicações para a saúde pública, disponibilidade hídrica e qualidade do ar.

A vegetação urbana configura-se como um componente estratégico na mitigação desses efeitos, atuando na regulação do microclima, na redução das amplitudes térmicas e no aumento da umidade relativa do ar. Nesse sentido, Pinheiro e Souza (2017) destacam a necessidade de incorporação de espaços verdes no planejamento urbano. Tal abordagem reforça a importância de instrumentos de planejamento que restrinjam a ocupação em áreas ambientalmente frágeis, especialmente em zonas de mananciais, e orientem a expansão urbana com base em cenários prospectivos, considerando as alterações no escoamento superficial em relação às condições naturais do terreno.

No campo da drenagem urbana, a abordagem tradicional esteve historicamente orientada à rápida condução das águas pluviais para jusante. Conforme discutido por Tucci (2003), esse modelo priorizou a eficiência hidráulica imediata, desconsiderando os impactos cumulativos da urbanização. Delleur (2002) aponta que as preocupações com a poluição das águas urbanas ganharam força a partir da década de 1960, período em que se desenvolveram os primeiros métodos de análise de hidrogramas e modelos computacionais (Marsalek, 2005). Entretanto, a intensificação da impermeabilização do solo nas áreas urbanas tem resultado no aumento do coeficiente de escoamento superficial e na elevação dos picos de vazão, que passam a ocorrer em intervalos de tempo mais curtos (Tingsanchali, 2012). Além disso, Pour et al. (2020) ressaltam que muitos sistemas de drenagem foram dimensionados com base em séries históricas que já não representam adequadamente as condições atuais, em função das mudanças climáticas. Nesse cenário, Desouza e Flanery (2013) indicam a necessidade de estratégias mais flexíveis e adaptativas no planejamento urbano e na gestão das águas pluviais.

Diante das limitações dos sistemas convencionais de drenagem urbana, abordagens contemporâneas de planejamento têm incorporado a adaptação de infraestruturas e políticas públicas, com ênfase na integração entre uso e ocupação do solo, eficiência ambiental e ampliação de sistemas

verdes. Nesse contexto, destacam-se as Soluções Baseadas na Natureza (SbN), utilizadas como complemento ou alternativa às infraestruturas tradicionais. As SbN configuram um conceito abrangente no campo das políticas ambientais, sendo definidas pela International Union for Conservation of Nature como ações voltadas à proteção, gestão sustentável e restauração de ecossistemas naturais ou modificados, capazes de enfrentar desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, promovendo simultaneamente o bem-estar humano e a conservação da biodiversidade (Cohen-Shacham et al., 2019; Seddon et al., 2021; Chausson et al., 2020; La Rosa et al., 2021). De modo convergente, a European Commission as caracteriza como soluções inspiradas e suportadas pela natureza, custo-efetivas e capazes de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos, contribuindo para a resiliência urbana (Dushkova & Haase, 2020; Martín et al., 2020; La Rosa et al., 2021; Seddon et al., 2021). Enquanto conceito guarda-chuva, as SbN englobam abordagens como infraestrutura verde e azul, adaptação baseada em ecossistemas e restauração ecológica (Chausson et al., 2020; Seddon et al., 2021; Fang et al., 2023; Martín et al., 2020), sendo, no contexto urbano, aplicadas diretamente à gestão das águas pluviais, regulação microclimática e aumento da resiliência territorial (Dushkova & Haase, 2020; Laforteza et al., 2018; Dorst et al., 2019; Castellar et al., 2021; Nesshöver et al., 2017).

Apesar desse avanço conceitual e da crescente incorporação dessas soluções no planejamento urbano, principalmente no norte Global, ainda são limitadas as análises quantitativas, em escala de bacia urbana, que avaliem de forma integrada sua eficiência na redução do escoamento superficial e na mitigação de alagamentos. Essa limitação também acontece em contextos urbanos brasileiros, evidenciando uma lacuna na aplicação de modelos hidrológicos capazes de comparar cenários com e sem a adoção dessas técnicas e de produzir evidências mensuráveis para subsidiar a tomada de decisão na gestão da drenagem urbana.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da aplicação de técnicas de Soluções Baseadas na Natureza associadas à drenagem urbana sustentável na ocorrência de alagamentos na bacia hidrográfica do rio Belém, localizada no município de Curitiba. Para isso, foi utilizado o software EPA-SWMM na simulação do escoamento superficial em cenários distintos, anterior e posterior à implementação dessas técnicas, permitindo a análise comparativa de sua eficiência e oferecendo subsídios técnicos ao planejamento urbano e à gestão da drenagem em escala de bacia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido por meio de modelagem hidrológica utilizando o software Storm Water Management Model (SWMM), desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA), empregado na simulação de processos de precipitação–escoamento em áreas urbanas. O modelo representa o comportamento hidrológico por meio da discretização da área de estudo em sub-bacias, considerando parâmetros físicos e séries temporais de precipitação.

A área de estudo corresponde à Bacia Hidrográfica do rio Belém, localizada no município de Curitiba (PR). A bacia foi subdividida em 21 sub-bacias, com base em dados espaciais disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), conforme apresentado na Figura 1. Para cada sub-bacia, foram considerados dados de área, declividade média e percentual de impermeabilização, obtidos a partir de modelos em ambiente SIG.

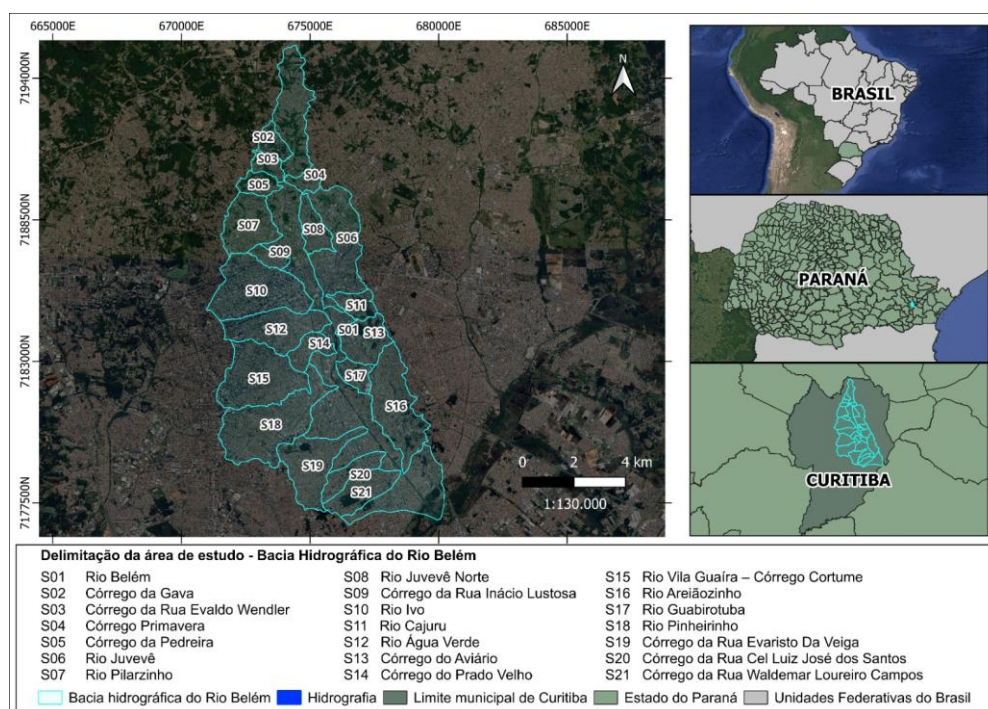


Figura 1 – Divisão das sub-bacias do Belém

Para a estimativa da infiltração, foi adotado o método Curve Number (CN), que relaciona uso e cobertura do solo, tipo de solo e condições antecedentes de umidade. Foram adotados valores de CN entre 95,50 a 97,86, de acordo com a média ponderada dos coeficientes do terreno de cada sub-bacia, representando condição de elevada impermeabilização.

As chuvas de projeto foram definidas a partir de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF). A curva adotada foi a equação proposta por Fendrich (1):

$$i = \frac{5.726,64 \cdot Tr^{0,159}}{(t+41)^{1,041}} \quad (1)$$

em que i é a intensidade da precipitação (mm/h), Tr o tempo de retorno (anos) e t a duração da chuva (minutos).

Foram gerados hietogramas para tempos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos. A duração da chuva foi definida a partir do tempo de concentração (T_c) da bacia, estimado em 290 minutos. Os hietogramas foram discretizados em intervalos de 5 minutos e utilizados como entrada no modelo.

Os parâmetros hidráulicos foram definidos a partir do uso e ocupação do solo. Para o coeficiente de Manning, adotou-se $n = 0,013$ para superfícies impermeáveis e valores entre $n = 0,20$ e $0,40$ para áreas permeáveis. Os valores foram atribuídos conforme características da cobertura do solo nas sub-bacias.

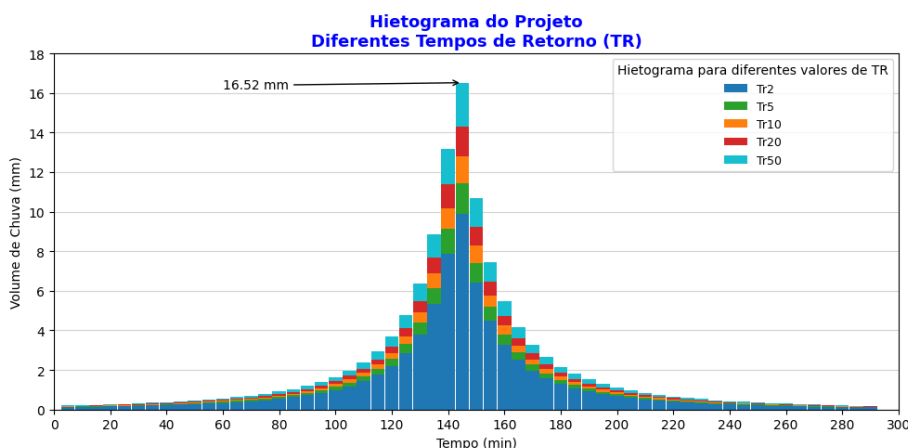


Figura 2 – Chuvas de projeto para diferentes Tempos de retorno

A modelagem foi realizada para dois cenários:

- (i) cenário atual, sem intervenções;
- (ii) cenário com aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN).

No cenário com SbN, foram consideradas técnicas de pavimentos permeáveis e jardins de chuva (biorretenção). A definição das áreas de aplicação foi realizada a partir de uma simplificação geométrica das quadras urbanas, adotando dimensões médias de 100 x 120 m e largura de via de 7 m, permitindo estimar as áreas destinadas às intervenções.

Para a parametrização das SbN no SWMM, foram definidos parâmetros relativos às camadas dos pavimentos permeáveis (superfície, estrutura e armazenamento) e às estruturas de biorretenção (superfície, vegetação, solo e armazenamento). Pela falta de dados em relação à rede de drenagem existente, foram considerados para todos os cenários, a infiltração total da água pluvial pelo solo.

As simulações foram conduzidas de forma comparativa entre os cenários, avaliando volume escoado, pico de vazão e comportamento temporal do escoamento, com o objetivo de identificar alterações na resposta hidrológica da bacia associadas à aplicação das SbN.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A simulação inicial foi realizada para representar as condições atuais da Bacia do Belém, sem a aplicação de intervenções, com o objetivo de avaliar a resposta hidrológica do sistema. O modelo fornece resultados tanto para a bacia como um todo quanto para cada uma das 21 sub-bacias. A Figura 3 apresenta a variação da infiltração ao longo do tempo para diferentes tempos de retorno (2, 5, 10, 20 e 50 anos), permitindo a análise da dinâmica de resposta do sistema frente a eventos de diferentes magnitudes.

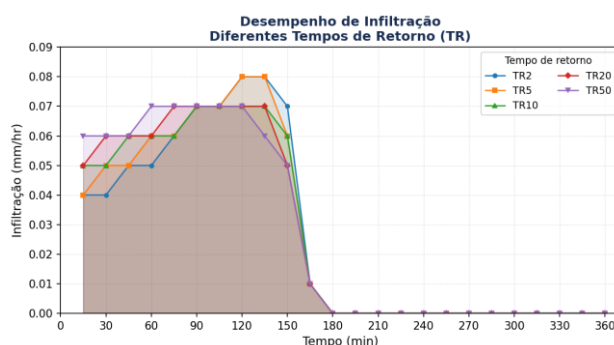


Figura 3 – Resultado de infiltração sem SBN, em diferentes Tr

No início dos eventos de precipitação, observa-se maior taxa de infiltração, associada à baixa umidade inicial do solo. À medida que o solo se aproxima da saturação, a infiltração decai progressivamente até valores próximos de zero. Para eventos com maiores tempos de retorno, como $Tr = 50$ anos, verifica-se maior taxa de infiltração nos instantes iniciais, seguido de redução em torno dos 120 minutos, anteriormente a eventos de menor magnitude. Esse comportamento está associado à maior intensidade da precipitação, que eleva o aporte hídrico inicial e acelera o processo de saturação do solo, sem implicar aumento da capacidade de infiltração.

O processo de infiltração ocorre inicialmente nas camadas superficiais do solo, com posterior propagação da umidade para camadas mais profundas à medida que a precipitação se mantém (Tucci, 2012). O escoamento superficial inicia-se quando a capacidade de armazenamento do solo é atingida. Na Bacia do Belém, observa-se baixa infiltração acumulada e rápida redução da taxa ao longo do tempo, indicando predominância de superfícies impermeáveis e limitada capacidade de retenção hídrica.

A Figura 4 apresenta o comportamento do escoamento superficial ao longo do tempo para diferentes tempos de retorno. Observa-se aumento da vazão de pico com o incremento do tempo de retorno, em função da maior intensidade das chuvas associadas. Os picos de vazão ocorrem em aproximadamente 150 minutos para todos os valores de T_r . A manutenção do tempo de ocorrência dos picos, mesmo diante do aumento da intensidade das precipitações, indica comportamento semelhante da resposta hidrológica entre os eventos simulados, aspecto relevante para o dimensionamento de sistemas de drenagem e para a avaliação da eficácia de técnicas de mitigação.

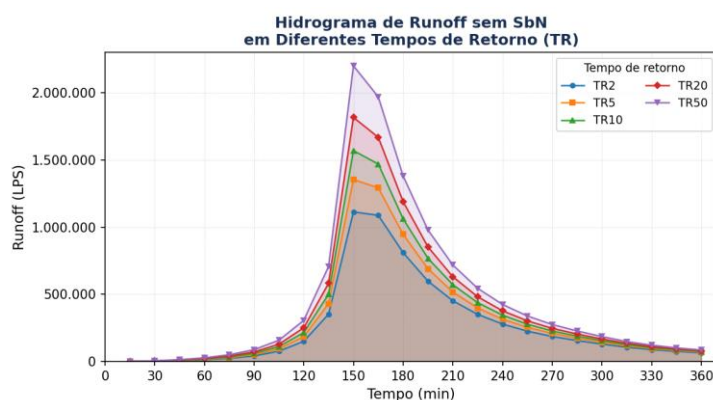


Figura 4 – Resultado run-off sem SBN, em diferentes

Os volumes infiltrados apresentam relação direta com o percentual de área permeável em cada sub-bacia. As sub-bacias S02 e S11 registram maiores valores de infiltração, enquanto a sub-bacia S01 apresenta os maiores picos de vazão, em função de sua maior área de contribuição e da convergência do sistema de drenagem associada à topografia local, por onde escoar o rio Belém.

Nos cenários subsequentes, foram incorporadas as técnicas de drenagem sustentável descritas na metodologia, sendo gerados novos gráficos de infiltração e escoamento superficial, apresentados na Figura 5.

A análise dos resultados indica diferenças no comportamento hidrológico entre as técnicas de Soluções Baseadas na Natureza. Os sistemas de biorretenção (jardins de chuva) apresentam baixas taxas de infiltração nos instantes iniciais, associada ao armazenamento temporário da água na camada superficial, o que promove retardo no processo de infiltração. Esse comportamento está relacionado à função dessas estruturas, que priorizam retenção e tratamento da água antes da infiltração, permitindo a remoção de sólidos suspensos, nutrientes e micropoluentes (Erickson et al., 2013).

Por outro lado, os pavimentos permeáveis apresentam resposta mais rápida, com infiltração ocorrendo de forma mais imediata, em função da maior condutividade hidráulica das camadas

estruturais. Essa diferença resulta em distintas dinâmicas de resposta hidrológica, com implicações diretas na atenuação de picos de vazão e no tempo de resposta do sistema.

A análise dos jardins de chuva indica baixa taxa de infiltração até os 150 minutos, associada à baixa umidade do solo, seguida de aumento progressivo, atingindo o pico. Entre 150 a 225 minutos observa-se estabilização para $Tr = 50$ anos, podendo estar relacionada ao armazenamento na camada de berma. A partir desse ponto, a infiltração diminui, enquanto a água armazenada continua sendo transferida para camadas mais profundas até atingir regime estável, também em resposta a diminuição da precipitação.

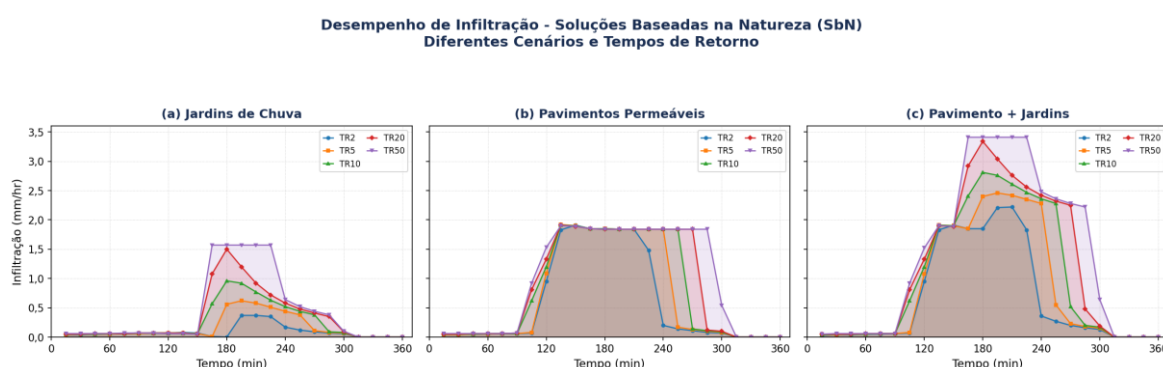


Figura 5 – Resultados de infiltração com SBN, em diferentes Tr

Nos pavimentos permeáveis, a infiltração inicial é reduzida, podendo estar relacionada com a baixa precipitação. Entre 105 e 135 minutos, ocorre aumento da taxa de infiltração em resposta ao aumento da intensidade da chuva e à elevada condutividade hidráulica das camadas estruturais, até atingir o limite imposto pelo solo. O pico de infiltração de 1,92mm/hr ocorre em torno dos 135 minutos, anteriormente aos jardins de chuva, seguido de estabilização em 1,84mm/hr, uma vez que a água continua sendo infiltrada para as camadas subsequentes. Assim, mesmo com a diminuição da precipitação, o processo de infiltração continua ocorrendo. O decaimento começa a partir dos 240 minutos para $Tr = 2$ anos, e mais tardiamente para os demais valores de Tr .

A maior taxa de infiltração foi observada na combinação das técnicas, atingindo 3,41 mm/h para eventos com $Tr = 50$ anos. Em termos de volume infiltrado, a combinação apresentou os maiores valores, seguida pelos pavimentos permeáveis. Para $Tr = 50$ anos, valores de volume infiltrado foram entre 5,5 a 8,9mm para as diferentes sub-bacias.

A redução do escoamento superficial apresentou comportamento consistente entre os diferentes tempos de retorno, com reduções de até 7% para jardins de chuva, 8% para pavimentos permeáveis e 15% para a combinação das técnicas. Os picos de vazão também foram reduzidos em todos os

cenários, com diminuições médias de 2,24%, 2,64% e 4,98%, respectivamente. Observa-se aumento da eficiência até $T_r = 50$ anos, indicando a eficiência das técnicas em eventos de maior magnitude.

Os resultados estão alinhados com a literatura, que aponta maior eficiência das SbN para eventos de baixa e média intensidade, com redução da performance em eventos extremos, ainda que mantendo efeito mitigador (Eckart et al., 2017; Qin et al., 2013). Estudos aplicados em escala de bacia indicam reduções entre 7% e 12% para pavimentos permeáveis e entre 10% e 12% para sistemas de biorretenção, valores compatíveis com os obtidos neste estudo (Luan et al., 2017).

A eficiência das técnicas está diretamente associada à área de aplicação e à sua distribuição espacial. Intervenções pontuais apresentam efeito limitado, enquanto a aplicação distribuída em escala de bacia potencializa os resultados. No presente estudo, as áreas destinadas às SbN variaram entre 3% e 5% das sub-bacias, com limitação de implantação decorrente da elevada impermeabilização. Para a sub-bacia S01, foi possível aplicar apenas 20% da área recomendada para biorretenção.

A combinação de técnicas apresentou maior eficiência na redução do escoamento superficial, indicando complementaridade funcional entre retenção, infiltração e armazenamento temporário. Esse resultado reforça a necessidade de integração entre diferentes soluções e sua associação com a infraestrutura convencional.

Limitações do estudo incluem a adoção de precipitação espacialmente uniforme, simplificação das propriedades do solo e ausência de representação da rede de drenagem existente. Essas simplificações podem influenciar os resultados, especialmente em eventos extremos. Ainda assim, a modelagem permitiu avaliar a resposta hidrológica em escala de bacia e comparar cenários de forma consistente.

Os resultados indicam que existe potencial na aplicação de SbN para a redução do escoamento superficial e atenuação de picos de vazão, com maior eficiência quando distribuídas espacialmente e combinadas entre si. A modelagem hidrológica mostrou-se adequada para avaliar cenários e apoiar a definição de estratégias de drenagem urbana.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) altera a resposta hidrológica da Bacia do Belém, com redução do escoamento superficial e atenuação dos picos de vazão. As reduções médias observadas foram de 7% para jardins de chuva, 8% para pavimentos permeáveis e 15% para a combinação das técnicas. A diminuição dos picos de vazão foi

de 2,24%, 2,64% e 4,98%, respectivamente, indicando maior eficiência quando as técnicas são aplicadas de forma combinada.

Para eventos com tempo de retorno de 50 anos, os volumes infiltrados variaram entre 5,5 e 8,9 mm da precipitação simulada, com taxa máxima de infiltração de 3,41 mm/h para $Tr = 50$ anos. Os resultados indicam aumento da eficiência das SbN até $Tr = 50$ anos

A eficiência das técnicas mostrou relação direta com a área de aplicação e sua distribuição espacial. No presente estudo, a limitação de área disponível (3% a 5% das sub-bacias e 20% da área recomendada na sub-bacia S01) restringiu o potencial de mitigação, indicando que intervenções pontuais apresentam efeito reduzido em comparação a estratégias distribuídas em escala de bacia.

Os resultados demonstram que as SbN contribuem para a redução do escoamento superficial, porém não são suficientes para o controle isolado de eventos extremos, sendo necessária sua integração com sistemas convencionais de drenagem. A combinação entre infraestrutura verde e infraestrutura cinza amplia a capacidade de resposta do sistema urbano frente ao aumento da intensidade das precipitações.

A modelagem hidrológica com o uso do EPA-SWMM permitiu a simulação de cenários e a avaliação comparativa das técnicas, evidenciando seu potencial como ferramenta de apoio ao planejamento urbano e ao dimensionamento de sistemas de drenagem. A abordagem adotada possibilita a análise da resposta hidrológica em escala de bacia, contribuindo para a definição de estratégias de adaptação urbana baseadas em evidências.

Os autores agradecem ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** pelo apoio financeiro à pesquisa, por meio do projeto "**Benefícios da implementação de técnicas compensatórias na mitigação dos problemas causados pelas mudanças climáticas, através da gestão dos aspectos quali-quantitativos da drenagem urbana no Município de Curitiba – Paraná – Brasil**" (Processo nº 406770/2022-0), contemplado na **Chamada CNPq nº 59/2022 – Linha 5 – Projetos de Grupos de Pesquisa Emergentes**, executado pela **Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)**.

REFERÊNCIAS

CASTELLAR, J., POPARTAN, L., PUEYO-ROS, J., ATANASOVA, N., LANGERGRABER, G., SÄUMEL, I., COROMINAS, L., COMAS, J., & ACUÑA, V. (2021). "*Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services*". The Science of the total environment, v.779, p.146237

- CHAUSSEON, A., TURNER, B., SEDDON, D., CHABANEIX, N., GIRARDIN, C., KAPOV, V., KEY, I., ROE, D., SMITH, A., WORONIECKI, S., SEDDON, N. (2020). “*Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation*”. *Global Change Biology*, v.26, 6134 - 6155.
- COHEN-SHACHAM, E., ANDRADE, A., DALTON, J., DUDLEY, N., JONES, M., KUMAR, C., MAGINNIS, S., MAYNARD, S., NELSON, C., RENAUD, F., WELLING, R., WALTERS, G. (2019). “*Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions*”. *Environmental Science & Policy*. v.98, p. 20-29.
- CURITIBA. (2006). Decreto Municipal nº 1.066, de 2006 critérios para a construção ou reconstrução de passeios nos locais que especifica.
- DELLEUR, J. W. (2003). “*The evolution of urban hydrology: past, present, and future*”. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 129, n. 8, p. 563–573.
- DESOUZA, K. C.; FLANERY, T. H. (2013). “*Designing, planning, and managing resilient cities: a conceptual framework*”. *Cities*, v. 35, p. 89–99.
- DORST, H., JAGT, A., RAVEN, R., RUNHAAR, H. (2019). “*Urban greening through nature-based solutions – Key characteristics of an emerging concept*”. *Sustainable Cities and Society*. v. 49, p. 101620.
- DUSHKOVA, D., HAASE, D. (2020). “*Not Simply Green: Nature-Based Solutions as a Concept and Practical Approach for Sustainability Studies and Planning Agendas in Cities*”. *Land*. v. 9, n. 1, p. 19
- ECKART, K.; MCPHEE, Z.; BOLISSETTI, T. (2017). “*Performance and implementation of low impact development – A review*”. *Science of the Total Environment*, v. 607–608, p. 413–432.
- ERICKSON, A. J.; WEISS, P. T.; GULLIVER, J. S. (2013). *Optimizing stormwater treatment practices: a handbook of assessment and maintenance*. Springer. New York.
- FANG, X., LI, J., MA, Q. (2023). “*Integrating green infrastructure, ecosystem services and nature-based solutions for urban sustainability: A comprehensive literature review*”. *Sustainable Cities and Society*. v.98, p.104843
- FENDRICH, Roberto. *Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná*. 2. ed. Curitiba: Gráfica Vicentina, 2003.
- IPPUC (2023). Dados geográficos. Curitiba. Disponível em: <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>.
- LA ROSA, D., PAULEIT, S., XIANG, W. (2021). “*Unearthing time-honored examples of nature-based solutions*”. *Socio-Ecological Practice Research*, 3, 329 - 335.
- LAFORTEZZA, R., CHEN, J., VAN DEN BOSCH, C.; RANDRUP, T. (2018). “*Nature-based solutions for resilient landscapes and cities*”. *Environmental research*, 165, 431-441.
- LUAN, Q.; FU, X.; SONG, C.; WANG, H.; LIU, J.; WANG, Y. (2017) “*Run-off effect evaluation of LID through SWMM in typical mountainous, low-lying urban areas: A case study in China.*” *Water*, v. 9, n. 6, p. 439.

MARSALEK, J. (2005). “Evolution of urban drainage: from cloaca maxima to environmental sustainability. *Acqua e Città I Convegno Nazionale di Idraulica Urbana*, Sant’Agnello (NA). Sant’Agnello (NA), 2005.

MARTÍN, E., GIORDANO, R., PAGANO, A., VAN DER KEUR, P., COSTA, M. (2020). “*Using a system thinking approach to assess the contribution of nature based solutions to sustainable development goals*”. *The Science of the total environment*, 738, 139693.

NESSHÖVER, C., ASSMUTH, T., IRVINE, K., RUSCH, G., WAYLEN, K., DELBAERE, B., HAASE, D., JONES-WALTERS, L., KEUNE, H., KOVACS, E., KRAUZE, K., KÜLVIK, M., REY, F., VAN DIJK, J., VISTAD, O., WILKINSON, M., WITTMER, H. (2017). “*The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective*”. *The Science of the total environment*. 579, 1215-1227.

PARANÁ (2002). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos; SUDERHSA. *Plano diretor de drenagem para a bacia do rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba: manual de drenagem urbana*. Versão 1.0. Curitiba.

PINHEIRO, C. R.; DE SOUZA, D.D. (2017). “*A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima*”. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 6, n. 1, p. 67-82, maio.

POUR, S. H.; WAHAB, A. K. A.; SHAHID, S.; ASADUZZAMAN, M.; DEWAN, A. (2020). “*Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: current trends, issues and challenges*”. *Sustainable Cities and Society*, v. 62, 102373.

QIN, H.; LI, Z.; FU, G. (2013). “*The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics*”. *Journal of Environmental Management*, v. 129, p. 577–585.

REN, Z.; FU, Y.; DONG, Y.; ZHANG, P.; HE, X. (2022). “*Rapid urbanization and climate change significantly contribute to worsening urban human thermal comfort: A national 183-city, 26-year study in China*”. *Urban Climate*, v. 43, p. 101154.

ROSSMAN, L. A. (2015). *Storm water management model: user's manual version 5.1*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.

ROSSMAN, Lewis A. (2016). *Storm water management model: reference manual. Volume I – Hydrology (Revised)*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Laboratory.

SARRA, S. R.; MÜLFARTH, R. C. K. (2021) “*Mudanças climáticas no município de São Paulo (Brasil): Desafios para a política urbana*”. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 10, p. 100428-100447.

SEDDON, N., SMITH, A., SMITH, P., KEY, I., CHAUSSON, A., GIRARDIN, C., HOUSE, J., SRIVASTAVA, S., TURNER, B. (2021). “*Getting the message right on nature-based solutions to climate change*”. *Global Change Biology*, v. 27, p. 1518-1546.

SEDDON, N., CHAUSSON, A., BERRY, P., GIRARDIN, C., SMITH, A., TURNER, B. (2020). “*Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges*”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 375, p. 20190120.

TINGSANCHALI, T. (2012). “*Urban flood disaster management*”. *Procedia Engineering*, v. 32, p. 25-37.

TUCCI, C. E. M. (2003). “*Drenagem urbana*”. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 55, n. 4.

TUCCI, C. E. M. (2012). *Hidrologia: ciência e aplicação - 4. ed.* UFRGS/ABRH, Porto Alegre.