

DIMENSIONAMENTO E DESIGN DE CÉLULA DE BIORRETENÇÃO EXPERIMENTAL PARA APLICAÇÃO CONJUNTA EM ESCALA DE LOTE

Alexandre Brandalise Precoma¹ ; Altair Rosa² ; Demian da Silveira Barcellos³ ; Juliana de Toledo Machado⁴

RESUMO – O crescimento urbano e a predominância de sistemas de drenagem baseados em infraestrutura cinza têm contribuído para o aumento de problemas como alagamentos e degradação da qualidade das águas pluviais. Em resposta a esse cenário, soluções baseadas na natureza, como os sistemas de biorretenção, têm sido amplamente estudadas por sua capacidade de promover a gestão descentralizada do escoamento superficial. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema experimental de biorretenção composto por três jardins de chuva em escala de lote, com o objetivo de reduzir vazões de pico e melhorar a qualidade da água. O estudo foi conduzido em uma área cedida pela SANEPAR, no Memorial do Rio Iguaçu, caracterizada por um corpo hídrico impactado por poluição difusa. O dimensionamento do sistema foi realizado com base no Bioretention Manual, utilizando os métodos Water Quality Volume (WQV) e SCS-CN, sendo adotado o maior volume obtido. O sistema foi projetado com múltiplas camadas filtrantes e instrumentado para monitoramento hidráulico e qualitativo. Espera-se que os resultados contribuam para o avanço do conhecimento sobre a aplicação de sistemas de biorretenção em contextos tropicais e para a integração entre tratamento de águas pluviais e fluviais.

Palavras-Chave – Biorretenção; Drenagem urbana; Soluções baseadas na natureza

ABSTRACT– Urban growth and the widespread use of conventional gray infrastructure in drainage systems have intensified issues such as flooding and water quality degradation. In this context, nature-based solutions, particularly bioretention systems, have gained attention due to their ability to manage stormwater close to its source. This study proposes an experimental bioretention system composed of three rain gardens at lot scale, aiming to reduce peak flows and improve water quality. The study was conducted in an area provided by SANEPAR, located at the Memorial do Rio Iguaçu, characterized by a water body impacted by diffuse pollution. System design was based on the Bioretention Manual, applying both the Water Quality Volume (WQV) and SCS-CN methods, adopting the most conservative result. The system includes multiple filtering layers and monitoring instrumentation to assess hydraulic and water quality performance. The expected outcomes aim to contribute to the understanding of bioretention systems under tropical conditions and to explore the integration of stormwater and river water treatment within a single system.

Key-words – Bioretention; Urban drainage; Nature-based solutions

¹) Afiliação: Pontifícia Universidade Católica do Paraná

²) Afiliação: Pontifícia Universidade Católica do Paraná

³) Afiliação: Pontifícia Universidade Católica do Paraná

⁴) Afiliação: Pontifícia Universidade Católica do Paraná

INTRODUÇÃO

No último século, a drenagem urbana foi conduzida predominantemente por meio da denominada "infraestrutura cinza", composta por grelhas, galerias e canais de concreto. Em muitas cidades antigas, esses sistemas, concebidos para coletar e promover a rápida "expulsão" das águas pluviais, não suportam eventos de chuva com maiores tempos de recorrência e elevadas vazões de pico, resultando em inundações e alagamentos urbanos (Abduljaleel e Demissie, 2021; Christofidis, Assumpção e Kligerman, 2019; Zhou et al., 2019). Além disso, por não incorporarem sistemas de tratamento, centralizados ou descentralizados, contribuem para a degradação da qualidade da água escoada, permitindo que poluentes de fontes difusas alcancem os corpos hídricos receptores das galerias de drenagem, transportando cargas de poluentes orgânicos e inorgânicos (Adyel et al., 2017).

Com o intuito de enfrentar esse desafio global, pesquisadores de diversos países têm desenvolvido estudos sobre soluções sustentáveis. Essas tecnologias recebem diferentes denominações ao redor do mundo, sendo conhecidas como Soluções Baseadas na Natureza (SBN) no contexto europeu, Best Management Practices (BMP) nos Estados Unidos, Active Beautiful Clean Waters Design (ABCWD) em Singapura, Cidades Esponja na China, Técnicas Compensatórias (TC) no Brasil e Low Impact Development (LID) no Reino Unido, entre outras nomenclaturas adotadas internacionalmente (Bae, 2020; Fletcher et al., 2015; Rosa et al., 2019).

Essas práticas e abordagens têm como objetivo promover a gestão das águas pluviais o mais próximo possível de sua fonte, priorizando a prevenção em vez do tratamento e da mitigação. Diferentemente das abordagens centralizadas do tipo *end-of-pipe*, buscam promover uma gestão holística das águas e criar um contexto hidrológico multifuncional por meio de tecnologias que simulam processos naturais ou reproduzem funções naturais do ciclo hidrológico. Dessa forma, favorecem a redução das vazões de pico ao diminuir a velocidade e o volume do escoamento superficial, contribuindo, consequentemente, para a redução dos volumes de cheia (Dietz, 2018).

Diversas técnicas compõem essas abordagens, entre as quais se destacam os sistemas de biorretenção, trincheiras de infiltração, jardins de chuva, *wetlands* construídos, lagoas, pavimentos permeáveis, valas vegetadas, telhados verdes, biofiltros, filtros de areia e cisternas pluviais (Ahiablame et al., 2012). Entre elas, as SBNs têm sido amplamente estudadas em pesquisas voltadas à melhoria da qualidade ambiental e da água, abrangendo águas pluviais, fluviais e aquelas provenientes de esgotamento sanitário e industrial.

Dentre as soluções baseadas na natureza, os jardins de chuva, também denominados sistemas ou células de biorretenção, têm se destacado como soluções dinâmicas capazes de atender às problemáticas anteriormente apresentadas. Esses sistemas são compostos por camadas filtrantes de solo e utilizam plantas para promover o processo de fitorremediação, sendo capazes de melhorar a qualidade da água recebida e atuar como bacias de retenção. Além disso, reduzem a velocidade do escoamento em direção ao sistema de drenagem, contribuindo para a diminuição das vazões de pico nos corpos hídricos receptores (de Macedo et al., 2021; Dietz, 2018).

O funcionamento dessas tecnologias aplicadas à drenagem urbana depende diretamente das condições climáticas, uma vez que foram concebidas para atuar em resposta aos eventos de precipitação. A expectativa de ocorrência mais frequente de eventos hidrológicos extremos, secas severas e redução da frequência das chuvas, acompanhada pelo aumento de sua intensidade, pode tornar esses sistemas ociosos durante os períodos de estiagem. Essa condição pode influenciar, principalmente, a saúde das plantas que compõem o sistema em razão da sazonalidade. Estudos demonstram que a variação climática sazonal exerce influência direta sobre a eficiência desses sistemas na melhoria da qualidade da água (Rai, 2015).

Diante do exposto, este trabalho propõe um sistema experimental de biorretenção composto por três jardins de chuva, em escala de lote, com o objetivo de reduzir as vazões de pico geradas pelo escoamento superficial e, conseqüentemente, melhorar a qualidade das águas pluviais drenadas. O sistema apresenta uma inovação ainda não descrita na literatura ao combinar, em uma mesma estrutura, o tratamento de águas pluviais e de águas fluviais.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os jardins de chuva, também denominados sistemas de biorretenção, constituem infraestruturas verdes multifuncionais amplamente empregadas na gestão sustentável das águas pluviais em ambientes urbanos. Em geral, esses sistemas consistem em depressões rasas vegetadas, compostas por camadas filtrantes capazes de coletar, armazenar temporariamente, infiltrar e tratar o escoamento superficial, contribuindo para a redução das vazões de pico, a mitigação de alagamentos e a melhoria da qualidade da água destinada às galerias de drenagem.

Os sistemas de biorretenção utilizam propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, associadas a substratos artificiais e à vegetação, para restaurar parcialmente o equilíbrio hidrológico natural e promover serviços ecossistêmicos adicionais, como o resfriamento urbano e a valorização paisagística. Sua configuração pode variar entre jardins de chuva, células de biorretenção e valas

vegetadas, adaptando-se às condições locais e aos objetivos do projeto. Estruturalmente, são compostos por diferentes camadas que atuam de forma integrada.

A zona alagável armazena temporariamente o volume excedente; a cobertura morta protege a superfície e auxilia na retenção de partículas; o meio filtrante promove a filtração física, a adsorção química e o suporte biológico; a camada de transição, ou manta geotêxtil, evita a migração de partículas finas para a camada drenante; e a camada drenante, geralmente associada a um tubo dreno, permite o armazenamento e o escoamento controlado da água. Alguns sistemas incluem ainda uma zona saturada permanente, associada ao aumento da desnitrificação e da remoção de nutrientes. A vegetação, por sua vez, constitui elemento indispensável, pois atua na retenção, absorção e degradação de poluentes, além de influenciar o balanço hídrico por meio da evapotranspiração (Chaves, Farias e Eloi, 2024).

O tratamento da água em sistemas de biorretenção ocorre por mecanismos físicos, químicos e biológicos. Entre os principais processos destacam-se a retenção de sólidos suspensos, a adsorção e precipitação de fósforo, a assimilação e transformação microbiana do nitrogênio, além da remoção de metais pesados por adsorção, coprecipitação e complexação orgânica. Sharma e Malaviya (2021) destacam que esses sistemas podem remover sedimentos, metais pesados, nutrientes, hidrocarbonetos e patógenos com elevada eficiência, dependendo das condições operacionais e construtivas.

As propriedades físicas e físico-químicas do meio filtrante influenciam diretamente o desempenho hidráulico e a qualidade do efluente tratado. Parâmetros como granulometria, porosidade, condutividade hidráulica e composição mineralógica afetam a retenção de água, a redução da vazão de pico, o tempo de detenção hidráulica e os mecanismos de adsorção e degradação de poluentes (Gong et al., 2022). Nesse contexto, diferentes manuais internacionais apresentam recomendações distintas quanto à profundidade das camadas, à composição do solo filtrante, à taxa de infiltração e ao uso de manta geotêxtil e tubos drenantes (Funai e Kupec, 2017).

A vegetação desempenha papel central na eficiência desses sistemas. Além de contribuir para a remoção de poluentes e para a evapotranspiração, o tipo de sistema radicular pode influenciar a manutenção da permeabilidade do meio filtrante. Apesar disso, ainda são escassos os estudos sobre espécies adaptadas aos climas tropical e subtropical, especialmente no Brasil (Chaves, Farias e Eloi, 2024).

A eficiência dos sistemas de biorretenção também é influenciada por fatores climáticos e sazonais. Períodos prolongados de estiagem podem aumentar a capacidade de retenção do sistema e favorecer a remoção de poluentes em razão da maior disponibilidade de volume nos poros do meio filtrante. Em contrapartida, períodos chuvosos frequentes tendem a reduzir sua eficiência hidráulica

devido à maior saturação do sistema (Mangangka et al., 2015). Mais do que uma solução isolada, a biorretenção configura-se como um elemento-chave em arranjos híbridos capazes de aumentar a resiliência das cidades frente a eventos extremos de chuva, reduzir o aporte de poluentes aos corpos d'água e contribuir para a multifuncionalidade dos espaços públicos.

Por fim, a adoção de sistemas de biorretenção como Soluções Baseadas na Natureza para a drenagem urbana no Brasil exige um duplo movimento: técnico e institucional. No âmbito técnico, é necessário aprofundar estudos experimentais e de monitoramento em escala piloto e real, sobretudo em cidades brasileiras, a fim de refinar parâmetros de projeto, especificar materiais e vegetação e compreender o desempenho desses sistemas sob diferentes regimes pluviométricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O local escolhido para a instalação e execução do sistema, é conhecido como Memorial do Rio Iguaçu e foi cedido pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), parceira do projeto. A área, por ser um museu dedicado aos recursos hídricos, apresenta grande potencial para o desenvolvimento do projeto, uma vez que integra ao projeto teor educativo sobre o meio ambiente. A área do museu se encontra dentro do parque da imigração japonesa, restaurado a partir de uma área de cavas degradadas pela extração de areia em uma área que já foi meandro do rio Iguaçu.

Dentro do parque da imigração japonesa existem três lagoas, duas adjacentes a avenida que passa ao lado do local e uma lagoa maior repleta de macrófitas que recebe o corpo hídrico proveniente de uma área completamente antropizada e ocupada, em partes, por ocupações irregulares devido a invasões de APPs que ocorreram ao longo dos anos. O corpo da água resultante dessa bacia de drenagem possui características de esgoto e vem sendo altamente contaminado até a lagoa. Segundo coletas feitas pela SANEPAR, a lagoa se caracteriza por uma baixa concentração de oxigênio dissolvido (0,58 – 5,7 mg/L O₂), alta concentração de fosforo (0,02 – 0,97 mg/L) e nitrogênio amoniacal (0,03 – 10,98 mg/L), além de uma faixa de DQO que varia entre 25 – 83 Mg/L O₂.

A região não possui monitoramento contínuo de chuvas, o que fez com que para se obter as séries históricas de chuva, estações próximas fossem utilizadas extrapolando os dados para que se obtivessem dados para as chuvas de projeto.

A figura 1 mostra a divisão de sub-bacias dentro da área de estudo realizada através de modelo digital de superfície (MDS) feito através de um levantamento usando a tecnologia LiDAR e o software livre QGIS 3.42.2 onde utilizando o pacote de ferramentas terrain analysis - Hydrology do modulo SAGA Next Gen se delimitou o fluxo de água e bacias de contribuição no local.

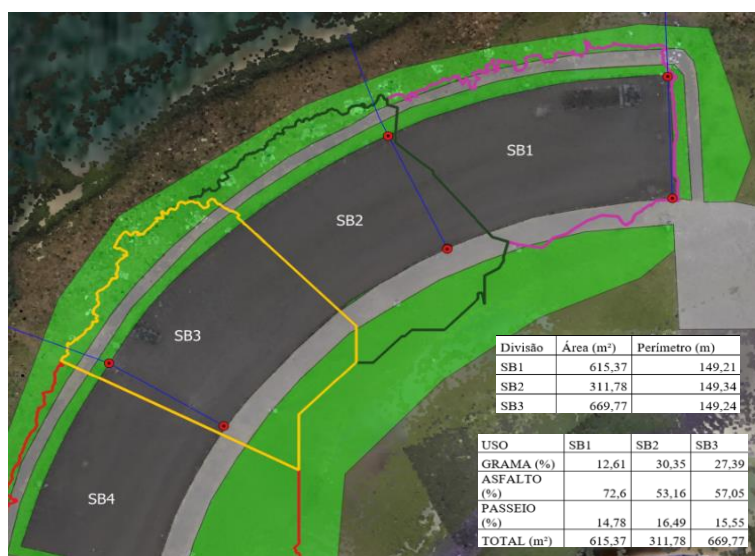


Figura 1 – Divisão de sub-bacias e uso e ocupação da área de estudo

A partir da área obtida, foi realizado o dimensionamento do sistema seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Bioretention Manual (Prince George County, 2009), documento referência na América do Norte. O manual apresenta duas possibilidades de dimensionamento, a primeira calcula a área e volume necessário a partir do Water Quality Volume (WQV), definido por:

$$WQV = P Rv A \quad (1)$$

$$Rv = 0,9I - 0,05 \quad (2)$$

Onde P é igual ao P90 da curva IDF, A é a área de contribuição e I a porcentagem de solo impermeável na área de escoamento. A partir desta equação se encontra o volume a ser controlado para tratar a carga poluidora proveniente do escoamento superficial. O segundo modo de dimensionamento (Método SCS-CN) leva em conta o desenvolvimento da área como pré-desenvolvimento e pós desenvolvimento, apresentando o volume necessário para reter aquele que excede o escoamento atual através das equações:

$$Pe = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad (3)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

$$DPe = Pe_{\text{pós urbanização}} - Pe_{\text{pré urbanização}} \quad (5)$$

$$V_{\text{quantidade}} = DPe * A \quad (6)$$

Onde CN varia de acordo com a ocupação do solo, possibilitando uma previsão na variação do escoamento superficial da área, e no desenvolvimento de soluções que possam mitigar essa variação. Aqui o P utilizado é o P(24h, TR).

A fim de descobrir a área necessária (A_b) para a instalação da célula de bioretenção é necessário integrar os valores que compõe o design do jardim filtrante, sendo a K a condutividade hidráulica (m/h), hb a altura da zona de alagamento (m), db a profundidade do meio filtrante (m), tb o tempo de esvaziamento (fixado em 24h) e FS o fator de segurança. Aqui o V adotado é o maior encontrado entre as duas equações prévias.

$$A_b = \frac{V \cdot db}{\left(\frac{K}{FS}\right) \cdot (hb + db) \cdot tb} \quad (7)$$

DESENVOLVIMENTO

A partir da área delimitada, foi realizado o dimensionamento do sistema conforme as diretrizes estabelecidas pelo *Bioretention Manual*. Por meio da extrapolação da série histórica de dados das estações pluviométricas localizadas no entorno da área de estudo, foram obtidos os seguintes parâmetros para o cálculo da chuva de projeto: $P_{90} = 41,44$ mm e $P(24 \text{ h, TR} = 1) = 53,79$ mm.

Considerando que, antes da construção do museu, a área de $615,37 \text{ m}^2$ era composta por vegetação rasteira (CN = 74), de modo a manter as condições naturais de escoamento, e que, após sua implantação, passou a apresentar superfície impermeável (CN = 98), o volume de retenção estimado pelo método SCS-CN foi de $23,20 \text{ m}^3$. Pelo método Water Quality Volume (WQV), o



volume calculado foi de 21,67 m³, sendo adotado para o dimensionamento o maior valor obtido, correspondente ao método SCS-CN.

Para o dimensionamento da célula foi adotada uma zona de alagamento de 0,15 m (hb). O meio filtrante foi projetado com profundidade total de 1,20 m (db), composta por 30 cm de brita 4, 20 cm de brita 2, 20 cm de pedrisco formando a camada de transição, 40 cm de areia atuando como meio filtrante e 10 cm de *mulch*, constituindo a camada superficial composta essencialmente por matéria orgânica conforme mostrado na Figura 2.

A condutividade hidráulica de projeto (K) foi estimada em aproximadamente 169,24 mm/h. Adotando-se um fator de segurança (FS) igual a 2, com o objetivo de evitar transbordamentos, obteve-se uma área superficial necessária de 9,14 m².

O projeto proposto consiste na implantação de um dreno francês (caixa de britas) destinado à captação do escoamento superficial e à retenção de sólidos grosseiros, duas caixas de equalização para a divisão uniforme das vazões pluvial e fluvial entre as células, uma caixa de entrada para cada célula, uma caixa de saída para o acúmulo do volume excedente e um tubo dreno instalado no fundo de cada célula para o esvaziamento do sistema.

Em cada célula serão instalados medidores de vazão na entrada e na saída do volume excedente, com a finalidade de obter as variáveis necessárias à análise hidrodinâmica do experimento.

Além disso, três tubos drenantes distribuídos ao longo das células permitirão o acesso ao interior do sistema para a coleta de amostras destinadas à avaliação da melhoria da qualidade da água. Na entrada e na saída do sistema, calhas Palmer equipadas com sensores realizarão a medição das vazões afluente e efluente, possibilitando a avaliação da eficiência hidráulica do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema está sendo construído em alvenaria impermeabilizada em razão do rigor exigido para as análises hidráulicas e para o controle das vazões de entrada e saída, necessárias às análises qualitativas, o que resulta em maior custo do processo construtivo.

O experimento tem como objetivo avaliar o impacto e a influência da aplicação de águas fluviais por meio da análise de parâmetros de qualidade da água. A literatura relata redução da carga poluidora em sistemas de biorretenção aplicados à drenagem urbana; dessa forma, espera-se também a redução da carga poluidora nos sistemas em que haverá aplicação de água fluvial.

Em razão da aplicação de um afluente com diferentes cargas poluidoras, espera-se ainda observar diferenças no comportamento hidrodinâmico do sistema, bem como na saúde das plantas

presentes em cada célula, em função das especificidades dos poluentes e da microbiota associada a cada uma delas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa, no âmbito da Chamada CNPq nº 68/2022 – Programa de Mestrado e Doutorado para Inovação (MAI/DAI), e à Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), pela parceria institucional no desenvolvimento do projeto "Eficiência quantitativa de Soluções Baseadas na Natureza na mitigação da poluição de bacias hidrográficas urbanas e a contribuição no controle às mudanças climáticas".

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

- ABDULJALEEL, Y.; DEMISSIE, Y. (2021) *Evaluation and Optimization of Low Impact Development Designs for Sustainable Stormwater Management in a Changing Climate*. WATER., v. 13, n. 20.
- AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. (2012). *Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research*. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 223, n. 7, p. 4253–4273.
- DE MACEDO, M. B. ; G., M. N. .; Jochelavicius, V. .; de Oliveira, T. R. P. .; Menciondo, E. M. (2022). *Modular Design of Bioretention Systems for Sustainable Stormwater Management under Drivers of Urbanization and Climate Change*. SUSTAINABILITY, [s. l.].
- BAE, C. ; L., D. K. (2020). *Effects of low-impact development practices for flood events at the catchment scale in a highly developed urban area*. INTERNATIONAL JOURNAL OF DISASTER RISK REDUCTION, [s. l.], v. 44.
- CHAVES, M. T. R.; FARIAS, T. R. L.; ELOI, W. M. (2024) *Comparative analysis of bioretention design strategies for urban runoff infiltration: a critical overview*. *Ecological Engineering*, vol. 207, p. 107352.

- CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. D. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. (2019) *A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza*. *Saúde em Debate*, [s. l.], v. 43, n. spe3, p. 94–108.
- DIETZ, M. E. ; A., C. L. (2018). *Can Green Infrastructure Provide Both Water Quality and Flood Reduction Benefits? Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, [s. l.].
- FLETCHER, T. D. ; S., W. ;. Hunt, W. F. ;. Ashley, R. ;. Butler, D. ;. Arthur, S. ;. Trowsdale, S. ;. Barraud, S. ;. Semadeni-Davies, A. ;. Bertrand-Krajewski, J. L. ;. 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*.
- ROSA, A.; MENDIONDO, E. M.; MACEDO, M. B.; SOUZA, V. C. de; SAMPLE, D.; PROCOPIUCK, M. (2019). *Sustainable urban drainage: delineation of a scientific domain of knowledge production*. *Revista Tecnologia e Sociedade*, [s. l.], v. 15, n. 38.
- GONG, Y.; GAO, F.; HAO, Y.; ZHANG, G.; BAI, X.; YANG, H.; LI, H.; ZHANG, W.; NIE, L. (2022) *Factors affecting the permeability of the growing media used in bioretention systems*. *Journal of Hydrology*, vol. 610, p. 127935.
- MANGANGKA, I. R.; LIU, A.; EGODAWATTA, P.; GOONETILLEKE, A. (2015). *Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin*. *Journal of Environmental Management*, vol. 150, p. 173–178.
- SHARMA, R.; MALAVIYA, P. (2021). *Management of stormwater pollution using green infrastructure: The role of rain gardens*. *WIREs Water*, vol. 8, no 2, p. e1507.
- ZHOU, Q.; LENG, G.; SU, J.; REN, Y. (2019) *Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation*. *Science of The Total Environment*, v. 658, p. 24–33.
- ADYEL, T. M.; OLDHAM, C. E.; HIPSEY, M. R. (2017). *Storm event-scale nutrient attenuation in constructed wetlands experiencing a Mediterranean climate: A comparison of a surface flow and hybrid surface-subsurface flow system*. *Science of The Total Environment*, v. 598, p. 1001-1014.
- RAI, U. N. ; U., A. K. ;. Singh, N. K. ;. Dwivedi, S. ;. Tripathi, R. D. (2015). *Seasonal applicability of horizontal sub-surface flow constructed wetland for trace elements and nutrient removal from urban wastes to conserve Ganga River water quality at Haridwar, India*. *Ecological Engineering*.
- FUNAI, J. T.; KUPEC, P. (2017). *Exploring Planting and Filter Media in Stormwater Bioremediating Landscapes: a Review*. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 228, no 9, p. 340.