

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA EM ÁREAS URBANAS PARA REDUÇÃO DE VAZÕES DE CONTRIBUIÇÃO**

*Maria Fernanda Silva Piccolo<sup>1</sup>; Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira<sup>2</sup>*

**Abstract:** The conventional urbanization process and the implementation of traditional urban drainage infrastructure lead to socio-environmental problems such as the intensification of urban flooding and inundations, due to soil impermeabilization and the central logic of accelerating stormwater runoff. These failures result in economic, social, and environmental losses, such as infrastructure damage, interruption of commercial activities, and increased incidence of diseases. Therefore, more sustainable measures must be considered in designing urban stormwater management systems. Among the sustainable solutions, Nature-Based Solutions (NbS) stand out, such as bioretention swales, which help control flooding, promote water infiltration into the soil, and contribute to improved environmental quality. The proposed project aims to implement a bioretention swale in the area of the Soil Mechanics Laboratory at PUC-Rio, with the goal of mitigating the impacts of flooding without the need to restructure the downstream drainage system. The adoption of this NbS will enable proper water flow and serve as an experimental model for application in other urban areas. The project seeks to integrate ecological practices into urban planning, promoting sustainable and low-cost solutions to address complex urban challenges.

**Resumo:** O habitual processo de urbanização e a implementação de infraestrutura convencional de drenagem urbana geram problemas socioambientais como a intensificação de alagamentos e inundações urbanas, devido à impermeabilização do solo e à lógica central de aceleração de escoamentos pluviais. Essas falhas geram prejuízos econômicos, sociais e ambientais, como danos à infraestrutura, interrupção de atividades comerciais e aumento na incidência de doenças. Dessa forma, medidas mais sustentáveis devem ser pensadas para projetar o sistema de manejo das águas pluviais urbanas. Entre as soluções sustentáveis, destacam-se as Soluções baseadas na Natureza (SbN), como as biovaletas, que auxiliam no controle de alagamentos, promovem a infiltração da água no solo e contribuem para a melhoria da qualidade ambiental. O projeto proposto tem como objetivo a implementação de uma biovaleta na região do Laboratório de Mecânica dos Solos da PUC-Rio, com a finalidade de mitigar os impactos dos alagamentos sem a necessidade de reestruturar a canalização a jusante da área. A adoção dessa SbN permitirá o escoamento adequado da água e servirá como modelo experimental para aplicação em outras áreas urbanas. O projeto visa integrar prática ecológica ao planejamento urbano, promovendo solução sustentável e de baixo custo para enfrentar desafios urbanos complexos.

**Palavras-Chave** – Biovaleta; Soluções baseadas na Natureza (SbN); Drenagem Urbana

1) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DEC), PUC-Rio. Rua Marquês de São Vicente, 225 – Gávea, Rio de Janeiro, RJ – Brasil (11)

99927-8881 e mferfox@hotmail.com

2) DEC/PUC-Rio, krishnamurti@puc-rio.br

## 1. INTRODUÇÃO

A intensificação da antropização nas últimas décadas tem agravado as inundações urbanas, especialmente em áreas de crescimento desordenado. Esse fenômeno decorre da impermeabilização do solo e da ineficiência dos sistemas de drenagem, fatores que aumentam o escoamento superficial e contribuem para impactos sociais, econômicos e ambientais significativos (Oliveira *et al.*, 2022). Para mitigar esses efeitos, é essencial a implementação de soluções sustentáveis, como infraestrutura verde e o aprimoramento dos sistemas de drenagem, com o objetivo de reduzir os riscos associados às cheias urbanas (Gomes *et al.* 2021).

Nesse contexto, soluções sustentáveis para o manejo das águas pluviais apresentam-se como alternativas viáveis para mitigar os impactos dos tradicionais processos de urbanização. As Soluções baseadas na Natureza (SbN) têm se destacado por aliarem benefícios ambientais, sociais e econômicos, promovendo a adaptação às mudanças climáticas (Herzog & Rosado, 2010). Entre essas soluções, destacam-se as biovaletas, canais vegetados que conduzem e infiltram a água da chuva, filtrando sedimentos e poluentes, ao mesmo tempo que valorizam a paisagem urbana (Bonzi, 2015).

Este trabalho propõe a implantação de uma biovaleta na área do Laboratório de Mecânica dos Solos da PUC-Rio, com o objetivo de mitigar alagamentos recorrentes. A estrutura será instalada em uma valeta existente aos pés do morro, com o objetivo de aumentar a infiltração e reduzir a vazão escoada para a rede de drenagem existente que apresenta falhas frequentes. A proposta também busca servir como modelo experimental para avaliar a viabilidade e replicabilidade de SbN em áreas urbanas com características semelhantes.

## 2. METODOLOGIA

Soluções baseadas na natureza (SbN) são definidas como um conjunto de medidas inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza e que visam simultaneamente atender a objetivos ambientais, sociais e econômicos. Trata-se de um termo guarda-chuva, proposto pela União Europeia, que engloba soluções de engenharia capazes de mimetizar os processos naturais. A ideia central é substituir as intervenções humanas poluidoras ou ecologicamente agressivas por práticas sustentáveis, baseadas em ecossistemas saudáveis, voltadas para o enfrentamento de desafios urgentes (Governo de São Paulo, 2023). A seguir são apresentadas as etapas da metodologia empregada pelo presente trabalho.

### 2.1 Definição do local

#### 2.1.1 Definição com base em problemas de drenagem

A região escolhida para o estudo foi a entrada do campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), selecionada por concentrar pontos críticos de drenagem e registrar alagamentos recorrentes durante chuvas intensas. Destaca-se, neste contexto, o Laboratório de Mecânica dos Solos, situado próximo a uma encosta e em uma depressão do terreno, área para a qual o escoamento superficial converge. A presença da encosta, o estacionamento de motocicletas e a existência de um sistema de drenagem com limitações hidráulicas reforçam a relevância da área para a intervenções voltadas ao controle de vazão, sem a necessidade de substituição da infraestrutura existente.

### 2.2 Definição da solução baseadas na natureza

A Solução Baseada na Natureza (SbN) adotada para mitigar os alagamentos no entorno do Laboratório de Mecânica dos Solos foi a biovaleta. Sua seleção considerou critérios técnicos e ambientais, com base nas características locais.

A biovaleta foi escolhida em substituição à sarjeta existente, conforme os parâmetros estabelecidos no *Catálogo de SbN para Espaços Livres* (Sandre et al., 2024), destacando-se a declividade inferior a 5% e a presença de solo saprolítico, não infiltrante e com alto aporte de sólidos. A existência de infraestrutura prévia reforçou a viabilidade da implantação da solução.

As seções seguintes detalham os aspectos técnicos e operacionais da intervenção, bem como seus benefícios para a área de estudo.

### 2.2.1 Características Gerais da SbN para o Manejo das Águas Pluviais

A área destinada à implantação da biovaleta está localizada ao pé do talude, na parte posterior do laboratório de Mecânica dos Solos da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), na cidade do Rio de Janeiro. Na Figura 1, observa-se a valeta já existente no local, a qual será adaptada para a implementação do projeto de biovaleta.

Figura 1 – Valeta existente no local do projeto.



Fonte: Própria Autora

As biovaletas são depressões lineares vegetadas que promovem a infiltração e o tratamento da água pluvial, retardando o escoamento superficial e contribuindo para o controle de enchentes, além da melhoria da qualidade ambiental (Sandre et al., 2024). A vegetação desempenha um papel fundamental nesses sistemas, favorecendo a evapotranspiração, a umidificação do ar e o aumento da rugosidade superficial, fatores que reduzem a velocidade do fluxo em áreas impermeabilizadas e declivosas (Teixeira & Silva, 2019; Bonzi, 2015).

Geralmente instaladas junto a calçadas, ruas ou estacionamentos, essas estruturas conduzem a água pluvial até sistemas de retenção e detenção, integrando-se à infraestrutura verde urbana (Silva et al., 2020). A escolha das espécies vegetais é um aspecto crucial para a eficiência do sistema, sendo recomendadas plantas com alta tolerância hídrica, crescimento rápido, raízes profundas e elevada capacidade de transpiração (Dias et al., 2012).

Além de filtrarem sedimentos e poluentes, as biovaletas contribuem para a preservação da capacidade hidráulica das redes de drenagem, ao reduzirem a carga de resíduos transportados pelas águas pluviais (Bonzi, 2015). Esse processo contribui diretamente a proteção dos recursos hídricos locais, promovendo a infiltração de água previamente purificada (Teixeira & Silva, 2019).

### 2.3 Método de Dimensionamento

Conforme ilustrado na Figura 2, a metodologia tem início com a definição da vazão máxima admissível do sistema de drenagem a jusante ( $Q$ ), correspondente a 85% do preenchimento da tubulação, de forma a garantir o escoamento em superfície livre, conforme estabelecido por Rio de Janeiro (2019). Essa vazão representa o valor-alvo para o qual o sistema deve ser dimensionado, de modo a amortecer as vazões de contribuição ( $Q_c$ ) e evitar a sobrecarga a jusante. Com base na comparação entre a vazão de entrada ( $Q_c$ ) e a vazão-alvo de saída ( $Q$ ), são definidas as dimensões que a biovaleta deve apresentar para assegurar o adequado funcionamento do sistema.

Figura 2 – Esquema do procedimento metodológico.



Fonte: Própria Autora

#### 2.3.1 Metodologia da Avaliação do Sistema de Drenagem Existente

O primeiro passo do dimensionamento consiste na análise do sistema de drenagem existente a jusante. A verificação de sua capacidade de vazão servirá de base para definir a vazão de saída admissível da biovaleta, de forma a evitar sobrecarga ou falhas no sistema existente. Para o cálculo da vazão ( $Q$ ) que a galeria do sistema de drenagem existente é capaz de suportar, utiliza-se a Equação de Manning (Equação 1), considerando escoamento permanente e uniforme, ou seja, desconsiderando os efeitos de remanso causados por possíveis restrições a jusante. Essa hipótese foi validade *in loco*, visto que existe uma diferença vertical significativa entre o exutório do sistema de drenagem e o curso d'água receptor. Caso a metodologia seja aplicada em outro local, recomenda-se verificar a viabilidade dessa suposição.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R_h^{\frac{2}{3}} * I^{0,5} \quad (1)$$

Na qual:  $Q$  = vazão, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $A$  = área molhada, em  $\text{m}^2$ ;  $R_h$  = raio hidráulico, em m;  $I$  = declividade, em  $\text{m/m}$ ;  $n$  = coeficiente de rugosidade de Manning;

O coeficiente de rugosidade foi estimado a partir das “Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana” (Rio de Janeiro, 2019), sendo considerado o valor de 0,015, valor máximo recomendado para galerias de concreto.

#### 2.3.2 Metodologia para Definição da Vazão de Contribuição da Bacia Hidrográfica

A vazão de contribuição ( $Q_c$ ) à biovaleta é obtida por meio da Equação 2, correspondente ao método racional. Para bacias com áreas de contribuições maiores, a aplicação desse método deve ser

revista, considerando suas limitações. O coeficiente de Runoff utilizado foi retirado das Instruções técnicas de Rio de Janeiro (2019), sendo adotado o valor de 0,7.

$$Q_c = \frac{A}{1000} * \frac{i}{3600} * C \quad (2)$$

Na qual:  $Q_c$  = vazão de concentração, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $A$  = área da bacia, em  $\text{m}^2$ ;  $i$  = intensidade da chuva, em  $\text{mm/h}$ ;  $C$  = coeficiente de Runoff.

Conforme as Instruções técnicas de Rio de Janeiro (2019), a intensidade da chuva é calculada por meio da Equação 3:

$$i = \frac{a * T_r^b}{(t_c + c)^d} \quad (3)$$

Na qual:  $i$  = intensidade da chuva, em  $\text{mm/h}$ ;  $T_r$  = tempo de recorrência em anos;  $t_c$  = tempo de concentração, em minutos (considerando a duração da chuva igual à chuva crítica da bacia em avaliação);  $a, b, c$  e  $d$  = coeficientes dados para região do Jardim Botânico.

Os coeficientes adotados, conforme tabela do pluviômetro do Jardim Botânico fornecida pelas Instruções Técnicas de Rio de Janeiro (2019), foram  $a = 1,239$ ,  $b = 0,15$ ,  $c = 20$  e  $d = 0,74$ .

Para calcular o tempo de concentração, o presente trabalho utilizou a Equação 4, proposta por George Ribeiro (Junior e Botelho, 2011).

$$t_c = \frac{(16 * L)}{(1,05 - 0,2p) * (100 * I)^{0,04}} \quad (4)$$

Na qual:  $t_c$  = tempo de concentração, em minutos;  $L$  = comprimento do talvegue, em km;  $I$  = declividade média do talvegue principal, em  $\text{m/m}$ ;  $p$  = relação entre área coberta vegetal e área total do talvegue da bacia (%).

Caso o tempo de concentração calculado seja inferior ao valor mínimo sugerido pelas Instruções Técnicas de Rio de Janeiro (2019), deve-se adotar o valor do tempo de concentração ( $t_c$ ) mínimo fornecido pelo referencial para os cálculos subsequentes.

### 2.3.3 Metodologia de Dimensionamento das SbN

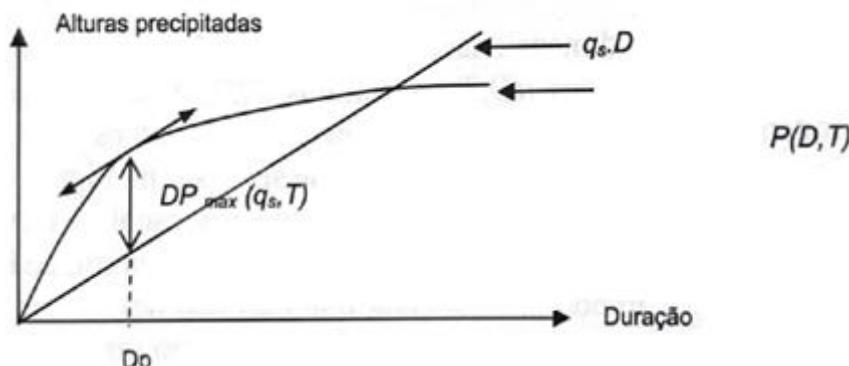
Para a estimativa do volume máximo de armazenamento, foi utilizado o método das chuvas, uma abordagem simplificada que permite calcular o volume necessário de retenção, bem como estimar os tempos de descarga e operação. Essa metodologia possibilita o dimensionamento tanto de estruturas individuais quanto da associação entre elas, conforme descrito no livro *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana* (Baptista et al., 2015), que reúne diversas soluções voltadas à mitigação dos problemas de drenagem em áreas urbanas.

O método das chuvas, fundado na independência cronológica e estatística dos eventos pluviométricos, utiliza uma abordagem semelhante à empregada na construção das curvas IDF (Intensidade- Duração- Frequência). Para o dimensionamento de estruturas de retenção, é necessário converter as intensidades  $i(D,T)$  em alturas  $P(D,T)$ , por meio do produto da intensidade pela duração. Dessa forma, constroem-se os gráficos PDF (Precipitação -Duração-Frequência), conforme ilustrado na Figura 3. O volume de armazenamento ( $V$ ) é então calculado pela Equação 5:

$$V = \frac{A}{1000} * C * P(D, T) \quad (5)$$

Na qual:  $V$  = volume, em  $\text{m}^3$ ;  $A$  = área da bacia até a biovaleta, em  $\text{m}^2$ ;  $P(D, T)$  = altura a armazenar, em mm;  $C$  = coeficiente de Runoff.

Figura 3 – Suposição da curva PD para o Período de Retorno escolhido ( $T$ ) e a curva de evacuação.



Fonte: Batista et al, 2015

A altura da biovaleta ( $h$ ) é dada pela Equação 6.

$$h = \frac{A_b}{V} \quad (6)$$

Na qual:  $V$  = volume, em  $\text{m}^3$ ;  $A_b$  = área da biovaleta, em  $\text{m}^2$ ;  $h$  = altura da biovaleta, em m.

O valor de  $P(D, T)$  é calculado por meio da Equação 7:

$$P(D, T) = i * t \quad (7)$$

Na qual:  $P(D, T)$  = altura a armazenar, em mm;  $i$  = intensidade da chuva, em  $\text{mm/h}$ , determinada pela Equação 5;  $t$  = tempo de duração, em minutos.

### 3. RESULTADO

#### 3.1 Avaliação do sistema de drenagem existente

A Tabela 1 apresenta os valores utilizados para o cálculo da vazão de capacidade do sistema de drenagem a jusante, que corresponde a  $0,053 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esta vazão foi determinada considerando um coeficiente de 85% de preenchimento do conduto livre em concreto, conforme estabelecido nas *Instruções Técnicas de Rio de Janeiro* (2019).

Tabela 1 – Cálculo da vazão de capacidade do sistema de drenagem existente a jusante

<b>Fórmula de Manning</b>		
Coeficiente de Manning (n)	0,015	-
Perímetro molhado ( $P_h$ )	0,942	m
Área Hidráulica ( $A_h$ )	0,035	$\text{m}^2$
Raio Hidráulico ( $R_h = A_h/P_h$ )	0,0375	m
Diâmetro	0,30	m
Cota inicial da galeria de jusante	12,218	m
Cota final da galeria de jusante	11,359	m
Declividade da Galeria de Jusante	0,041	$\text{m/m}$
<b>Vazão de Capacidade Máxima da Seção a Jusante (Q)</b>	<b>0,053</b>	<b><math>\text{m}^3/\text{s}</math></b>

### 3.2 Definição da vazão de contribuição da bacia hidrográfica

Os dados utilizados para o cálculo da vazão de contribuição ( $Q_c$ ) e seu valor obtido estão apresentados na Tabela 2. O tempo de concentração adotado foi definido com base no valor mínimo estabelecido pelas Instruções técnicas de Rio de Janeiro (2019), correspondente a 12 minutos para áreas residenciais com declividade menor que 3%. Também foi adotado um tempo de recorrência de 5 anos, conforme recomendado pelo mesmo manual para aproveitamento de sistemas de microdrenagem existentes.

Tabela 2 – Vazão de concentração

<b>Vazão de contribuição da sub-bacia hidrográfica (<math>Q_c</math>)</b>		
Área de contribuição (A)	3980	$m^2$
Intensidade da chuva de projeto (i)	121,37	mm/h
Coef. runoff (C)	0,7	-
Tempo de duração da chuva de projeto (t)	12	min
Tempo de recorrência (Tr)	5	anos
<b>Vazão de Contribuição (<math>Q_c</math>)</b>	<b>0,094</b>	<b><math>m^3/s</math></b>

Fonte: Própria Autora

Como o valor  $Q_c$  ( $0,094 m^3/s$ ) é superior ao valor de  $Q$  ( $0,053 m^3/s$ ), torna-se necessária a implantação da biovaeleta, com o objetivo de reduzir a vazão de água que chega ao sistema de drenagem existente.

### 3.3 Dimensionamento da Biovaeleta

Para o método das chuvas, foi adotado um tempo de recorrência de 5 anos. A vazão total de saída ( $Q_t$ ) foi calculada como a soma da vazão superficial ( $0,053 m^3/s$ ), que corresponde ao limite de capacidade do sistema de drenagem a jusante, e da vazão de infiltração, considerada nula devido ao tipo de solo predominante ao local (saprolito). Assim, a vazão total corresponde a  $0,82 \text{ mm/min}$ . A multiplicação de  $Q_t$  pelo tempo de duração da chuva fornece o valor de  $q_s$  total D (mm). A consideração da infiltração como nula representa uma medida conservadora, adotada para garantir a segurança no dimensionamento da estrutura.

No processo de dimensionamento da biovaeleta, a vazão superficial foi utilizada como parâmetro de saída, representando o volume que se deseja limitar para não sobrecarregar a rede de drenagem existente a jusante. Por outro lado, a vazão de contribuição representa o volume de água que efetivamente chega à biovaeleta durante o evento de chuva. A avaliação entre essas duas vazões (entrada e saída) indica o volume que a biovaeleta deve reter ou infiltrar, ou seja, a capacidade de amortecimento necessária da estrutura para evitar o alagamento da área.

Como a largura da valeta apresenta variação ao longo de sua extensão, ela foi dividida em 11 segmentos, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados da valeta

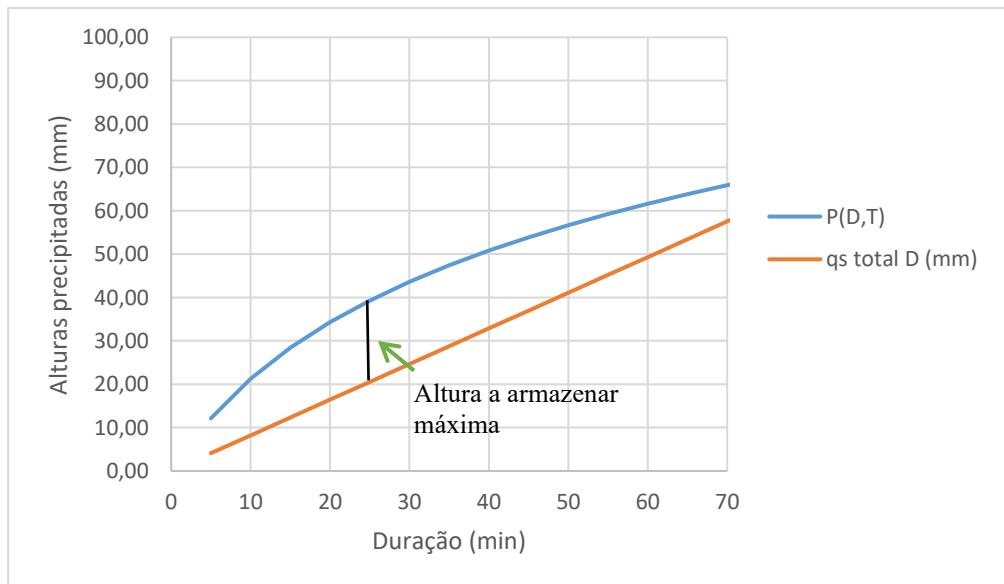
Região	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )
A1	0,43	2,1	0,90
A2	1,8	1,8	3,24
A3	2,4	2,5	6,00
A4	2,75	3,6	9,90
A5	0,7	0,7	0,49
A6	0,65	1,1	0,72
A7	1,1	1,4	1,54
A8	1,45	0,5	0,73
A9	1,16	2,7	3,13
A10	0,65	2,24	1,46
A11	1,95	2,24	4,37
<b>Total</b>	<b>(Variável)</b>	<b>20,88</b>	<b>32,47</b>

Fonte: Própria Autora

A determinação da altura máxima de precipitação a ser armazenada foi obtida por meio da resolução da Equação 8, a partir da qual foi gerado o Gráfico 1. Nesse caso, obteve-se o valor de 18,97 mm de altura máxima de chuva.

Com base nessa altura máxima precipitação, foi calculado o volume máximo de armazenamento por meio da Equação 6, resultando em um volume obtido foi de 48,76 m<sup>3</sup>. A partir do volume obtido, determinou-se, pela Equação 7, a altura necessária da biovaleta para reter a água da chuva sem sobrecarregar o sistema de drenagem existente. Nesse caso, obteve-se uma altura média de 0,70 m, valor considerado viável para implementação no local de intervenção.

Gráfico 1 – Curva Precipitação, Duração e Frequência (PDF) plotada com a taxa de esvaziamento do reservatório para dimensionamento da altura máxima a armazenar.



Fonte: Autoria própria.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise realizada, foi possível concluir que a implantação de biovaletas na PUC-Rio configura-se como uma medida estratégica para a redução da vazão das águas pluviais que chegam ao sistema de drenagem existente, mitigando a ocorrência de eventuais alagamentos no Laboratório de Mecânica dos Solos e em outras regiões do campus. Ao amortecer o escoamento superficial da chuva, as biovaletas contribuem significativamente para a diminuição do volume de água direcionado à rede de drenagem, prevenindo sua sobrecarga e melhoramento a eficiência do sistema.

Adicionalmente, ainda que não tenha sido analisado nestes estudos, espera-se que as biovaletas também favoreçam a melhoria da qualidade da água escoada, por meio de processo de fitorremediação e retenção de poluentes, o que amplia os benefícios ambientais dessa solução.

Com base nos dados obtidos, a biovaleta projetada foi capaz de reter um volume de 48,76 m<sup>3</sup>, o que representa uma diferença de aproximadamente 0,041 m<sup>3</sup>/s entre a vazão de contribuição da área (0,094 m<sup>3</sup>/s) e a capacidade do sistema de drenagem existente (0,053 m<sup>3</sup>/s). Esse amortecimento corresponde a uma redução de cerca de 44% na vazão excedente, o que demonstra de forma objetiva e mensurável o impacto positivo da estrutura sobre a mitigação de alagamentos. Essa redução justifica o investimento, especialmente em áreas urbanas com infraestrutura deficiente ou saturada, como é o caso analisado. Além dos benefícios hidráulicos, a biovaleta também promove melhorias estéticas e ambientais, tornando o campus mais sustentável, agradável visualmente e alinhado com práticas de urbanismo ecológico.

Como desdobramento, sugere-se a realização de análises adicionais com tempos de recorrência superiores a 5 anos, a fim de quantificar o número de eventos de alagamento que poderiam ocorrer no Laboratório de Mecânica dos Solos sem a implantação da Solução Baseada na Natureza (SbN). Também se recomenda a comparação entre os cenários com e sem a biovaleta, ao longo de diferentes tempos de recorrência, visando avaliar com maior precisão a eficácia da intervenção ao longo do tempo.

#### REFERÊNCIA

- BATISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. 2 ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2<sup>a</sup> reimpressão da 2<sup>a</sup> edição. 318p.
- BONZI, R. S. *Andar sobre Água Preta: a aplicação da Infraestrutura Verde em áreas densamente urbanizadas*. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- DIAS P. F. et al. *Avaliação de vinte oito cultivares de alfafa em paty do alferes, Rio de Janeiro*. Revista Agronomia, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p. 29-36, 2002.
- GOMES, M. V. R. et al. The use of blue-green infrastructure as a multifunctional approach to watersheds with socio-environmental vulnerability. *Blue-Green Systems*, v. 3, n. 1, p. 281-297, 2021.
- GOVERNO DE SÃO PAULO. Prateleira ambiental. *Soluções baseadas na natureza (SbN)*. São Paulo, 2023.
- HERZOG, C. P.; ROSADO, L. Z. *Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana*. Revista Labverde, [s. l.], p. 92–115, 2010.
- JUNIOR, J. E. F. F.; BOTELHO, R. G. M. *Análise comparativa do tempo de concentração: um estudo de caso na bacia do rio cônego, município de Nova Friburgo/RJ*. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. Anais... Maceió: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2011.

OLIVEIRA, A. K. B. et al. Evaluating the role of urban drainage flaws in triggering cascading effects on critical infrastructure, affecting urban resilience. *Infrastructures*, v. 7, n. 11, p. 153, 2022.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Secretaria Municipal de Obras. Subsecretaria de Gestão de Bacias. *Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana*. Rio de Janeiro, v. 2, 2019.

SANDRE et al. *Catálogo de soluções baseadas na natureza (SbN) para espaços livres*. 2.ed. 2024. Disponível em: [https://ambienteclima.prefeitura.rio/wp-content/uploads/sites/81/2023/07/1\\_Catalogo-de-Solucoes-baseadas-na-Natureza-para-Espacos-Livres\\_compressed.pdf](https://ambienteclima.prefeitura.rio/wp-content/uploads/sites/81/2023/07/1_Catalogo-de-Solucoes-baseadas-na-Natureza-para-Espacos-Livres_compressed.pdf). Acesso em: 25 nov. 2024.

SILVA, L. H.; FILHO, F. C. M. M.; RODRIGUES, A. L. M.; MORAIS, E. B. *Sistemas de biorretenção para o manejo das águas pluviais: panorama internacional e critérios para projeto*. Research, Society and Development, v. 9, n. 11, nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10335>.

TEIXEIRA, B. K.; SILVA, A. D. S. *Tipos de vegetação para medidas compensatórias de controle pluvial na fonte em zonas subtropicais*. Revista Labverde, São Paulo, v. 9, n. 2, maio. 2019.

United States Army Corps of Engineers (USACE). *Risk-based analysis for flood damage reduction studies*, Washington DC, Engineering Manual 1110-2-1619. 1996.