



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

GABRIELA BADARÓ DE CARVALHO

**RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO COMO SOLUÇÃO MITIGADORAS DE
ENCHENTES E ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO**

UBÁ
2024

GABRIELA BADARÓ DE CARVALHO

**RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO COMO SOLUÇÃO MITIGADORAS DE
ENCHENTES E ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Faculdade
Presidente Antônio Carlos de Ubá –FUPAC,
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr^a. Suymara Toledo Miranda

**UBÁ
2024**

RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO COMO SOLUÇÃO MITIGADORAS DE ENCHENTES E ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO

RESUMO

As enchentes urbanas têm se tornado um problema crescente devido à urbanização desordenada e às mudanças climáticas. Este estudo avalia a eficácia dos reservatórios de retenção como solução sustentável para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas, analisando casos emblemáticos em Tóquio, São Paulo e Rio de Janeiro. Além disso, considera alternativas complementares, como infraestrutura verde e telhados permeáveis, destacando a importância de políticas públicas e inovações tecnológicas para tornar essas soluções mais escaláveis e eficazes. O trabalho conclui que os reservatórios de retenção são fundamentais para mitigar enchentes, mas requerem planejamento, manutenção e integração com o ambiente urbano para maximizar benefícios sociais e ambientais.

Palavras-chave: Reservatórios de retenção. Gestão de águas pluviais. Infraestrutura verde. Enchentes urbanas. Sustentabilidade.

DETENTION RESERVOIRS AS FLOOD MITIGATION SOLUTIONS AND SUSTAINABLE ALTERNATIVES IN CONSTRUCTION

ABSTRACT

Urban floods have become an increasing challenge due to unplanned urbanization and climate change. This study evaluates the effectiveness of detention reservoirs as a sustainable solution for urban stormwater management, analyzing exemplary cases in Tokyo, São Paulo, and Rio de Janeiro. It also considers complementary alternatives, such as green infrastructure and permeable roofs, emphasizing the importance of public policies and technological innovations to make these solutions more scalable and effective. The study concludes that detention reservoirs are essential for flood mitigation but require planning, maintenance, and integration with the urban environment to maximize social and environmental benefits.

Keywords: Detention reservoirs. Stormwater management. Green infrastructure. Urban floods. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

As enchentes urbanas representam um problema grave em diversas regiões do mundo, causadas, principalmente, pela intensificação da urbanização, mudanças climáticas e inadequação da infraestrutura para lidar com eventos climáticos extremos. A expansão urbana sem planejamento adequado e o consequente aumento da impermeabilização do solo agravam a situação, uma vez que o escoamento superficial é intensificado e os sistemas de drenagem frequentemente são insuficientes para absorver o excesso de água (TUCCI, 1995). Nos últimos anos, a ocorrência de eventos climáticos extremos, incluindo chuvas intensas e inundações, tem se tornado mais frequente, trazendo consigo prejuízos econômicos expressivos, danos à infraestrutura e riscos sociais que afetam milhares de pessoas.

Eventos recentes demonstram a magnitude dos impactos das enchentes em áreas urbanas. No Rio Grande do Sul, a maior catástrofe ambiental da história do estado, associada a fortes chuvas e ventos, afetou cerca de um milhão de pessoas e gerou perdas econômicas estimadas em bilhões de reais, além de ameaçar centenas de milhares de empregos (DIAS, 2024). Na Espanha, mais de 200 pessoas faleceram devido a inundações severas provocadas pela Depressão Isolada em Altos Níveis (DANA), que evidenciou a incapacidade da infraestrutura urbana moderna de suportar eventos climáticos tão intensos (PRAZERES; MATA, 2024). Estes eventos recentes indicam que a infraestrutura das cidades, como estradas, pontes e sistemas de drenagem, foi projetada para um clima do passado e, muitas vezes, não consegue resistir aos fenômenos atuais, exacerbados pelas mudanças climáticas.

A necessidade de investigar soluções preventivas para enchentes urbanas é cada vez mais urgente, considerando-se que os riscos associados a eventos de chuvas intensas aumentam proporcionalmente ao aquecimento global. Conforme o relatório de Masson-Delmotte *et al.* (2018), a intensidade das chuvas associadas a ciclones tropicais e outros eventos extremos tendem a ser significativamente maior em cenários de aquecimento de 2 °C em comparação a 1,5 °C. As áreas urbanas, com seus sistemas de infraestrutura muitas vezes insuficientes, tornam-se especialmente vulneráveis a esses eventos. Neste contexto, o uso de reservatórios de retenção surge como uma medida eficaz para controlar o escoamento das águas pluviais e reduzir o risco de enchentes, funcionando como bacias de amortecimento capazes de armazenar o excesso de água e liberar o fluxo gradualmente (TUCCI, 1995).

O presente estudo tem como objetivo apresentar o potencial das tecnologias de retenção de águas urbanas, com foco nos reservatórios de retenção, como soluções sustentáveis para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas. Busca-se compreender a efetividade dessas

tecnologias na mitigação de enchentes urbanas, explorando estudos de casos exitosos e avaliando os desafios e benefícios dessas infraestruturas complementares à drenagem urbana. Além disso, o estudo visa identificar as principais inovações tecnológicas nesse campo e propor recomendações para otimização e escalabilidade dessas soluções, contribuindo para a formulação de políticas públicas e a adaptação das cidades às mudanças climáticas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Conceito e importância dos reservatórios de retenção

Os reservatórios de retenção são estruturas projetadas para armazenar, temporariamente, o volume excedente de águas pluviais durante eventos de chuva intensa, liberando-o de forma controlada ao sistema de drenagem natural ou urbano. Geralmente, esses reservatórios consistem em áreas abertas (bacias escavadas ou represamentos) ou estruturas fechadas (tanques subterrâneos) que possuem mecanismos reguladores para controlar a vazão de saída da água, como orifícios calibrados ou válvulas. A principal função dessas estruturas é desacelerar o escoamento superficial, reduzindo picos de cheia e prevenindo enchentes em áreas urbanizadas (TUCCI, 1997; MATIAS, 2006).

Além de armazenar água temporariamente, os reservatórios de retenção podem desempenhar outras funções, como a retenção de sedimentos, óleos e resíduos sólidos, melhorando a qualidade da água liberada para os corpos hídricos. Essa característica é especialmente importante em regiões densamente urbanizadas, onde a impermeabilização do solo impede a infiltração natural e exacerba os impactos das chuvas intensas (TUCCI, 1997).

A criação desses reservatórios é particularmente vantajosa em novos loteamentos urbanos, pois elimina a necessidade de dimensionar a infraestrutura de drenagem para suportar eventos extremos, permitindo que a rede existente seja utilizada com maior eficiência (MATIAS, 2006). Além disso, Berque e Ruperd (2000) ressaltam que esses dispositivos são projetados para replicar condições de escoamento pré-urbanização, reduzindo os impactos ambientais negativos. A sua utilização não apenas controla a quantidade de água liberada, mas também melhora sua qualidade ao reduzir a carga de poluentes e sedimentos transportados pelas chuvas.

2.1.1 Benefícios esperados em áreas urbanas

Reservatórios de retenção desempenham um papel essencial ao amenizar a pressão sobre sistemas de drenagem durante chuvas intensas, prevenindo erosão e deterioração da infraestrutura urbana (NAKAZONE, 2005). Além disso, eles prolongam a vida útil dos cursos d'água, promovendo sustentabilidade ambiental e mitigando a poluição e o escoamento superficial excessivo (HARRELL & RANJITHAN, 2003).

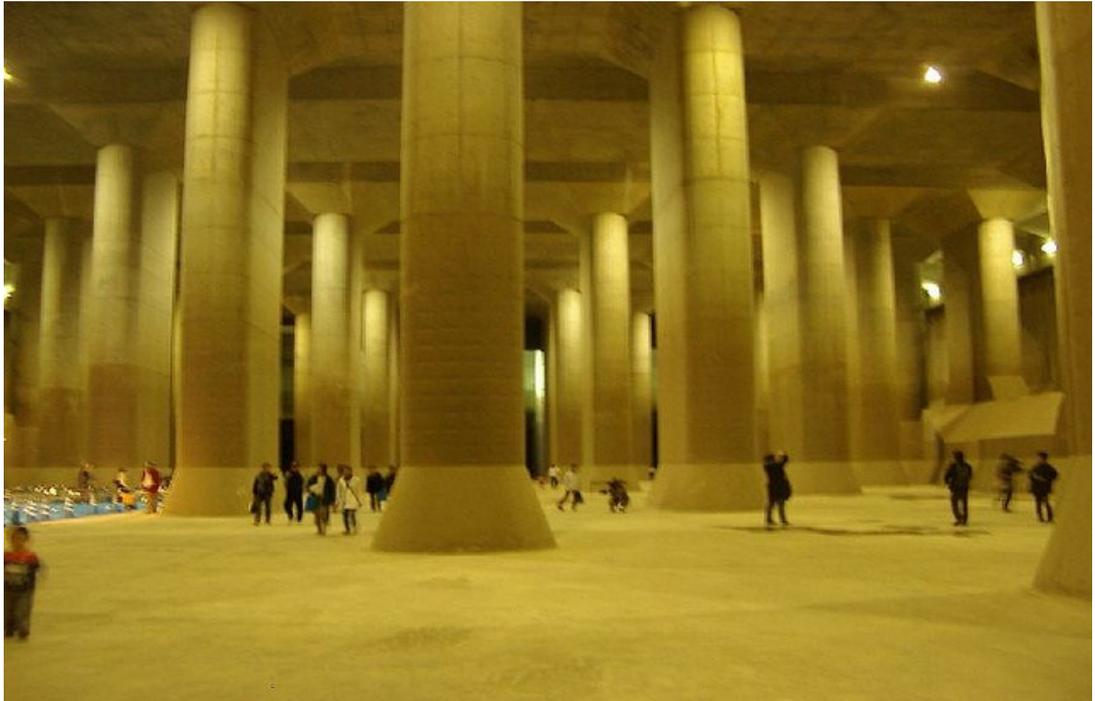
No entanto, o aumento da urbanização e as limitações de espaço em áreas densamente construídas motivam o desenvolvimento de soluções complementares aos reservatórios de retenção. Alternativas como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e áreas verdes multifuncionais permitem uma abordagem descentralizada para o manejo de águas pluviais, promovendo a infiltração da água e reduzindo a dependência exclusiva dos reservatórios de grande porte (NAKAZONE, 2005).

2.1.2 Exemplos de projetos de reservatórios

Análises de diferentes sistemas de reservatórios de retenção em contextos urbanos mostram variações nas suas estruturas e funcionamentos, adequando-se às características específicas de cada cidade e sua vulnerabilidade às inundações. Exemplos notáveis incluem:

- G-Cans Project (Tóquio, Japão): localizado em uma das áreas mais densamente povoadas do mundo, o G-Cans utiliza um complexo sistema de túneis subterrâneos e câmaras de retenção. Este projeto visa armazenar grandes volumes de água durante monções e tufões, demonstrando um alto investimento em tecnologia para minimizar o impacto das chuvas em uma área altamente urbanizada (MORITA, 2024; ORTIZ, 2018). Na FIG. 1, é possível observar a grandiosidade do reservatório subterrâneo em comparação aos visitantes.

Figura 1 – Visitantes no túnel de tempestade G-Cans G-Cans em Tóquio.



Fonte: Site Water Technology.¹

- Reservatório do Vale do Pacaembu (São Paulo, Brasil): inaugurado em 1994, este reservatório foi projetado para lidar com enchentes em uma área densamente urbanizada, com alto grau de impermeabilização. Localizado em um estacionamento adjacente ao Estádio do Pacaembu, o sistema é um exemplo de adaptação urbana em regiões já ocupadas, embora com limitações na sua capacidade frente a grandes volumes de água (DOS SANTOS; MAZIVIERO, 2016; SANTOS, 2019).
- Sistema de Reservatórios da Praça da Bandeira (Rio de Janeiro, Brasil): implantado em 2013, o sistema de piscinões da Praça da Bandeira integra-se a um complexo de drenagem na Grande Tijuca, no Rio de Janeiro. Esse projeto busca controlar a drenagem em uma área urbana vulnerável a enchentes, utilizando também o desvio do Rio Joana. A análise deste caso foca na adaptação às condições urbanas e o impacto das chuvas intensas na região (PIU, 2023; MAIA, 2013). Na FIG. 2, é possível ver a entrada do centro de controle do reservatório da Praça da Bandeira, enquanto, na FIG. 3, observa-se o interior do reservatório com funcionários realizando sua manutenção.

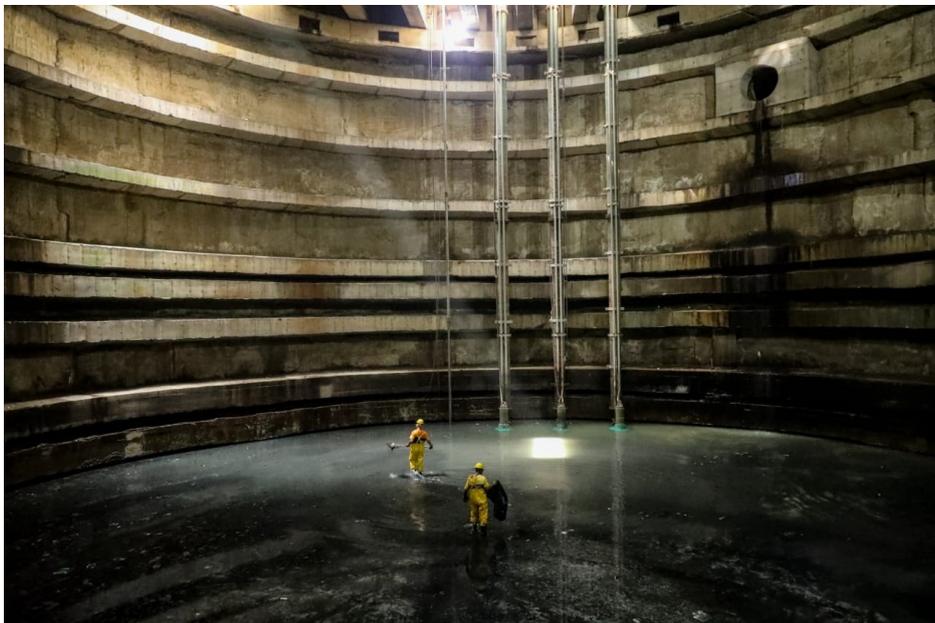
¹ Disponível em: <<https://www.water-technology.net/projects/g-cans-project-tokyo-japan/>>. Acesso em 5 de outubro de 2024.

Figura 2 – Entrada do Centro de Controle Operacional Reservatório Praça da Bandeira.



Fonte: Site da Prefeitura do Rio de Janeiro.²

Figura 3 – Reservatório Praça da Bandeira.



Fonte: Site da Prefeitura do Rio de Janeiro³

² Disponível em: <<https://prefeitura.rio/fundacao-rio-aguas/reservatorio-da-praca-da-bandeira-completa-dez-anos-de-operacao/>>. Acesso em 5 de outubro de 2024.

³ Disponível em: <<https://prefeitura.rio/fundacao-rio-aguas/reservatorio-da-praca-da-bandeira-completa-dez-anos-de-operacao/>>. Acesso em 5 de outubro de 2024.

2.1.2.1 Comparação e avaliação de efetividade

A análise comparativa e avaliação de efetividade consistiu em uma comparação detalhada entre os três sistemas, considerando variáveis como capacidade de contenção, impacto ambiental e urbano, tecnologias empregadas e a eficiência no controle de enchentes ao longo do tempo (TUCCI, MARQUES, 2008).

- **Capacidade de Contenção e Armazenamento:** a comparação entre os sistemas revela as diferentes abordagens para lidar com os volumes de água. O G-Cans, por exemplo, é projetado para suportar volumes muito maiores de água em um ambiente de alta urbanização, enquanto os sistemas de São Paulo e Rio de Janeiro lidam com áreas que, embora densamente povoadas, apresentam limitações em termos de espaço e recursos para grandes intervenções (CORSINI, 2011).

- **Impacto Ambiental e Urbano:** a análise também considerou como cada projeto impacta a infraestrutura urbana e a vida diária dos moradores. O G-Cans é um exemplo de adaptação tecnológica, enquanto o Piscinão do Pacaembu e o reservatório da Praça da Bandeira demonstram como intervenções urbanas podem ser integradas ao espaço já ocupado, com benefícios significativos na redução de inundações, embora com desafios relacionados à manutenção em áreas altamente impermeabilizadas (OLIVEIRA, 2019; D'AVILA, 2008).

- **Tecnologia e Investimento:** o estudo destaca a diferença nos níveis de tecnologia e investimento entre os projetos. O G-Cans, com seu sistema subterrâneo complexo, representa uma solução de alto custo e tecnologia, enquanto os projetos brasileiros são mais adaptados às realidades locais, com investimentos que, embora significativos, são mais modulares e focados em maximizar o uso do espaço existente (CORSINI, 2011).

- **Eficiência Comprovada:** a eficácia dos sistemas foi analisada com base na redução de alagamentos e no impacto nas condições de vida urbana. Todos os sistemas mostraram resultados positivos, mas a manutenção e o custo de operação se tornaram desafios constantes, principalmente com o aumento da urbanização e a intensificação das chuvas (TUCCI, MARQUES, 2008).

2.1.3 Acessibilidade e uso público nos reservatórios de detenção

Tradicionalmente, os reservatórios de detenção são vistos como espaços técnicos e infraestruturais, cuja principal função é o controle de enchentes e a retenção da água da chuva. No entanto, esses espaços podem ser repensados como áreas multifuncionais, proporcionando

tanto a gestão de águas pluviais quanto benefícios sociais e ambientais para a população. A acessibilidade e o uso público nos reservatórios de retenção são aspectos cada vez mais importantes na transformação desses espaços urbanos (CORSINI, 2011).

2.1.3.1 Design multifuncional: Reservatórios como espaços de convivência

A multifuncionalidade dos reservatórios de retenção é uma tendência crescente, onde esses espaços não se limitam apenas à função de drenagem. Ao projetar esses reservatórios como espaços de uso público, é possível criar praças, parques e áreas recreativas que podem ser utilizadas durante a maioria do ano, desde que a função de drenagem não seja comprometida. Essas áreas podem incluir pistas de caminhada, ciclovias, áreas de esporte e até mesmo espaços para eventos culturais e comunitários. O exemplo de Hong Kong ilustra como a integração de reservatórios de retenção e áreas públicas pode ser bem-sucedida. O Reservatório de Retenção de Tai Po, por exemplo, foi projetado para atuar como um parque comunitário, proporcionando, ao mesmo tempo, segurança contra enchentes e espaços públicos que promovem o lazer e a interação social (CORSINI, 2011; MORITA, 2024).

2.1.3.2 Acessibilidade para todos

Garantir que os reservatórios de retenção e seus espaços complementares sejam acessíveis a todos os cidadãos é fundamental. Isso implica garantir a mobilidade e o acesso seguro para pessoas com deficiência, criando caminhos acessíveis, rampas e sinalização adequada. Além disso, é importante que esses espaços se integrem ao transporte público e ao planejamento urbano de maneira que a população tenha facilidade de acesso aos benefícios oferecidos por esses espaços. Cidades como Nova York têm se destacado por sua capacidade de criar reservatórios multifuncionais que oferecem acessibilidade universal, com projetos que garantem a utilização dos espaços por diferentes grupos sociais (D'AVILA, 2008).

2.1.3.3 Conectando áreas urbanas ao meio ambiente

Os reservatórios de retenção multifuncionais não apenas contribuem para a mitigação de enchentes, mas também funcionam como uma conexão entre as áreas urbanas e a natureza. Ao integrar vegetação nativa, paisagismo sustentável e corredores ecológicos nos reservatórios, é possível criar corredores verdes que conectam diferentes pontos da cidade, oferecendo um

habitat para a fauna local, além de ser uma ferramenta de educação ambiental. Em Melbourne, por exemplo, a cidade integrou reservatórios de retenção em parques que servem como locais de educação sobre a gestão de águas pluviais e sustentabilidade urbana. Essas iniciativas ajudam a promover uma cultura de responsabilidade ambiental e incentivam a comunidade a participar da gestão dos recursos hídricos urbanos (OLIVEIRA, 2019; D'AVILA, 2008).

2.1.3.4 Tecnologias e monitoramento inteligente

A gestão eficiente dos reservatórios de retenção e das soluções complementares exige o uso de tecnologias inteligentes que permitam o monitoramento em tempo real e a otimização do funcionamento desses sistemas. O uso de sensores e plataformas de dados pode melhorar a atuação das soluções urbanas, permitindo o monitoramento de níveis de água, condições climáticas e a eficácia das medidas implementadas. Cingapura é um exemplo de cidade que adota sistemas de monitoramento inteligente para otimizar a gestão da água da chuva. A cidade usa uma combinação de sensores, drones e big data⁴ para coletar dados sobre as condições de drenagem, e essas informações são usadas para melhorar a previsão de enchentes e para gerenciar os sistemas de drenagem de forma mais eficaz (BISWAS; YEO, 2022).

2.1.3.5 Complemento sobre copenhague

Copenhague tem se destacado internacionalmente por sua abordagem inovadora e integrada no uso de reservatórios de retenção, transformando-os em espaços públicos multifuncionais. Essa estratégia está alinhada ao conceito de “cidades-esponja”, que visa maximizar a retenção de águas pluviais enquanto promove benefícios adicionais para a população urbana. A cidade tem utilizado áreas públicas, como parques e praças, para não só reter águas da chuva, mas também para criar locais de lazer e interação social. Exemplos notáveis incluem a rotatória Sankt Kjelds Plads, que foi remodelada com lagos projetados para atuar como sistemas de drenagem, e a construção de uma estação de bombeamento no porto, que ajuda a controlar o nível das águas. Esses projetos são modelos exemplares de como é possível integrar a infraestrutura verde com soluções de prevenção de enchentes e, ao mesmo

⁴ Definição de big data: Refere-se à capacidade de coletar, armazenar e analisar grandes volumes de dados para identificar padrões, tendências e conexões que antes eram impossíveis de perceber devido às limitações tecnológicas. MAYER-SCHÖNBERGER, Viktor; CUKIER, Kenneth. Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2013.

tempo, promover o bem-estar urbano, criando espaços que oferecem tanto funcionalidade quanto prazer estético (BOBYLEV, 2012; RAJAGOPAL, 2024).

A abordagem adotada por Copenhague vai além da simples mitigação dos efeitos das enchentes; ela contribui ativamente para a criação de ambientes urbanos mais sustentáveis e agradáveis. Ao combinar o controle das águas pluviais com a criação de espaços verdes acessíveis, a cidade não só aumenta a biodiversidade local, como também proporciona um ambiente de maior qualidade de vida para seus cidadãos. Além disso, essas soluções ajudam a reduzir os custos associados aos danos causados por eventos climáticos extremos, os quais são cada vez mais frequentes devido às mudanças climáticas. Com esses projetos inovadores, Copenhague estabelece um exemplo claro de como é possível aliar infraestrutura resiliente com benefícios ambientais e sociais para as comunidades urbana (BOBYLEV, 2012; RAJAGOPAL, 2024).

2.2 Sugestão de alternativas e Soluções Complementares aos reservatórios de retenção na área urbana

A crescente urbanização e as mudanças climáticas intensificam as ocorrências de enchentes e inundações nas cidades, tornando urgente a busca por soluções eficazes para o controle dessas águas. Nesse cenário, os reservatórios de retenção têm se destacado como uma alternativa eficiente para armazenar as águas pluviais durante eventos de chuvas intensas. Contudo, a dependência exclusiva desses sistemas pode ser insuficiente para enfrentar os desafios complexos da drenagem urbana contemporânea. Assim, a integração de alternativas complementares, como infraestruturas verdes, soluções baseadas na natureza e a multifuncionalidade dos reservatórios, se apresenta como uma abordagem mais holística e sustentável para a gestão das águas pluviais (BISWAS; YEO, 2022; BRAGA, 2018).

Essas soluções complementares são fundamentais para o desenvolvimento de cidades mais resilientes e sustentáveis, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, pelo crescimento populacional e pela urbanização acelerada. A adoção de infraestrutura verde, soluções baseadas na natureza e o uso multifuncional dos reservatórios vão além do simples controle de enchentes, trazendo benefícios significativos para a qualidade de vida urbana (KORS; BOSCH, 1995).

Essas iniciativas promovem maior acessibilidade, criam espaços de lazer e fortalecem a integração com a natureza no ambiente urbano, transformando áreas vulneráveis em locais mais seguros, funcionais e visualmente atrativos. Além disso, elas incentivam práticas urbanas mais

inclusivas e sustentáveis, contribuindo para a valorização do espaço público e o fortalecimento das comunidades locais (FIORAVANTI, 2004; KORS; BOSCH, 1995). No QUADRO 1, essas alternativas são detalhadas, com a descrição de seus principais benefícios, exemplos de implementações bem-sucedidas e uma avaliação de sua eficácia em diferentes contextos urbanos.

Quadro 1 – Quadro de alternativas e utilizações sustentáveis complementares aos reservatórios de detenção.

Alternativa	Descrição	Benefícios Primários	Exemplo Real	Avaliação de Eficiência
Telhados Verdes	Coberturas vegetais instaladas em telhados que retêm água da chuva.	Redução do escoamento superficial, controle de temperatura, isolamento térmico e melhor qualidade do ar.	São Paulo, exigência regulatória para construções sustentáveis.	Boa capacidade de mitigação de enchentes em áreas densamente urbanizadas, com benefícios adicionais na redução da ilha de calor e aumento de biodiversidade.
Infraestrutura Permeável	Uso de materiais permeáveis para pavimentos e calçadas, promovendo infiltração de água.	Reduz volume de escoamento para drenagem e recarrega aquíferos.	Centros urbanos com pavimentos permeáveis.	Alta eficiência na infiltração de água, especialmente útil em áreas de grande pavimentação, com baixa manutenção e boa viabilidade econômica.

Bacias de Retenção Integradas Espaços Públicos	de a	Transformação de espaços urbanos em áreas multifuncionais para retenção de água e lazer.	Prevenção de enchentes e promoção de espaços recreativos.	de e	Copenhague, com parques que retêm água e áreas de lazer.	Boa eficiência na retenção e drenagem, embora de maior custo de implementação. Benefícios sociais, como promoção de lazer, ajudam na aceitação comunitária.
--	------	--	---	------	--	---

Continuação: Quadro 1 – Quadro de alternativas e utilizações sustentáveis complementares aos reservatórios de detenção.

Reservatórios Multifuncionais	Reservatórios projetados para uso público, como parques e praças, que acumulam água em épocas de enchente.	Uso multifuncional e estético, com menor impacto no uso de solo urbano.	Hong Kong, Reservatório de Tai Po como parque.	Eficiência moderada em mitigação de enchentes; destaca-se pelo uso otimizado do solo e custo operacional reduzido. A acessibilidade aumenta a adesão social.
Soluções Integradas com Vegetação Nativa	Inclusão de vegetação e corredores ecológicos para controle de água e promoção de biodiversidade.	Controle do escoamento, criação de habitat natural e espaços educacionais.	Melbourne, integração de parques e reservatórios.	Moderada eficiência para controle de enchentes em áreas específicas; promove responsabilidade ambiental e minimiza custos futuros.

Fonte: ARAÚJO, GOLDENFUM E TUCCI; 1999, CORSINI; 2011, OLIVEIRA; 2019, RAJAGOPAL; 2024, FIORAVANTI; 2004; 2022, BISWAS; YEO; 2022, TUCCI, MARQUES; 2000, UFMG; 2008, URBONAS E STAHRÉ; 1993, MORITA, 2024. Quadro adaptado pela autora.

2.2.1 Infraestrutura verde e soluções baseadas na natureza (SBN)

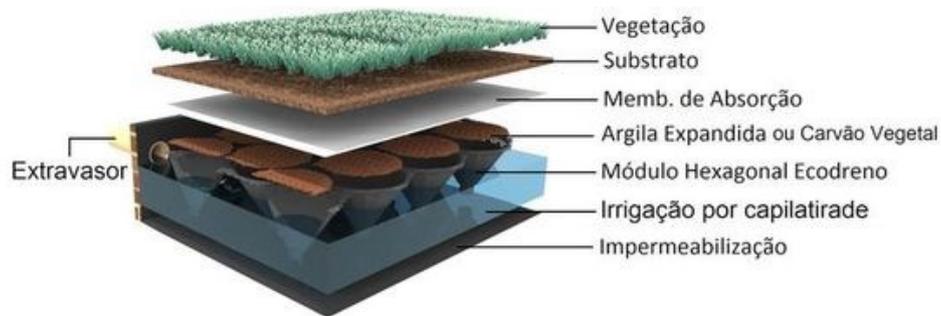
As soluções baseadas na natureza (SBN) oferecem uma alternativa mais sustentável ao modelo tradicional de drenagem urbana, que muitas vezes depende, exclusivamente, de sistemas de infraestrutura cinza (galerias, tubos e reservatórios). As SBN buscam a integração da natureza no planejamento urbano, oferecendo benefícios que vão além do controle de enchentes, como a promoção da biodiversidade, a melhoria da qualidade do ar e a oferta de espaços públicos de lazer (OLIVEIRA, 2019; FIORAVANTI,2004). Algumas das principais soluções incluem:

2.2.1.1 Telhados verdes

Os telhados verdes, também conhecidos como “jardins suspensos”, consistem em coberturas vegetais instaladas sobre edifícios, visando captar e reter a água da chuva. Esses telhados têm uma camada vegetal que ajuda a reter parte da água da chuva, reduzindo o escoamento superficial e a carga sobre o sistema de drenagem. Além disso, esses espaços proporcionam uma série de benefícios, como a redução da ilha de calor urbana, melhora da qualidade do ar e isolamento térmico para os edifícios (FIORAVANTI,2004; SILVA, 2018).

Em cidades com alta densidade urbana, como São Paulo, a utilização de telhados verdes tem mostrado resultados positivos na mitigação de enchentes, uma vez que contribuem para a absorção das águas pluviais e diminuem a pressão sobre os reservatórios de detenção convencionais. Além disso, a instalação de telhados verdes pode ser uma exigência regulatória em algumas cidades para promover a sustentabilidade nas construções urbanas de lazer (OLIVEIRA, 2019; FIORAVANTI,2004). A FIG. 4 exemplifica o funcionamento dos telhados verdes, mostrando as camadas que os compõem.

Figura 4 – Sistema de telhado verde laminar alto



Fonte: OLIVEIRA, 2019⁵

2.2.1.2 Infraestrutura permeável

O conceito de infraestrutura permeável está associado ao uso de materiais que permitem a infiltração da água da chuva no solo, reduzindo o volume de escoamento superficial direcionado aos sistemas de drenagem. Exemplos incluem pavimentos permeáveis, calçadas verdes e áreas de infiltração, que podem ser aplicadas em ruas, estacionamentos e praças. Essas soluções substituem superfícies impermeáveis tradicionais, como concreto e asfalto, contribuindo para a redução do volume de água que chega aos reservatórios de detenção, a recarga dos lençóis freáticos e a mitigação do risco de enchentes (URBONAS E STAHR; 1993; BRAGA, 2018; SILVA, 2009).

a) Tipos de pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis, classificados como dispositivos de infiltração, permitem que o escoamento superficial seja conduzido por uma superfície permeável até um reservatório de pedras localizado sob o terreno. De acordo com Urbonas e Stahre (1993) e Tucci e Marques (2000), eles podem ser classificados em três principais tipos:

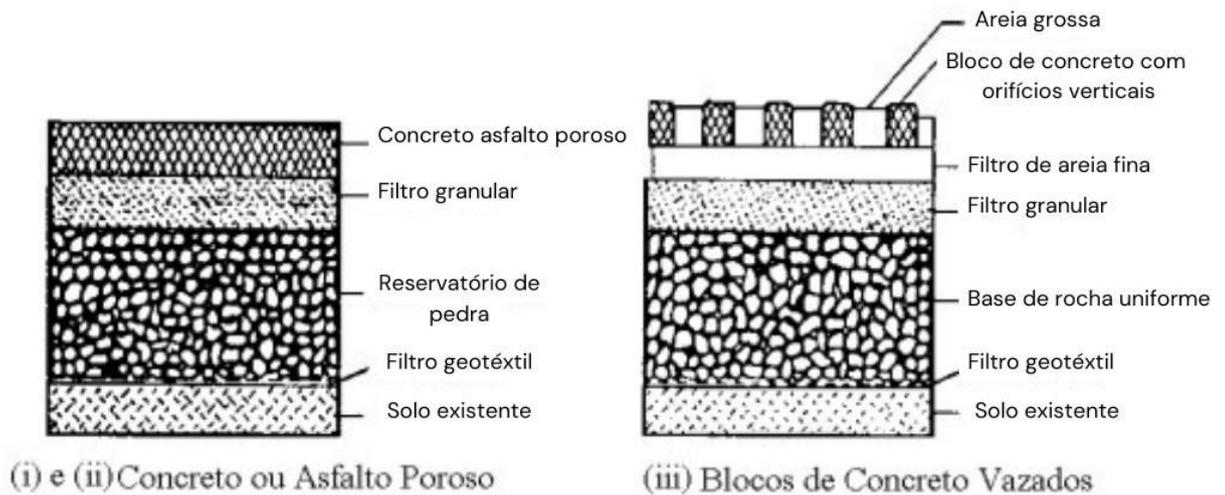
- Pavimento de asfalto poroso: semelhante ao pavimento asfáltico convencional, mas com a remoção da fração de areia fina da mistura de agregados.

⁵ OLIVEIRA, Otávio Horn. Análise da utilização de telhados verdes como alternativa para detenção pluvial em Porto Alegre. 2019.

- Pavimento de concreto poroso: construído de forma semelhante ao pavimento de concreto tradicional, também sem a fração de areia fina na composição.
- Pavimento de bloco de concreto vazado: composto por módulos de blocos de concreto com vazados preenchidos por material granular, areia, ou vegetação rasteira, como grama.

A FIG. 5 apresenta os tipos de pavimentos permeáveis mencionados anteriormente, destacando suas camadas. Esses pavimentos, geralmente, possuem uma camada de revestimento poroso, uma intermediária de agregado fino ou médio (filtro) e outra de agregado graúdo. A camada de agregado graúdo determina a capacidade de armazenamento do pavimento, permitindo que a água armazenada seja infiltrada no solo ou coletada por tubos de drenagem. Para evitar a migração de partículas finas, filtros geotêxteis podem ser utilizados sob a camada de agregado fino ou médio e no contato com o solo.

Figura 5 – Tipos de pavimentos permeáveis



Fonte: TUCCI, MARQUES, 2000⁶ Quadro adaptado pela autora.

Em regiões urbanas densamente ocupadas, como centros comerciais e áreas industriais, a aplicação de pavimentos permeáveis é particularmente vantajosa, pois reduz o risco de enchentes, ao mesmo tempo, em que cria espaços sustentáveis e multifuncionais. Além de suas funções hidráulicas, essas infraestruturas podem integrar áreas verdes públicas, oferecendo

⁶ TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L. DA M. (Org.) **Avaliação e controle da drenagem**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000. v.1.

espaços de lazer, melhorando a qualidade de vida e contribuindo para a sustentabilidade urbana (TUCCI, MARQUES, 2008).

Conforme Araújo, Goldenfum e Tucci (1999), o revestimento superior dos pavimentos permeáveis age como um condutor eficiente, permitindo que o escoamento superficial alcance rapidamente o reservatório de agregados graúdos, otimizando o processo de infiltração e armazenamento. Dessa forma, a infraestrutura permeável demonstra ser uma solução prática e eficaz para a gestão das águas pluviais em áreas urbanizadas.

2.2.2 Soluções integradas: Bacias de retenção e espaços públicos

A integração de reservatórios de retenção com infraestrutura verde tem se destacado como uma solução eficiente para o manejo das águas pluviais urbanas, prevenindo enchentes e melhorando a qualidade de vida. Inspirada em projetos como o *Cloudburst Master Plan de Copenhagen*, essa estratégia inclui a transformação de espaços públicos, como a rotatória *Sankt Kjelds Plads*, ilustrada na FIG. 6, em áreas multifuncionais com lagos e túneis subterrâneos para armazenamento e escoamento controlado da água (BOBYLEV, 2012; RAJAGOPAL, 2024).

Figura 6 - Rotatória Sankt Kjelds Plads em Copenhagen.



Fonte: Site - Deutsche Welle.⁴

A abordagem, conhecida como “cidades-esponja”, visa reverter os impactos do desenvolvimento urbano acelerado, substituindo superfícies impermeáveis por áreas verdes capazes de reter e redirecionar águas pluviais. Em Copenhagen, mais de 250 espaços públicos

⁷ Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/como-copenhague-se-tornou-uma-cidade-esponja-contracheias/a-68432832>>. Acesso em 5 de outubro de 2024.

foram adaptados, combinando bacias de retenção e infraestrutura recreativa para mitigar alagamentos e promover lazer urbano. Essas medidas incluem uma estação de bombeamento, prevista para 2026, que reduzirá, significativamente, o impacto de tempestades intensas (RAJAGOPAL, 2024).

Embora desafiadoras em custo e adesão da comunidade, iniciativas como essas são financeiramente vantajosas a longo prazo, evitando danos futuros e criando cidades mais resilientes e habitáveis, servindo de exemplo global para enfrentar mudanças climáticas (RAJAGOPAL, 2024).

2.3. Ferramentas de modelagem hidrológica

Ferramentas como o HEC-RAS e o SIG são essenciais na modelagem hidrológica para estudos de reservatórios de detenção e das alternativas complementares descritas. Essas ferramentas permitem simular e analisar a eficiência dos reservatórios e das estruturas descentralizadas na contenção de enchentes, auxiliando no planejamento e monitoramento de futuros projetos. Esses modelos computacionais possibilitam prever o comportamento de escoamento e avaliar soluções de drenagem urbana de maneira mais precisa e eficiente, sendo valiosos tanto para estudos acadêmicos quanto para a implementação prática em áreas urbanas (FLEMING; SCHARFFENBER, 2024).

3 CONCLUSÃO

A partir deste estudo, fica evidente o potencial das tecnologias de retenção de águas urbanas, com foco nos reservatórios de detenção, como soluções sustentáveis para a mitigação de enchentes em áreas urbanas. A apresentação de casos emblemáticos em Tóquio, São Paulo e Rio de Janeiro permitiu compreender a efetividade dessas infraestruturas na gestão de águas pluviais e identificar tanto os benefícios quanto os desafios associados à sua implementação. O reservatório subterrâneo de Tóquio destacou a viabilidade de soluções de grande porte em contextos urbanos densamente povoados, evidenciando a eficácia no armazenamento e escoamento controlado de águas pluviais. Em São Paulo, o reservatório do Pacaembu demonstrou como o uso criativo do espaço público pode aliviar a pressão sobre sistemas de drenagem e proporcionar benefícios adicionais à comunidade. No Rio de Janeiro, o reservatório da Praça da Bandeira, integrado ao desvio do Rio Joana, apresentou-se como uma resposta adaptativa eficaz às recorrentes inundações históricas da região.

Além dos reservatórios de detenção, este trabalho destaca a importância de alternativas complementares, como os telhados verdes, que ajudam a reduzir o escoamento superficial, melhoram a qualidade do ar e contribuem para o conforto térmico das cidades, e a infraestrutura permeável, que permite a infiltração da água no solo, aliviando os sistemas de drenagem e promovendo a recarga dos aquíferos. Ressalta-se também o papel dos reservatórios integrados a espaços públicos e multifuncionais, que combinam a gestão de águas pluviais com o uso recreativo, oferecendo benefícios sociais e ambientais. Adicionalmente, as soluções integradas com vegetação nativa promovem biodiversidade, reduzem o impacto ambiental e conectam áreas urbanas ao meio ambiente, ampliando o alcance e a eficácia da gestão das águas pluviais.

Esses exemplos corroboram a eficácia dos reservatórios de detenção e das alternativas complementares quando planejados e integrados ao contexto urbano, não apenas na redução de alagamentos, mas também na melhoria da resiliência das cidades frente a eventos climáticos extremos. No entanto, o estudo também identificou desafios importantes, como altos custos de implantação, planejamento adequado e manutenção contínua. Para que essas soluções sejam efetivamente escaláveis e sustentáveis, é fundamental o desenvolvimento de políticas públicas estruturadas e um planejamento de longo prazo, que considere inovações tecnológicas e promova a integração dessas infraestruturas ao tecido urbano.

A implementação dessas tecnologias, associada às alternativas complementares, pode se tornar um pilar na adaptação das cidades às mudanças climáticas. Elas não apenas mitigam

enchentes, mas também transformam áreas urbanas em espaços mais funcionais, sustentáveis e preparados para os desafios ambientais do futuro.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P. R.; GOLDENFUM, J.; TUCCI, C. E. M. **Avaliação experimental de pavimentos permeáveis no controle da geração de escoamento superficial**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos XIII, Belo Horizonte, 1999. **Anais**. [S.I.]: ABRH, 1999. 5p. 1 CD-ROM.

BERQUE, J. M.; RUPERD, Y. (coordenadores). **Stormwater retention basins**. Rotterdam: A. A. Balkema, 2000.

BISWAS, Asit K.; YEO, William. **Usando a era digital para gerenciar a água de Cingapura**. *Water Science Policy*, 18 maio 2022. Disponível em: <<https://thirdworldcentre.org/2022/05/usando-a-era-digital-para-gerenciar-a-agua-de-cingapura/>>. Acesso em: 05 out. 2024.

BOBYLEV, Nikolai. **Infraestrutura subterrânea urbana e mudanças climáticas: oportunidades e ameaças**. Alexander von Humboldt, Instituto de Tecnologia de Berlim e Academia Russa de Ciências, 2012. Disponível em: <<http://japangasm.wordpress.com/2012/01/12/the-underground-wonder-of-tokyo/>>. Acesso em: 05 out. 2024.

BRAGA, Willian Macêdo de Souza. Dimensionamento do reservatório de retenção de águas pluviais da edificação do Tribunal Regional do Trabalho em Taguatinga-DF. 2018.

CANHOLI, A. P.; **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CORSINI, Rodnei. Piscinões para controle de cheias: **Dimensionamento, projeto, custos e manutenção de reservatórios de contenção de enchentes em espaços públicos**. 2011. nov. 2014.

D'AVILA, Flavia Baia. **Conceitos e técnicas para assentamento humano na perspectiva da sustentabilidade**. 2008. Disponível em: <<https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/assentamentos-humanos-sustentaveis.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

DIAS, Túlio. **Nota pública: Enchentes no Rio Grande do Sul são uma tragédia anunciada**. Instituto de Estudos Socioeconômicos (INESC), 08 maio 2024. Disponível em: <https://inesc.org.br/nota-publica-enchentes-no-rio-grande-do-sul-sao-uma-tragedia-anunciada/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA_qG5BhDTARIsAA0UHSKmIn2CGmBaiSj0lv aLzzF-3n5-fDkUqdfM8a25xZpDPL91QHqDRAaAkw7EALw_wcB>. Acesso em: 05 out. 2024.

DOS SANTOS, Paulo Barreto; MAZIVIERO, Maria Corolina. **Impactos da inserção dos piscinões na escala local: o caso do Reservatório de Contenção RC5-Taboão**. *arq. urb*, n. 17, p. 22-44, 2016.

FLEMING, M. J.; SCHARFFENBER, W. A. **HEC-HMS Fact Sheet**. Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, Centro de Engenharia Hidrológica. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/factsheets/Software/HEC_FactSheet_HEC-HMS.pdf. Acesso

em: 05 out. 2024.

FIORAVANTI, Carlos. **Enchentes**: as águas encontram saídas. Projetos de recuperação de áreas verdes e da porosidade do solo amenizam o impacto das chuvas. Revista Pesquisa FAPESP 2004. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2004/09/78a83-103-pesquisa-enchent.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024

HARRELL, J.; RANJITHAN, S. R. Detention pond design and land use planning for watershed management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, vol. 129, Nº 2, p. 98-106, Março/Abril, 2003.

KORS, L. J. & BOSCH, A. D. (1995). Catchment Protection of a Multidimensional Reservoir. **J. Water SRT-Aqua**, 14(Suppl 1), 80-84.

MAIA, A. C. N. **Rio de Janeiro, Cidade Submersa**. Artigo publicado em dezembro 2013. Disponível em: <<https://riocidadesubmersa.blogspot.com>>. Acesso em: 05 out. 2024.

MORITA, Kenji. **Projects**: G-Cans Project, Kasukabe, Saitama, Área Metropolitana de Tóquio. Water Technology, 2024. Disponível em: <https://www.water-technology.net/projects/g-cans-project-tokyo-japan/>. Acesso em: 05 out. 2024.

MASSON-DELMOTTE, VALÉRIE; PÖRTNER, HANS-OTTO; SKEA, JIM; ZHAI, PANMAO; ROBERTS, DEBRA; SHUKLA, PRIYADARSHI R.; PIRANI, ANNA; PIDCOCK, ROZ; CHEN, YANG; MOUFOUMA-OKIA, WILFRAN; CONNORS, SARAH; ZHOU, XIAO; PÉAN, CLOTILDE; MATTHEWS, J. B. ROBIN; GOMIS, MELISSA I.; LONNOY, ELISABETH; MAYCOCK, TOM; TIGNOR, MELINDA; WATERFIELD, TIM. **Global warming of 1.5°C**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Suíça, out. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

MATIAS, M. G. B. Bacias de retenção: estudo de métodos de dimensionamento. Porto, 2006. **Dissertação de mestrado apresentada à Universidade do Porto**, 2006.

NAKAZONE, L. M, Implantação de Reservatórios de Detenção em Conjuntos Habitacionais: **Experiência da CDHU**, São Paulo, 2005, 287p.

OLIVEIRA, Otávio Horn. Análise da utilização de telhados verdes como alternativa para detenção pluvial em Porto Alegre. 2019.

ORTIZ, Diego Arguedas. **The underground cathedral protecting Tokyo from floods**. BBC Future, 29 nov. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/future/article/20181129-the-underground-cathedral-protecting-tokyo-from-floods>>. Acesso em: 05 out. 2024.

PIU, Marcelo. **Reservatório da Praça da Bandeira completa dez anos de operação**. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 29 dez. 2023. Disponível em: <https://prefeitura.rio/fundacao-rio-aguas/reservatorio-da-praca-da-bandeira-completa-dez-anos-de-operacao/>. Acesso em: 05 out. 2024.

PRAZERES, Leandro; MATA, João da. **As imagens do antes e depois de uma das cidades mais atingidas pelas enchentes no RS**. BBC News Brasil, 19 maio 2024. Disponível em:

[https://www.bbc.com/portuguese/articles/c3gg3xgzl3wo#:~:text=19%20de%20maio%202024&text=As%20inunda%C3%A7%C3%B5es%20que%20atingiram%20o,s%C3%A1bado%20\(25%2F5\)](https://www.bbc.com/portuguese/articles/c3gg3xgzl3wo#:~:text=19%20de%20maio%202024&text=As%20inunda%C3%A7%C3%B5es%20que%20atingiram%20o,s%C3%A1bado%20(25%2F5)). Acesso em: 05 out. 2024.

RAJAGOPAL, Aditi. **Como Copenhague virou uma "cidade-esponja" contra cheias.** Deutsche Welle, 04 mar. 2024. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/como-copenhague-se-tornou-uma-cidade-esponja-contra-cheias/a-68432832>>. Acesso em: 05 out. 2024.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. Estádio do Pacaembu, exemplo virtuoso da integração entre arquitetura e geologia. **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE)**, 11 set. 2019. Disponível em: <<https://www.abge.org.br/downloads/estadio.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

SILVA, Mariana Pereira da. **Análise de um protótipo de telhado verde como técnica compensatória em drenagem urbana.** 2018. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024357.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

SILVA, Thomas Fernandes da. **A técnica de drenagem urbana para a preservação do solo.** 2009. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/255479206>>. Acesso em: 05 out. 2024.

TUCCI, C.E.M. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora da Universidade - UFRGS, p. 15 -37, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação, 2 ed, Porto Alegre: Coleção ABRH de recursos hídricos, v 4, Editora da Universidade, 1997.

TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L. DA M. (Org.) **Avaliação e controle da drenagem.** Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000. v.1.

URBONAS, B. e STAHRÉ, P. **Storm water Best Management Practices and Detention.** Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 450 p.