



PDSRR

PROGRAMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL E
REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS - UGRHI 13

COMPÊNDIO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Programa de Drenagem Sustentável e Revitalização de Rios Urbanos



Conteúdo completo:



Realização

Financiamento



Idealização

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA



Tomador



Parceiros



instituto de
arquitetura
e urbanismo
usp são carlos

AUTOR-ENTIDADE: ASSOCIAÇÃO INSTITUTO CULTURAL JANELA ABERTA

Responsável Legal: Ana Cristina Cassiano de Campos

Forma Jurídica: Organização da Sociedade Civil - CNPJ: 10.543.559/0001-11

Endereço: Rua Treze de Maio, 3392, Vila Faria, São Carlos-SP. CEP: 13569-040

email: instituto@janelaaberta.art.br

TITULAR DA OBRA: COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ (CBH-TJ)

Av. Cap. Noray de Paula e Silva, 135 - CEP: 14.807-071 Araraquara SP

e-mail: comitetj@yahoo.com.br

Equipe do Comitê - Tietê Jacaré

Ricardo Salaro Neto Jozrael Henrique Rezende

Katia Sakihama Ventura Frederico Yuri Hanai

Érica Rodrigues Tognetti José Augusto Baucia Junior

Organizadores: Túlio Queijo de Lima; Izabella de Camargo Aversa; Gabriela Rahal de Rezende; Lucas Augusto dos Reis Beco

Autores: Maria Fernanda Nóbrega dos Santos, Renata Bovo Peres, Júlio Rodrigues de Oliveira, Renata Utsunomiya

Projeto Gráfico: Beatriz de Camargo Aversa

Diagramadores: Beatriz de Camargo Aversa, Giovana Spinelli Negro

Ilustradores: Isabela Pelatti e Júlio Rodrigues de Oliveira;

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Compêndio drenagem sustentável : programa de drenagem sustentável e revitalização de rios urbanos / Associação Instituto Cultural Janela Aberta...[et al.] ; organização Gabriela Rahal de Rezende, Túlio Queijo de Lima, Izabella de Camargo Aversa. -- São Carlos, SP : Instituto Cultural Janela Aberta, 2025.

Outros autores: Maria Fernanda Nóbrega dos Santos, Renata Bovo Peres, Júlio Rodrigues de Oliveira, Renata Utsunomiya.

Bibliografia.

ISBN 978-85-64728-13-4

1. Água - Aspectos ambientais 2. Desenvolvimento sustentável 3. Drenagem 4. Infraestrutura - Brasil 5. Recursos hídricos I. Associação Instituto Cultural Janela Aberta. II. Santos, Maria Fernanda Nóbrega dos. III. Peres, Renata Bovo. IV. Oliveira, Júlio Rodrigues de. V. Utsunomiya, Renata. VI. Rezende, Gabriela Rahal de. VII. Lima, Túlio Queijo de. VIII. Aversa, Izabella de Camargo.

25-258098

CDD-333.910981

Índices para catálogo sistemático:

1. Brasil : Recursos hídricos : Gestão 333.910981

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

Equipe Técnica PDSRR

EQUIPE INSTITUCIONAL

- **RENATA BOVO PERES** (CONSULTORA - DCAM/UFSCAR)
- **LUCIANA B. MARTINS SCHENK** (CONSULTORA - IAU/USP)
- **PAULO JOSÉ PENALVA MANCINI** (RESPONSÁVEL TÉCNICO)

BAOBÁ PROJETOS SOCIOAMBIENTAIS:

- **GABRIELA RAHAL DE REZENDE** (ENG. AMBIENTAL, ESP. GESTÃO DE PROJETOS)
- **RENATA UTSUNOMIYA** (MSC. ENGENHEIRA AMBIENTAL E ANALISTA SOCIOAMBIENTAL)
- **LUAN FELIPE FLORÊNCIO TONY** (GESTOR AMBIENTAL)
- **LUCAS TOBIAS BARBALHO** (GESTOR AMBIENTAL)
- **BÁRBARA HISSAE TOMA** (ESTAGIÁRIA EM GESTÃO AMBIENTAL)

VITA ENGENHARIA E CONSULTORIA:

- **IZABELLA DE CAMARGO AVERSA** (MSC. ENGENHEIRA AMBIENTAL)
- **TÚLIO QUEIJO DE LIMA** (DR. ENGENHEIRO AMBIENTAL)
- **ALINE DORIA DE SANTI** (MSC. GESTORA E ANALISTA AMBIENTAL)
- **GIOVANA SPINELLI NEGRO** (MSC. ENGENHEIRA AMBIENTAL)
- **FELIPE GONZALEZ** (ENG. CIVIL, ENG. URBANA)
- **BEATRIZ GARDIMAN ARRUDA** (ESTAGIÁRIA EM ENGENHARIA AMBIENTAL)
- **REBECA LONGHI SASSAKI** (ESTAGIÁRIA EM ENGENHARIA AMBIENTAL)

SOLEAR - PROJETOS SOCIOAMBIENTAIS EDUCATIVOS

- **LUCAS A. DOS REIS BECO** (ENG. AMBIENTAL, ESP. EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL)
- **AMANDA DE ALMEIDA PASSOS** (ESTAGIÁRIA EM ENGENHARIA AMBIENTAL)

CONSULTORIA TÉCNICA

- **MARIA FERNANDA NÓBREGA DOS SANTOS** (ARQUITETA URBANISTA, DR^a. ENGENHARIA URBANA - PLUVIO CONSULTORIA E PROJETO)
- **JÚLIO RODRIGUES DE OLIVEIRA** (ESTAGIÁRIO EM ARQUITETURA E URBANISMO - PLUVIO CONSULTORIA E PROJETO)
- **MONIQUE DE PAULA NEVES** (ESPECIALISTA EM CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOPROCESSAMENTO)
- **DIEGO PERUCHI TREVISAN** (ESPECIALISTA EM GEOPROCESSAMENTO E SIG)
- **JONATAN SAMPAIO** (PRODUTOR CULTURAL E ARTISTA VISUAL)

LICURI PAISAGISMO

- **CAUÊ MARTINS** - (ARQUITETO PAISAGISTA)
- **ANDRÉ GRAZIANO** (ARQUITETO PAISAGISTA)
- **MARIA CECILIA PEDRO BOM DE LIMA** (ARQUITETA PAISAGISTA)

VALLIS ENGENHARIA E AMBIENTE

- **RITA SOUSA** - (DR^a. ENGENHEIRA BIOFÍSICA)
- **JUNIOR J. DEWES** (DR. ENGENHARIA FLORESTAL)

DIAGRAMAÇÃO

- **BETEZÊ** - AGÊNCIA DE MARKETING



Sumário por Soluções

MICRORRESERVATÓRIOS (CISTERNAS)

p. 9



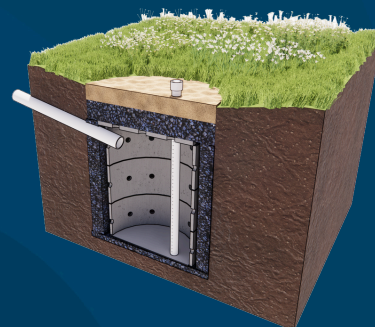
TELHADOS VERDES

p. 14



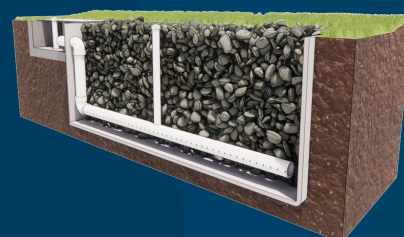
POÇOS DE INFILTRAÇÃO

p. 22



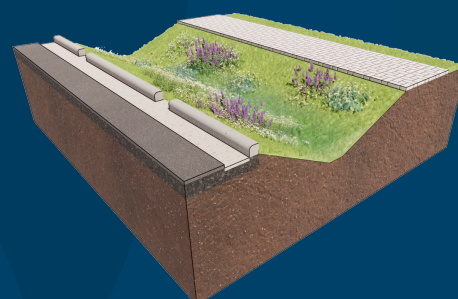
TRINCHEIRAS

p. 28



BIOVALETAS

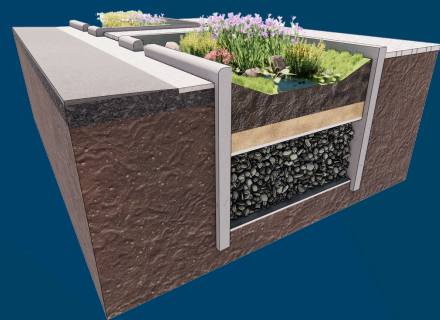
p. 34



Sumário por Soluções

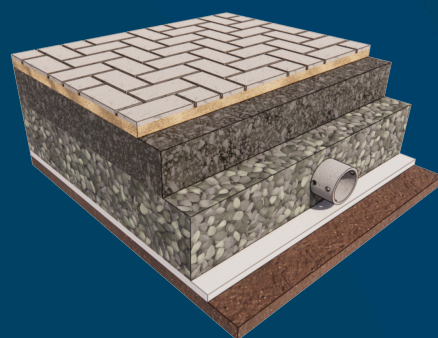
JARDINS DE CHUVA

p. 41



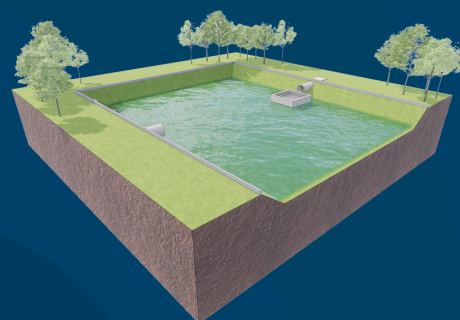
PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

p. 48



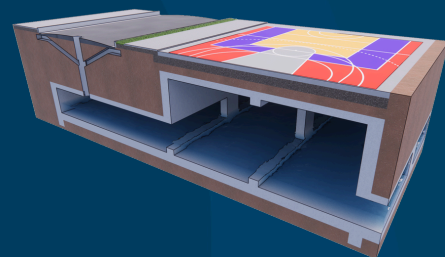
BACIAS ABERTAS (DETENÇÃO E INFILTRAÇÃO)

p. 55



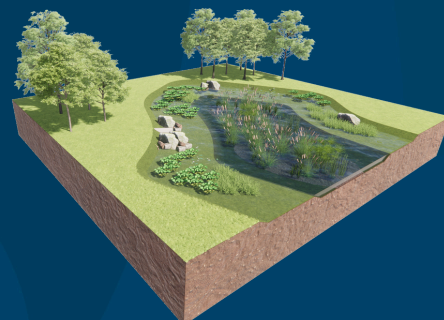
BACIAS FECHADAS (RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO)

p. 63



WETLANDS CONSTRUÍDOS

p. 67



CAPÍTULO 1

Introdução

Apresentação

Este compêndio de soluções e boas práticas em Drenagem Sustentável, foi criado pelo Programa de drenagem sustentável e revitalização de rios urbanos para a UGRHI 13 (PDSRR), uma iniciativa de demanda induzida do Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê Jacaré (CBH-TJ), que tem como objetivo contribuir para o planejamento e gestão de recursos hídricos, auxiliar o aprimoramento das solicitações de projetos de drenagem urbana e de revitalização e renaturalização de cursos d'água urbanos apresentadas ao FEHIDRO.

Esta etapa do Programa foi pensada visando fornecer bases conceituais, compilar exemplos, indicar boas práticas e apresentar diretrizes para subsidiar propostas, iniciativas, estratégias e ações inovadoras, para projetos de drenagem sustentável e de revitalização/renaturalização de córregos urbanos.

A proposta deste compêndio é apresentar uma coletânea de sistemas, modelos, técnicas, metodologias, aplicações e boas práticas em drenagem sustentável e revitalização de rios urbanos, para consulta e disponibilização aos atores interessados. Este material está integrado às demais atividades do PDSRR, dessa forma recomenda-se acessá-lo juntamente com a “Cartilha sobre Drenagem Sustentável e Renaturalização de Rios do CBH-TJ”.

Adota-se como ponto inicial para um projeto estrutural de Drenagem Sustentável e Renaturalização de Rios a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, como preconiza Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433, 1997). Este princípio básico traz a essência da mudança que o planejamento urbano e as obras de engenharia devem adotar, que é a transformação de uma visão puramente higienista e sanitaria, que está preocupada apenas com “o fim de tubo”, para um pensamento integrado e sistêmico das águas urbanas, considerando a Ecohidrologia, os Serviços Ecossistêmicos, o Sistema de Espaços Livres (SEL) e as Soluções Baseadas na Natureza (SBN).

Espera-se com isso, uma modificação do cenário atual, de grandes catástrofes geradas pelas águas pluviais, com o anúncio cada vez mais frequente, de imensos impactos sociais, econômicos, ambientais e humanos. Acredita-se que essa mudança inicia-se através de uma quebra de paradigma, com a abertura de técnicos, gestores públicos e estudantes das áreas correlatas, para novos conceitos e tecnologias, junto com a disseminação de práticas multifuncionais e sustentáveis, que possam acompanhar a rápida alteração climática que o planeta enfrenta, visando garantir a qualidade de vida das gerações atuais e futuras.

Técnicas de Drenagem e Manejo Sustentáveis das Águas Pluviais Urbanas

A drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (DMAPU) é um dos quatro componentes do saneamento básico, junto ao abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário e a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. No Brasil, os serviços de DMAPU estão estruturados de modo a contemplar as funções de drenagem, transporte, amortecimento de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais urbanas (Brasil, 2007).

De maneira geral, um dos principais objetivos deste serviço é garantir a segurança da população, reduzindo os impactos das enchentes e inundações. Entretanto, uma abordagem integrada – que considere benefícios ambientais e sociais mais amplos – avança neste sentido, tendo como preocupação adicional os impactos gerados pela população sobre a bacia, no que se refere à preservação ambiental (Tucci, 2020, p.31).

Essa abordagem mais sustentável no manejo das águas pluviais começou a ser adotada a partir da década de 1970, principalmente na Europa e América do Norte. Os sistemas alternativos à drenagem convencional, por focarem na compensação dos efeitos da urbanização, também são referidos como técnicas compensatórias para a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Baptista et al., 2015). Essas técnicas atuam realizando o armazenamento temporário e a liberação controlada das águas pluviais e, em alguns casos, também reduzem o volume do escoamento superficial, por meio da infiltração.

Uma das vantagens do emprego dessas técnicas nas cidades é a sua diversidade de formas e escalas, variando desde intervenções em pequenas parcelas, até grandes áreas. Também podem ser integradas de maneira harmoniosa à paisagem, quando aplicadas ao longo de vias, estacionamentos, áreas para prática de esportes e lazer e demais áreas verdes urbanas (como parques, praças e jardins). As técnicas compensatórias podem ser dispositivos construídos a partir de materiais como brita, alvenaria e concreto, ou podem simular o meio natural, incorporando a vegetação [ju1], dentro da perspectiva das Soluções Baseadas na Natureza (SBN), cujo conceito é apresentado em UNEA (2022).

No que se refere ao projeto e dimensionamento dos sistemas de DMAPU, Porto et al. (2020) apresentam dois níveis, micro e macrodrenagem – embora a distinção entre eles nem sempre seja clara. Em resumo, a macrodrenagem lida com fluxos maiores e mais centralizados, enquanto a microdrenagem abrange os escoamentos descentralizados e diretamente influenciados pela ocupação urbana.

Além de sua aplicação em diferentes escalas, os sistemas de DMAPU podem ser classificados de acordo com diferentes critérios, a começar pela sua função principal, como definido pela Lei Federal nº 11.455/2007 e atualizado pela Lei nº 14.026/2020: drenagem, transporte, amortecimento de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais urbanas. No que se refere ao amortecimento de cheias, podem ser elencados os dispositivos de detenção, retenção e infiltração.

Os dispositivos de detenção realizam um armazenamento temporário das águas pluviais, liberando o escoamento captado de maneira controlada, ocasionando um reajuste temporal nos hidrogramas e contribuindo com a redução da vazão de pico. Já os dispositivos de retenção, mantém as águas pluviais armazenadas por um período mais longo, favorecendo o seu tratamento. Pelo fato de o volume de armazenamento da técnica permanecer ocupado por um maior período, as técnicas de retenção possuem menor efeito na atenuação da vazão.

Por fim, os dispositivos de infiltração, além de reduzir a vazão de pico, também contribuem com a redução do volume efetivo do escoamento – por meio da infiltração, transferem o fluxo para o solo, favorecendo a recarga do lençol freático. Além disso, promovem o tratamento das águas, melhorando a sua qualidade em função dos processos físicos e biológicos que ocorrem no solo.

Uma outra classificação possível é apresentada por Baptista et al. (2015) e está diretamente relacionada com a geometria e formato das técnicas. As técnicas denominadas pontuais, são utilizadas para o controle na fonte do escoamento pluvial (o mais próximo do local onde a precipitação atinge o solo). Por serem técnicas que ocupam reduzido espaço dentro da bacia, são adaptadas à escala do lote, sendo utilizadas de maneira descentralizada. Dentre as técnicas pontuais, têm destaque os microrreservatórios individuais, telhados verdes e poços de infiltração.

Na sequência, as técnicas intituladas lineares recebem essa denominação em função de suas dimensões longitudinais que se sobressaem ao seu perfil transversal e profundidade. Nesta classificação encontram-se as trincheiras de detenção e infiltração, as biovaletas, jardins de chuva e pavimentos permeáveis. Essas técnicas também podem adaptar-se à parcela, no entanto, em função de sua geometria, são comumente aplicadas junto a calçadas, estacionamentos e demais vias de circulação. As técnicas lineares também são utilizadas de forma descentralizada na bacia, permitindo o controle na fonte e possibilitando reduzir a necessidade de redes convencionais de drenagem e transporte das águas pluviais.

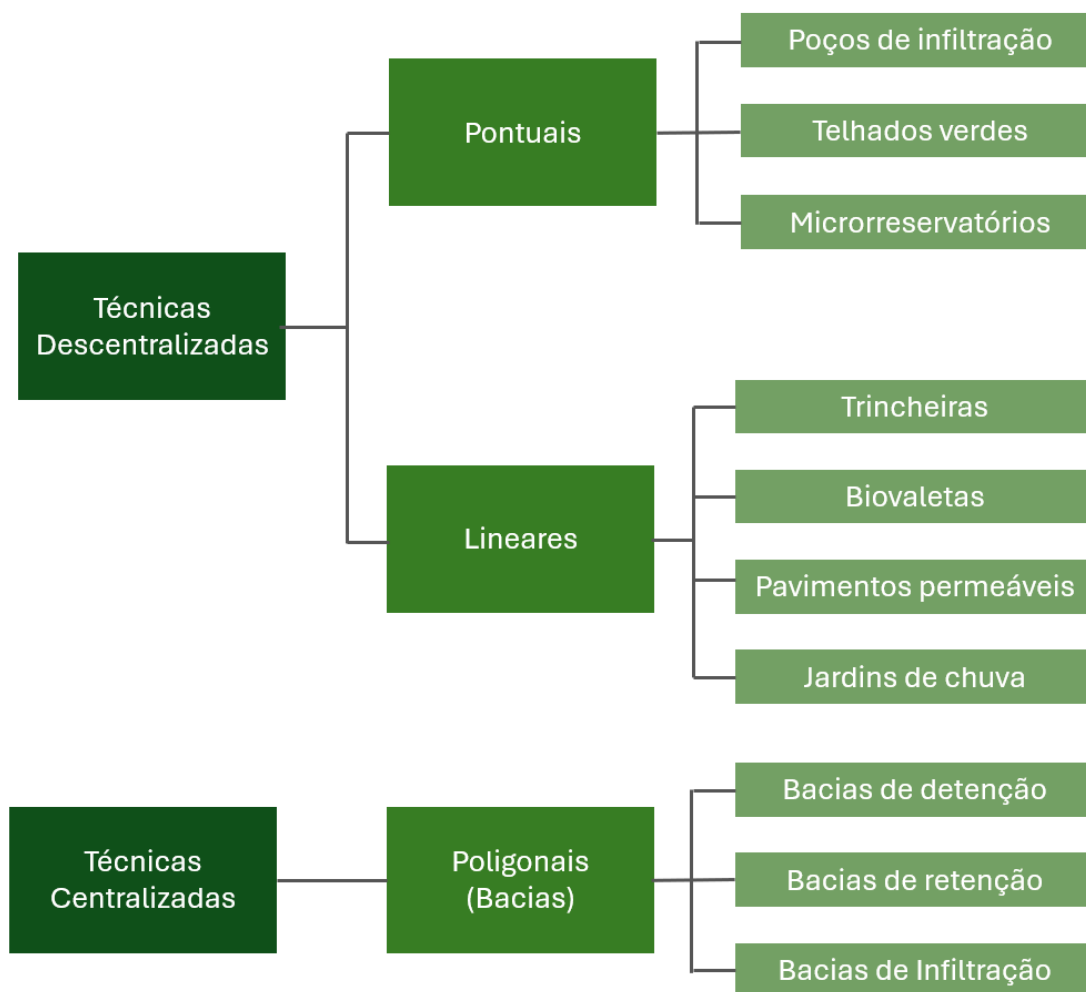
O último tipo se refere às bacias, técnicas com formato poligonal e grandes dimensões, cuja aplicação já se encontra mais consolidada nas cidades brasileiras, quando comparada às demais técnicas citadas. As bacias atuam de maneira centralizada e usualmente recebem o escoamento pluvial por meio de uma rede convencional de drenagem. No entanto, podem ser projetadas em associação à outras técnicas compensatórias com função de transporte, como as biovaletas.

As bacias podem ser divididas em bacias fechadas ou abertas e desempenham funções de detenção, retenção e infiltração. Em termos gerais, as bacias fechadas são infraestruturas construídas abaixo do solo que atuam no armazenamento temporário das águas pluviais. Estas bacias, que também são conhecidas como reservatórios de detenção, permitem que a superfície do solo permaneça livre, possibilitando usos múltiplos, como áreas de lazer, equipamentos públicos e esportivos.

Já as bacias abertas podem ser concebidas de forma integrada à paisagem, em conjunto com parques, áreas verdes e praças, por exemplo. As bacias abertas de detenção e infiltração permanecem secas a maior parte do tempo, armazenando água apenas durante os eventos de precipitação, o que também permite os usos múltiplos destes espaços.

Existem também as bacias abertas de zonas úmidas, conhecidas como alagados construídos, ou ainda, como wetlands construídos. Essas bacias possuem uma área permanente úmida, com a presença de vegetação típica. Essa técnica vem apresentando crescente utilização para o tratamento de águas residuárias, no entanto, também apresentam potencial para conferir tratamento às águas pluviais, devido a ação da vegetação e o processo de retenção, uma vez que a água permanece por mais tempo na técnica antes de sua liberação.

Para sintetizar, apresenta-se na Figura a seguir um esquema para a classificação das técnicas de drenagem e manejo sustentáveis das águas pluviais urbanas, adaptado de Baptista et al. (2015) para uso no contexto deste programa. Ressalta-se ainda, que cada uma destas técnicas é apresentada no compêndio do Programa de Drenagem Sustentável e Revitalização de Rios Urbanos (PDSRR).



Por fim, conforme abordado por Baptista et al. (2015), é válido mencionar que a aplicação dessas técnicas no contexto urbano requer uma avaliação criteriosa da sua viabilidade de implantação, observando aspectos como:

- **características urbanísticas e de infraestrutura:** disponibilidade de áreas e a articulação com a rede de drenagem e demais redes pré-existent;

- **características físicas:** condições de estabilidade e permeabilidade do solo, topografia e nível das águas subterrâneas;
- **características sanitárias e ambientais:** risco de poluição das águas, risco de ocorrência de doenças de veiculação hídrica por água parada e risco de água com sedimentos finos;
- **características socioeconômicas do local:** condições de percepção da população quanto às técnicas, possibilidade de uso inapropriado destes espaços, que venha a oferecer risco, e condições relativas à manutenção das estruturas, como é o caso das técnicas pontuais, em que geralmente as ações de manutenção ficam a cargo do proprietário.

Haja vista a sua contribuição para a atenuação dos impactos da urbanização sobre os sistemas naturais e o ciclo hidrológico, além da sua versatilidade de aplicação, com possibilidade de integração com as demais infraestruturas existentes no espaço urbano, as soluções de drenagem e manejo sustentáveis de águas pluviais são atualmente um consenso no campo da DMAPU – ainda que a variedade de termos existentes para se referir à estas técnicas não espelhe este fato. E, se ainda existem muitos desafios a serem superados para a consolidação do uso destas soluções no cenário nacional, torna-se cada vez mais importante a existência de ações capazes de fomentar a sua aplicação, como por exemplo, a seleção e disseminação de boas práticas apresentadas neste compêndio do PDSRR.

CAPÍTULO 2

Soluções

Microrreservatórios (Cisternas)



Descrição

Este sistema consiste na coleta das águas pluviais de telhados de edificações e outras superfícies pavimentadas, seguida de armazenamento em um tanque, que pode estar sobre o solo ou enterrado, para sua posterior utilização. O sistema pode incluir dispositivos de tratamento, dependendo da utilização prevista.

MICRORRESERVATÓRIOS (CISTERNAS)

Funções	Coleta e Aproveitamento
Área de Drenagem Controlada	Pequena (< 4 ha)
Controle de Vazão de Pico	É adaptado para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos) e pode ser adaptado para TR médio (< 30 anos)
Geometria	Pontual
Escala	Microdrenagem
Aplicações	Edificações residenciais, comerciais ou industriais, além de equipamentos públicos
Vantagens	Pouca necessidade de espaço para instalação
Limitações	Contribuição limitada para o controle de inundações

Considerações gerais do projeto

De modo geral, os microrreservatórios são compostos por um sistema de coleta das águas pluviais e um tanque de armazenamento. Com relação ao sistema de coleta das águas pluviais, existem três tipos:

Sistemas com uso de gravidade: A água da chuva é coletada e armazenada com elevação e não necessita de bombeamento. Pode ser armazenada logo abaixo do telhado. É importante frisar que a estrutura para o tanque de armazenamento deve suportar o peso e, nesse caso, há uma limitação na pressão da água.

Sistemas com bombeamento: A água da chuva é armazenada no subsolo e bombeada para outro tanque com elevação.

Sistemas compostos: Conciliam os dois tipos anteriores, de modo que o excedente do tanque de armazenamento por gravidade escoar para um tanque maior subterrâneo com sistema de bombeamento.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

Os microrreservatórios que possuem a função de armazenamento das águas pluviais para seu aproveitamento têm um menor potencial de contribuição para o manejo da quantidade de água, pois seu volume de armazenamento permanece ocupado na maior parte do tempo.

Deste modo, a quantidade de água armazenada pelo sistema e sua contribuição na diminuição do escoamento superficial está relacionada com o tamanho do reservatório, que depende dos seguintes parâmetros:

- Área disponível para implantação do sistema;
- Área de contribuição do escoamento para o tanque;
- Características pluviométricas do local;
- Requisitos de desempenho;
- Legislação local;
- Demanda de água não-potável da edificação;
- Regularidade da demanda.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

Para contribuir para a melhoria da qualidade da água, sistemas de tratamento podem ser implementados junto à técnica, haja vista que o escoamento de telhados e demais superfícies pode conter sedimentos, metais, entre outras cargas de poluição difusa. Além disso, materiais como zinco e chumbo podem ser liberados de alguns tipos de telhas.

Sistemas de tratamento da água podem incluir as etapas de pré-tratamento, filtração, tratamento biológico e desinfecção. Os tanques de armazenamento subterrâneos podem reduzir a demanda de tratamento, pois mantêm a água fresca. A temperatura da água está diretamente relacionada com a oxigenação e suscetibilidade ao crescimento de bactérias e algas.

É importante destacar, ainda, que o tratamento da água de chuva captada não garante a sua potabilidade, sendo indicada a utilização dessa água para fins não potáveis, tais como: descarga de sanitários, máquinas de lavar e irrigação de jardins. Sempre deve ser verificada a necessidade de tratamento adequado da água a depender do uso destinado.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Sistemas de coleta e aproveitamento de água da chuva promovem bem-estar para as pessoas por aumentar a disponibilidade de água e, de modo indireto, contribuem para a resiliência das paisagens às mudanças climáticas. Os sistemas podem, ainda, ser projetados de forma visualmente atrativa, integrados com elementos paisagísticos e combinados com atividades educativas.

Benefícios com foco na biodiversidade

Não proporciona valor direto à biodiversidade, mas atua no amortecimento das águas pluviais, o que pode impactar positivamente nas áreas à jusante do sistema.

Especificações físicas e materiais

O emprego de telas na entrada do sistema para evitar a introdução de folhas e resíduos pode funcionar como um dispositivo de pré-tratamento. Ainda, pode ser implementado um sistema de descarte da primeira água (first flush), que remove a parcela inicial do escoamento superficial, que comumente carrega a maior parte das cargas de poluição difusa, melhorando, assim, a qualidade da água armazenada.

Válvulas de controle na entrada e tubulações de saída (“ladrão”) são necessárias para conduzir o excesso de água sem causar danos à estrutura.

Tanques de armazenamento podem ser de materiais como plástico, concreto, aço, entre outros. Ao selecionar o material, deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

- Tempo de vida útil do tanque;
- Estrutura e complexidade da instalação;
- Facilidade de manutenção;
- Requisitos estéticos;
- Resistência aos efeitos corrosivos da água e aos produtos usados na manutenção;
- Resistência à flotação (quando houver).

Recomendações sobre a operação e manutenção

Para assegurar a operação confiável e sem intercorrências, é recomendado que haja manutenção periódica. Além disso, é importante lembrar que, quanto mais complexo o sistema, mais frequentes deverão ser as inspeções. Os tanques de armazenamento devem ser acessíveis para inspeção interna.

Para a escolha do tipo de reservatório, o projetista deve ter em mente que o custo de implantação da estrutura enterrada pode ser maior em comparação ao reservatório de superfície, e que a sua inspeção se torna mais difícil. Além disso, a manutenção se torna mais perigosa devido ao espaço confinado, devendo ser seguidas normas de segurança.

Sempre devem ser observados os requisitos de manutenção e a necessidade de reposição de peças, conforme recomendações do fabricante e respectiva vida útil.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência
Manutenção preventiva	Inspeção de sedimentos e resíduos nos dispositivos de pré-tratamento, bombas, filtros	Anualmente, ou quando o sistema apresentar baixa eficiência*
	Evacuação da água seguida de limpeza do tanque, dispositivos de pré-tratamento, calhas, dispositivos de saída e outros	Anualmente, ou quando o sistema apresentar baixa eficiência*
	Remoção de sedimentos e resíduos do pré-tratamento, inspeção de tubulações	Quando necessário e identificado nas inspeções*
Manutenção corretiva	Reparo de danos no reservatório	Quando necessário e identificado nas inspeções*
	Reparo nas bombas (quando houver)	Quando necessário e identificado nas inspeções*

Fonte: *WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

Telhados Verdes



Descrição

Telhados verdes são áreas vegetadas instaladas na cobertura de edificações para atender diferentes objetivos, incluindo melhoria do desempenho térmico da edificação, da qualidade visual e do valor ecológico, além de atuarem no manejo das águas pluviais, principalmente quando possuem camada de armazenamento.

Os telhados verdes podem ser classificados em extensivos (com plantas de pequeno porte e solo raso) ou intensivos (plantas de grande porte e solo profundo).

Telhado verde extensivo: Sistema que utiliza cobertura vegetal com plantas herbáceas resistentes, de crescimento lento, tolerantes à seca, de baixa manutenção (musgos, suculentas, gramas, entre outras) e preferencialmente nativas. A área pode ser plana ou inclinada e deve haver acesso para que seja realizada manutenção. São estruturas mais leves em comparação ao telhado verde intensivo.

Telhado verde intensivo (ou telhados jardins): Sistema mais complexo que o anterior e, portanto, com maior valor para a biodiversidade e mais benefícios para o bem-estar humano. Podem ser projetados para contemplar uma maior variedade de plantas, incluindo arbustos e árvores de pequeno porte e, para tanto, requerem um solo mais profundo. O telhado precisa ser acessível em função da maior necessidade de manutenção. Além disso, também é possível incorporar espaços de convivência no projeto, permitindo o acesso público, logo, é necessária uma estrutura mais robusta.

TELHADO VERDE

Funções	Amortecimento (Detenção)
Área de Drenagem Controlada	Pequena (< 4 ha)
Controle de Vazão de Pico	É adaptado para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos) e pode ser adaptado para TR médio (< 30 anos)
Geometria	Pontual
Escala	Microdrenagem
Aplicações	Edificações residenciais, comerciais ou industriais, além de equipamentos públicos
Vantagens	Possibilidade de aplicação em áreas de alta densidade, pois ocupa a cobertura da edificação; Redução da temperatura interna das edificações; Criação e provisão de habitats; Auxílio no combate ao efeito de ilha de calor e contribuição para a melhoria da qualidade do ar
Limitações	É necessário avaliar a viabilidade de implantação em edificações construídas, sendo mais comum sua incorporação em novas edificações, devido a requisitos estruturais e cuidados com a impermeabilização

Considerações gerais do projeto

É importante que alguns aspectos sejam observados para o adequado projeto desses sistemas:

- Requisitos de desempenho para o manejo do escoamento superficial;
- Requisitos de acessibilidade;
- Objetivos de biodiversidade;
- Objetivos estéticos, de bem-estar e qualidade visual desejada;
- Peso saturado do sistema e a capacidade de carga da estrutura do telhado e da edificação;
- Integração do telhado verde com outros equipamentos (ex.: coleta de águas pluviais, painéis solares, etc.);
- Resistência a ventos fortes e ascendentes.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

Ainda que o telhado verde proporcione benefícios para o amortecimento da vazão de pico dos eventos de chuva frequentes, tem menor efeito para os eventos de chuva intensos e prolongados. Uma vez saturado o solo, o escoamento das águas no telhado verde ocorre de forma similar ao telhado convencional, sendo necessário prever como será drenado o seu excedente. Ainda assim, o desenho do projeto deve considerar esses eventos de chuva intensos para garantir segurança e proteção das pessoas e da edificação.

O projeto hidráulico deve considerar dois aspectos fundamentais:

- A performance do telhado verde ao longo do ano, com foco na redução do volume (por meio da interceptação pela vegetação) e amortecimento da vazão de pico (por meio da retenção na camada de armazenamento) para a maioria dos eventos de chuva frequentes;
- Como o telhado verde se comportará em eventos de chuva intensos e como será drenado o seu excedente com segurança.

A quantidade de água manejada pelo sistema se dá em função do tipo e de espessura do solo, do gradiente de raízes, e, principalmente, do volume disponível na camada de armazenamento.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

No solo e na zona de absorção das raízes, ocorre uma série de processos físicos, biológicos e químicos que filtram as cargas de poluição difusa e promovem a melhoria da qualidade da água a ser encaminhada ao sistema de drenagem local e, em última análise, aos corpos d'água receptores. Além disso, o risco de contaminação das águas pluviais é potencialmente reduzido em comparação com os telhados convencionais, haja vista que não ocorre a liberação de possíveis materiais contaminantes das superfícies do telhado verde.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Quando acessíveis ou visíveis, os telhados verdes podem proporcionar uma melhoria da paisagem para a comunidade próxima, a partir da variedade de plantas e habitats, criando um ambiente mais colorido, esteticamente agradável e natural, especialmente em áreas urbanas adensadas. Dentre os benefícios para o bem-estar humano, gerados a partir da utilização de telhados verdes, também destacam-se: a melhoria da eficiência térmica e acústica da edificação, a melhoria da qualidade do ar e a valorização financeira do imóvel ou empreendimento.

Benefícios com foco na biodiversidade

Telhados verdes também podem ser projetados de forma a contribuir com a biodiversidade, provendo habitats para diferentes espécies no ambiente urbano. Quando utilizados em grande escala podem possibilitar a criação de redes e corredores, conectando fragmentos de áreas verdes e funcionando como “trampolins” para a fauna, mesmo em áreas densamente ocupadas.

Especificações físicas e materiais

A estrutura de suporte do telhado verde varia conforme especificações de projeto e, portanto, requer profissionais especializados. Alguns aspectos importantes para o seu dimensionamento incluem: o peso do solo saturado de água, dos equipamentos e equipe de manutenção; e eventual quantidade de visitantes (no caso de telhados abertos à visitação).

Do mesmo modo, a inclinação do telhado verde possui variações conforme o projeto e, nos casos de maior inclinação, é necessário o uso de dispositivos para fixar o substrato das plantas. É importante considerar, ainda, o risco de incêndios nos telhados verdes, principalmente na época de seca, prevendo o uso de materiais não combustíveis e que não contribuem para a propagação do fogo, tais como pavimentos cerâmicos e pedras naturais, sobretudo nas entradas do sistema.

Quando utilizados para a cobertura de edifícios altos, também existem riscos associados à velocidade dos ventos ascendentes, de modo que podem ser previstas barreiras para a proteção dos telhados verdes, como parapeitos e platibandas.

Além da estrutura de suporte, o telhado verde é composto de diferentes camadas, sendo as principais:

- **Camada de impermeabilização:** Essa é uma camada fundamental para o bom funcionamento do sistema e deve ser bem executada para evitar problemas de infiltração e umidade no interior da edificação. No Brasil, os aspectos técnicos relacionados à impermeabilização são abordados pela norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9575:2010. Desse modo, recomenda-se a sua consulta para garantir a qualidade de execução desse componente do sistema.
- **Camada anti-raízes:** Dependendo do tipo de camada de impermeabilização utilizada, também pode ser necessária uma camada de proteção adicional contra as raízes, que seja resistente aos esforços decorrentes do crescimento da vegetação (ex: membranas betuminosas ou de PVC).
- **Camada de drenagem:** O objetivo dessa camada é possibilitar a passagem das águas pluviais que infiltraram através do substrato. Para tanto, a camada de drenagem deve ser porosa e pode ser executada em diversos materiais, como argila expandida, pedregulhos, cascalho ou até elementos pré-fabricados, de forma a garantir que existam vazios para a acomodação da água. No caso dos telhados verdes armazenadores, essa camada também possui a função de

detenção temporária das águas pluviais, e deve ser dimensionada para atender os requisitos de desempenho do projeto.

- **Camada de filtragem:** Para essa camada, são utilizadas mantas geotêxteis, pois possuem a função filtrante, retraindo partículas finas do substrato que poderiam vir a preencher os vazios da camada de drenagem e comprometer o funcionamento do sistema.
- **Camada de solo ou substrato:** Essa camada é necessária para prover os nutrientes que dão suporte à vegetação selecionada para o projeto, sendo geralmente composta de uma mistura de argila, silte, areia, materiais orgânicos e minerais. A profundidade dessa camada está diretamente relacionada com o desenvolvimento da vegetação: quanto maior a profundidade, maior o porte da vegetação que pode ser utilizada.
- **Camada de vegetação:** A escolha das espécies de plantas para o telhado verde varia conforme o tipo de telhado (intensivo ou extensivo) e a possibilidade de manutenção. Os telhados verdes intensivos, pelo fato de serem espaços acessíveis, permitem uma maior variedade de espécies, com portes diversos, atentando-se ao valor estético. No caso dos telhados verdes extensivos, a escolha da vegetação deve privilegiar espécies mais resistentes, que exigem menor manutenção e rega. De maneira geral, é necessário atentar-se às condições climáticas do local de implantação (regime de chuvas e condições de insolação e dos ventos) para a seleção das espécies adequadas, dando preferência à vegetação nativa.

Recomendações sobre a operação e manutenção

As atividades de operação e manutenção dos telhados verdes dependem do tipo e vegetação escolhidos. Telhados verdes extensivos demandam menor frequência de manutenção, com visitas anuais ou bianuais para remover resíduos e plantas invasoras e checar o funcionamento de drenos e dispositivos de proteção a incêndios. Já os telhados verdes do tipo intensivo, além das atividades citadas anteriormente, requerem maior cuidado no manejo da vegetação. Quando existe o uso de gramados, por exemplo, pode ser necessário corte semanal, sobretudo nos períodos de chuva, enquanto flores podem demandar poda anual.

No primeiro ano após a construção do telhado verde, há maior necessidade de inspeção até o crescimento e estabelecimento da vegetação. Também são necessárias vistorias após eventos de chuva intensos para checar se houve danos ao sistema.

É muito importante que os proprietários ou zeladores destas áreas, recebam orientação adequada sobre as atividades de manutenção dos telhados verdes, de forma a garantir o cumprimento das normas de segurança.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

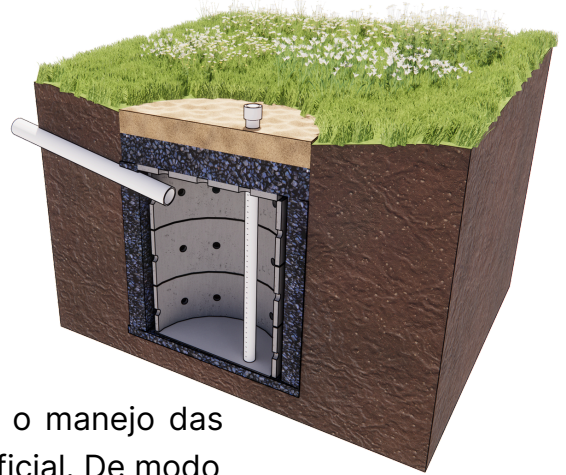
Manutenção	Ação	Frequência
Manutenção preventiva	Inspeção de todos componentes incluindo substrato, vegetação, drenos, sistemas de irrigação (quando existentes), membranas e estrutura do telhado	Semanalmente e após chuvas intensas**
	Inspeção da integridade da impermeabilização e verificação de ocorrência de infiltração dentro da edificação	Semanalmente e após chuvas intensas*
	Manejo da vegetação, incluindo o corte de grama, poda de arbustos e árvores	Semestralmente ou quando necessário (a depender dos requisitos da espécie)*
	Remoção de resíduos e plantas invasoras	Semestralmente ou quando necessário*

Manutenção corretiva	Reposição de substrato (para a estabilização de processos erosivos) e demais componentes	Quando necessário e identificado nas inspeções*
	Correção e reparos no sistema de impermeabilização	Quando necessário e identificado nas inspeções*
	Substituição de plantas mortas	Quando necessário e identificado nas inspeções*

Fonte: *WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. et al. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2a. ed.

Poços de Infiltração



Descrição

Os poços de infiltração são técnicas pontuais para o manejo das águas pluviais que ocupam uma pequena área superficial. De modo geral, consistem em escavações no solo, que podem ou não ser preenchidas com material granular (brita, seixos, etc.). Os poços de infiltração contribuem para o amortecimento da vazão de pico através do armazenamento temporário das águas pluviais e, por serem técnicas de infiltração, também atuam na redução do volume do escoamento.

POÇO DE INFILTRAÇÃO

Funções	Amortecimento (Infiltração)
Área de Drenagem Controlada	Pequena (< 4 ha)
Controle de Vazão de Pico	É adaptado para tempo de retorno (TR) pequeno (<5 anos) e pode ser adaptado para TR médio (<30 anos)
Geometria	Pontual
Escala	Microdrenagem
Aplicações	Adjacente a residências e outras edificações Áreas verdes e espaços livres

<p>Vantagens</p>	<p>Possui facilidade de integração no espaço urbano, devido à pequena área superficial que ocupa.</p> <p>Por ser uma técnica profunda, pode ser implantada em áreas onde a camada superficial do solo é pouco permeável, desde que as camadas inferiores tenham boa permeabilidade.</p>
<p>Limitações</p>	<p>É necessário avaliar o risco de contaminação do lençol freático, verificando a permeabilidade do solo e a qualidade das águas a serem infiltradas.</p>

Considerações gerais de projeto

Na análise de viabilidade de implantação dos poços de infiltração, alguns fatores devem ser observados:

- As condições de permeabilidade do solo local, uma vez que solos muito permeáveis aumentam o risco de poluição das águas subterrâneas, enquanto solos pouco permeáveis comprometem o bom funcionamento da técnica;
- A conservação de uma distância segura entre o fundo da estrutura e o nível mais alto do lençol freático, para que não haja risco de contaminação. Como recomendação geral, uma camada mínima de 1 metro de solo não saturado é suficiente para garantir uma adequada filtração do escoamento;
- A profundidade de leito rochoso ou solo argiloso, que pode vir a tornar-se uma barreira para a infiltração das águas pluviais;
- A conservação de uma distância segura de áreas construídas proporcional à profundidade do poço, a fim de evitar danos às fundações estruturais;
- A área de contribuição da técnica, que não deve ter superfícies com grande potencial de desprendimento de sedimentos, sobretudo sedimentos finos, a fim de evitar o risco de colmatção do sistema;
- A proximidade de árvores, devido ao risco de problemas com raízes e folhas caídas, que possam vir a comprometer o funcionamento do sistema;
- A existência de redes de infraestrutura enterradas, para que não existam conflitos, haja vista a profundidade da técnica.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

Os poços de infiltração atuam reduzindo a vazão de pico, devido ao armazenamento temporário do escoamento, e, por infiltrar as águas pluviais, também contribuem com a redução de volume à jusante. Dessa forma, a contribuição da técnica para o manejo da quantidade de água dependerá do projeto, do volume de armazenamento temporário e da capacidade de infiltração do solo local.

É válido ressaltar que os poços de infiltração preenchidos com material granular possuem menor capacidade de armazenamento quando comparados com os poços não preenchidos.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

Os poços são técnicas mais profundas e, portanto, cuidados referentes à possibilidade de contaminação do lençol freático devem ser mais rigorosos. Recomenda-se observar a qualidade das águas infiltradas e a necessidade de dispositivos adicionais de pré-tratamento, como faixas gramadas, com o objetivo de reter resíduos sólidos e sedimentos antes da entrada da água no sistema.

Ainda assim, é importante lembrar que o processo de infiltração, de forma geral, confere melhoria na qualidade das águas pluviais, uma vez que os diversos processos físicos e/ou biológicos que ocorrerem no solo podem contribuir para a remoção de poluentes das águas.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Poços de infiltração não desempenham benefícios diretos para o bem-estar humano, no entanto, por sua pequena ocupação superficial, esta técnica pode ser facilmente integrada na paisagem e aplicada em espaços de lazer e contemplação. Além disso, contribuem de modo indireto para a resiliência das paisagens às mudanças climáticas e podem ser combinados com atividades educativas.

Benefícios com foco na biodiversidade

Não proporciona valor direto à biodiversidade, mas atua no amortecimento das águas pluviais, o que pode impactar positivamente nas áreas à jusante do sistema.

Especificações físicas e materiais

Os poços de infiltração podem apresentar variadas composições e materiais. Entretanto, possuem uma configuração típica composta pelas seguintes camadas e elementos:

- **Camada de armazenamento:** Essa camada tem a função de realizar o armazenamento temporário das águas pluviais antes da sua infiltração no solo. Pode ser preenchida com material granular, sendo que, nesse caso, o volume de armazenamento da técnica é definido pelos vazios do material. Recomenda-se um envelopamento da estrutura com manta geotêxtil, para impedir a passagem de sedimentos finos que podem vir a colmatar o sistema. Uma segunda opção é que essa camada seja executada sem preenchimento, podendo ser utilizados concreto poroso, manilhas de concreto perfuradas, tijolos com aberturas e demais materiais que permitam a passagem da água armazenada para o solo, funcionando de maneira autoportante.
- **Camada de filtragem:** É uma camada posicionada acima da camada de armazenamento, e possui a função de reter sedimentos. Pode ser composta por manta geotêxtil na parte superior do poço e uma camada de areia grossa.
- **Extravasador:** Esse elemento atua de forma emergencial, quando o poço supera a sua capacidade de armazenamento temporário, extravasando o excesso de água para a rede de drenagem convencional, ou, na existência de poços implantados em série, direcionando para outro poço.
- **Entrada das águas pluviais no sistema:** As águas pluviais podem ser direcionadas para a técnica diretamente pelo escoamento superficial (modo difuso) ou por meio de uma rede de drenagem (modo localizado). No último caso, o poço recebe águas provenientes de outras estruturas (ex. telhados) não necessariamente anexas à técnica.

Quando a introdução das águas pluviais no poço de infiltração acontece por meio do escoamento superficial, a inclinação das superfícies deve ser direcionada ao poço. Nesse caso, a instalação de uma camada de areia e/ou manta geotêxtil acima da camada de armazenamento é importante para uma adequada filtração da água.

Caso a água seja captada e direcionada ao sistema por meio de condutores, dispositivos para filtração a montante devem ser considerados para reter sólidos em suspensão, impedindo a poluição de águas subterrâneas e a colmatação do sistema.

Recomendações sobre a operação e manutenção

Quando implantados em parcela privada, a manutenção dos dispositivos deve ficar a cargo do proprietário, enquanto a manutenção de dispositivos implantados em áreas públicas é de responsabilidade da gestão pública.

Manutenções regulares e preventivas devem ser realizadas por meio da limpeza de dispositivos filtrantes e câmaras de decantação, além da troca periódica da manta geotêxtil que protege a parte superior dos poços (quando houver).

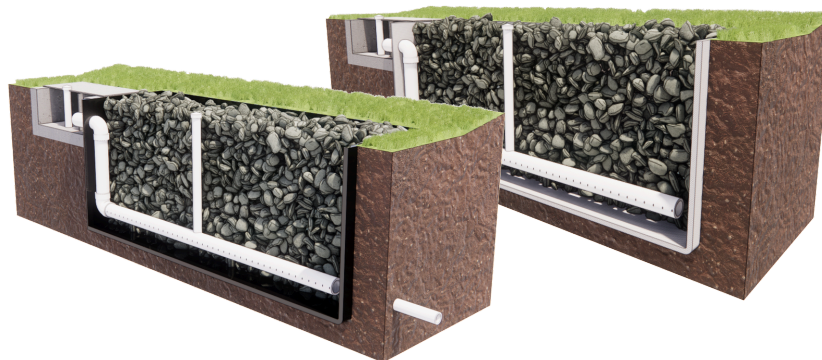
A presença de água parada por mais de 24h após um evento de chuva e o frequente transbordamento da estrutura indicam a necessidade de manutenção corretiva, com limpeza e troca dos materiais empregados.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência
Manutenção preventiva	Inspeção da técnica e dos dispositivos de pré-tratamento (quando houver), observando a ocorrência de sedimentos e resíduos sólidos	No mínimo duas vezes ao ano**
	Remoção de sedimentos e resíduos sólidos	Quando necessário e identificado nas inspeções**
Manutenção corretiva	Limpeza do sistema e reconstrução com substituição de materiais (sobretudo materiais de preenchimento e geotêxteis)	Quando necessário (Sistema apresentando problemas de funcionamento)**
	Bombeamento de água parada no poço	Quando necessário (Sistema apresentando problemas de funcionamento)**

Fonte: **BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. et al. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2a. ed.

Trincheiras



Descrição

As trincheiras são técnicas lineares que consistem em escavações preenchidas com material granular, geralmente com profundidade e largura reduzidas em comparação ao seu comprimento. Em função da sua geometria, são bastante empregadas ao longo do sistema viário.

As trincheiras podem ser de infiltração ou retenção. Nas trincheiras de infiltração, ocorre a atenuação da vazão de pico devido ao armazenamento temporário das águas pluviais, além da redução do seu volume, por meio da infiltração. Quando a infiltração não é recomendada, por diversos motivos, é possível o uso de trincheiras de retenção que, após o armazenamento temporário, descarregam as águas pluviais no sistema convencional de drenagem ou no meio natural por meio de dispositivos de controle de vazão.

TRINCHEIRAS

Funções	Amortecimento (Infiltração ou Detenção)
Área de Drenagem Controlada	Pequena (< 4 ha)
Controle de Vazão de Pico	É adaptado para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos) e pode ser adaptado para TR médio (< 30 anos)
Geometria	Linear
Escala	Microdrenagem
Aplicações	Adjacente a residências e outras edificações Sistema viário, áreas verdes e espaços livres

Vantagens	Técnicas de execução simples e amplamente difundidas, com versatilidade de aplicação
Limitações	Restrições de implantação em áreas com declividade acentuada

Considerações gerais de projeto:

No caso das trincheiras de infiltração, alguns aspectos devem ser observados no estudo de viabilidade:

- As condições de permeabilidade do solo local, uma vez que solos muito permeáveis aumentam o risco de poluição das águas subterrâneas, enquanto solos pouco permeáveis comprometem o bom funcionamento da técnica;
- A conservação de uma distância segura entre o fundo da estrutura e o nível mais alto do lençol freático, para reduzir risco de contaminação. Como recomendação geral, uma camada mínima de 1 metro de solo não saturado é indicada;
- A profundidade de leito rochoso ou solo argiloso, que pode vir a tornar-se uma barreira para a infiltração das águas pluviais;
- A área de contribuição da técnica, que não deve ter superfícies com grande potencial de desprendimento de sedimentos, sobretudo sedimentos finos, a fim de evitar o risco de colmatção do sistema;
- A proximidade de árvores, devido ao risco de problemas com raízes e folhas caídas, que podem comprometer o funcionamento do sistema.

Com relação às trincheiras de retenção, a principal limitação para seu uso é a questão da declividade da área. Contudo, ainda que as trincheiras (tanto de retenção, quanto de infiltração) usualmente não sejam recomendadas para áreas de maior declividade, este fator não impede o seu uso, uma vez que barreiras e divisórias podem ser instaladas para aumentar o volume útil de armazenamento.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

As trincheiras são técnicas recomendadas para o manejo das chuvas frequentes. Como toda técnica que possui preenchimento, a sua contribuição para o manejo da quantidade de água dependerá, além do projeto, do índice de vazios do material de preenchimento e da capacidade de infiltração do solo local. Como mencionado anteriormente, quando há alta declividade no sentido longitudinal da trincheira, o seu volume útil de armazenamento é reduzido, comprometendo o seu desempenho.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

As trincheiras podem propiciar melhoria na qualidade das águas pluviais, reduzindo os sólidos em suspensão, metais, hidrocarbonetos e outros poluentes, seja por filtração na camada de geotêxtil ou por adsorção dos poluentes no material granular, que funciona como filtro. Para potencializar esses benefícios, dispositivos adicionais de pré-tratamento, como as faixas gramadas, podem ser combinados para melhorar a qualidade da água que chega ao sistema.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Trincheiras de infiltração e retenção não desempenham benefícios diretos para o bem-estar humano, no entanto, por sua versatilidade de aplicação, podem ser integradas harmoniosamente na paisagem e aplicadas em canteiros centrais, ao longo do sistema viário, estacionamentos e jardins. Além disso, de modo indireto, contribuem para a resiliência das paisagens às mudanças climáticas e podem ser combinadas com atividades educativas.

Benefícios com foco na biodiversidade

Não proporciona valor direto à biodiversidade, mas atua no amortecimento das águas pluviais, o que pode impactar positivamente nas áreas à jusante do sistema.

Especificações físicas e materiais

As trincheiras apresentam a seguinte configuração típica:

- **Camada de armazenamento:** Essa camada tem a função de realizar o armazenamento temporário das águas pluviais antes da sua infiltração no solo (no caso das trincheiras de infiltração) ou liberação controlada (trincheiras de retenção). É preenchida com material granular graúdo, sendo comumente utilizadas pedras-de-mão, seixos ou brita. O volume de armazenamento da técnica é definido pelo índice de vazios do material.

Nas trincheiras de infiltração, recomenda-se a aplicação de manta geotêxtil na base e nas laterais da técnica, com a finalidade de evitar a colmatação. Já nas trincheiras de retenção, deve-se prever um revestimento impermeável, que impeça a infiltração das águas pluviais no solo.

- **Camada de filtragem:** É uma camada posicionada acima da camada de armazenamento, e possui a função de reter sedimentos. Pode ser composta por manta geotêxtil na parte superior e uma camada de areia grossa.
- **Dispositivo de saída controlada:** Nas trincheiras de retenção, é necessária a instalação de um dispositivo que opere liberando o escoamento de forma controlada, permitindo a atenuação da vazão de pico.
- **Extravasador:** Esse elemento atua de forma emergencial quando as trincheiras superam a sua capacidade de armazenamento temporário, podendo escoar o excesso de água para a rede de drenagem convencional, ou para uma outra técnica associada.
- **Entrada das águas pluviais no sistema:** As águas pluviais podem ser direcionadas para a técnica de duas maneiras: diretamente pelo escoamento superficial (modo distribuído) ou por meio de uma rede de drenagem (modo localizado). No último caso, as trincheiras também podem receber as águas pluviais provenientes de outras estruturas (ex. telhados), não necessariamente anexas à técnica.

Quando a introdução das águas pluviais nas trincheiras acontece de modo distribuído, a inclinação das superfícies deve ser direcionada de maneira perpendicular ao seu comprimento. Nesse caso, a instalação de uma camada de areia e de manta geotêxtil acima da camada de armazenamento é importante para uma adequada filtração da água.

Caso a água seja captada e direcionada ao sistema por meio de condutores, alguns dispositivos para filtragem a montante devem ser considerados para reter sólidos em suspensão (em virtude da possibilidade de poluição de água subterrâneas e de colmatação do sistema), como grades com cestos ou poço de visita com divisória sifonada.

- **Fechamento superficial (opcional):** Existe a possibilidade de fechamento da superfície das trincheiras com materiais como ladrilhos ou blocos porosos, pavimentos drenantes, grama e inclusive um fechamento superficial impermeável, sendo que, nesse caso, a entrada de água na estrutura ocorre de modo localizado.

Também pode haver a instalação de drenos difusores, executados com tubos de PVC perfurados, que permitem uma melhor distribuição da água no corpo da trincheira. No caso das trincheiras de retenção, também deve ser previsto dreno de evacuação com poço de visita na saída do sistema, antes do exutório.

Recomendações sobre a operação e manutenção

A manutenção das trincheiras deve ser realizada de forma regular, prevenindo problemas em seu funcionamento, ligados principalmente à colmatação. A manutenção preventiva concentra-se nas ações de limpeza dos filtros e dispositivos de saída, além da conservação das áreas verdes do entorno.

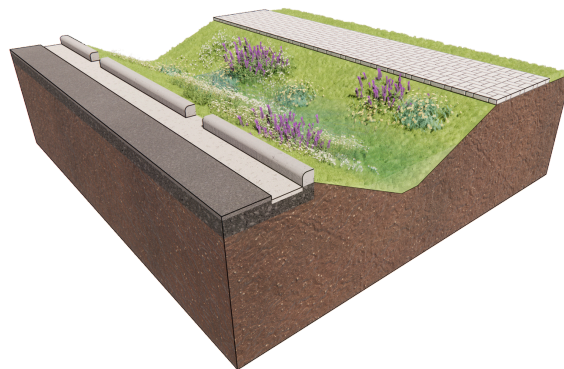
Já a manutenção corretiva, é realizada ao ser observado funcionamento inadequado da técnica, com frequentes transbordamentos, e pode consistir na limpeza e/ou substituição dos componentes da técnica. Além disso, por serem técnicas comumente empregadas ao longo de vias, há maior risco de poluição acidental (como o derramamento de combustível de automóveis). No caso das trincheiras de infiltração, é essencial efetuar rápida ação corretiva com o bombeamento das águas poluídas da técnica.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência
Manutenção preventiva	Inspeção da técnica e dos dispositivos de pré-tratamento (quando houver)	No mínimo duas vezes ao ano**
	Remoção de sedimentos e resíduos sólidos	Quando necessário e identificado nas inspeções**
Manutenção corretiva	Limpeza do sistema e reconstrução com substituição de materiais (sobretudo materiais de preenchimento e geotêxteis)	Quando necessário (Sistema apresentando problemas de funcionamento)**
	Rápido bombeamento das águas, em caso de poluição acidental do escoamento no sistema	Quando necessário**

Fonte: ** BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. et al.. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2.a ed.

Biovaletas



Descrição

As biovaletas (do inglês bioswales), ou valas de infiltração, podem ser definidas como canais abertos, rasos e com a presença de vegetação. Por ser uma técnica linear, é comumente empregada ao longo das vias de circulação, estradas, caminhos e estacionamentos para o transporte das águas pluviais.

BIOVALETAS

Funções	Transporte e Amortecimento (Infiltração)
Área de Drenagem Controlada	Pequena (< 4 ha) e Média (4 a 16 ha)
Controle de Vazão de Pico	Técnica que pode ser adaptada para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos) e pode ser adaptada para TR médio (< 30 anos)
Geometria	Linear
Escala	Microdrenagem
Aplicações	Sistema viário, áreas verdes e espaços livres
Vantagens	Baixo custo e facilidade de implantação e manutenção
Limitações	Restrições de implantação em áreas com declividade acentuada

Considerações gerais de projeto

As biovaletas podem ser consideradas uma alternativa mais sustentável para a condução das águas pluviais, substituindo as valas convencionais. O diferencial é que as biovaletas também atuam no amortecimento das águas pluviais. Pelo fato destes dispositivos possibilitarem a infiltração, alguns aspectos devem ser considerados no seu estudo de viabilidade:

- As condições de permeabilidade do solo local, uma vez que solos muito permeáveis aumentam o risco de poluição das águas subterrâneas, enquanto solos pouco permeáveis comprometem o bom funcionamento da técnica;
- A conservação de uma distância segura entre o fundo da estrutura e o nível mais alto do lençol freático, para reduzir o risco de contaminação. Como recomendação geral, uma camada mínima de 1 metro de solo não saturado é indicada;
- A profundidade de leito rochoso ou solo argiloso, que pode vir a tornar-se uma barreira para a infiltração das águas pluviais;
- A área de contribuição da técnica, que não deve ter superfícies com grande potencial de desprendimento de sedimentos, sobretudo sedimentos finos, a fim de evitar o risco de colmatção do sistema.

De modo geral, não é recomendado o uso de técnicas lineares (como as biovaletas) em locais de grande declividade. Porém, essa condicionante não impede o seu uso, uma vez que barreiras divisórias podem ser instaladas para aumentar a capacidade de armazenamento e infiltração da técnica. Além disso, essa medida pode aumentar o potencial de tratamento por deposição de sedimentos e evitar a formação de processos erosivos na estrutura, uma vez que reduz a velocidade do escoamento.

Um outro aspecto importante a ser considerado é a proximidade da técnica em relação a construções existentes, como edificações ou vias, que pode incorrer em riscos à estruturas, sendo recomendada a implantação de uma parede impermeável entre a biovaleta e a construção.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

As biovaletas atuam reduzindo a vazão de pico, devido ao armazenamento temporário do escoamento e, por infiltrar as águas pluviais, também atuam na redução de volume à jusante. Dessa forma, a contribuição da técnica para o manejo da quantidade de água dependerá do projeto, volume de armazenamento temporário e capacidade de infiltração do solo local.

Esses dispositivos são projetados para manejar as chuvas frequentes, mas também é importante que a estrutura suporte o transporte do excesso de água nos eventos de chuva intensos. Também é necessário que a técnica seja dimensionada para que ocorra o seu esvaziamento em até 24h, tanto para assegurar um volume disponível de armazenamento para os próximos eventos de chuva, quanto por questões de saúde pública, para evitar a criação de focos de doenças de veiculação hídrica.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

O processo de infiltração, de forma geral, confere melhoria na qualidade das águas pluviais, uma vez que os diversos processos físicos e/ou biológicos que ocorrem no solo podem contribuir para a remoção de poluentes das águas. Além disso, a utilização de vegetação na técnica potencializa esses benefícios.

Outro aspecto que influencia na qualidade das águas pluviais refere-se ao modo pelo qual as águas pluviais são encaminhadas para o sistema. Como recomendação geral, quando o encaminhamento ocorre de forma distribuída (longitudinalmente à técnica), é fundamental manter faixas gramadas nas laterais das biovaletas, que atuam como filtros de sedimentos e realizam um pré-tratamento.

Benefícios com foco no bem-estar humano

As biovaletas podem ser projetadas de forma esteticamente agradável e integrada à paisagem, ao longo de vias de pedestres, estacionamentos ou estradas. O projeto deve considerar orientação, escala, forma e proximidade com outros componentes da paisagem. Em espaços livres, podem ter uma aparência mais natural com curvas suaves. Já em paisagens adensadas, um traçado linear pode ser mais apropriado. O projeto também deve sempre buscar contribuir para o bem-estar das pessoas, incluindo a escolha cuidadosa da vegetação empregada na técnica.

Por serem dispositivos rasos, as biovaletas dificilmente oferecem risco à segurança da população, no entanto, barreiras físicas podem ser necessárias a depender da profundidade da técnica.

Benefícios com foco na biodiversidade

No que se refere a vegetação, as biovaletas costumam ser revestidas com grama, mas outras espécies, principalmente forrações nativas, podem ser incorporadas em áreas de menor manutenção, para criar um habitat propício para espécies locais e potencializar a biodiversidade no meio urbano.

Especificações físicas e materiais

O formato típico das biovaletas é largo e raso, com a seção transversal em formato trapezoidal, devido à facilidade de construção e manutenção, além de ter boa performance hidráulica. Ainda que existam diferentes configurações, as biovaletas são tipicamente compostas das seguintes camadas e elementos:

- **Camada de armazenamento:** Enquanto o volume de armazenamento de técnicas preenchidas é calculado a partir dos vazios do material aplicado, nas biovaletas essa camada é basicamente composta do volume escavado.
- **Camada de solo ou substrato:** Esta camada é necessária para prover os nutrientes que dão suporte a vegetação selecionada para o projeto, sendo geralmente composta de uma mistura de argila, silte, areia, materiais orgânicos e minerais.

- **Camada de vegetação:** A vegetação das biovaletas geralmente é composta por grama, que possui raízes que estruturam o solo ou uma cobertura mais densa para melhorar a infiltração, reter e filtrar poluentes e sedimentos. Outras plantas herbáceas podem ser incorporadas, mas devem ser posicionadas, preferencialmente, em áreas de menor manutenção, evitando o fundo da técnica. Não é recomendado o plantio de árvores e arbustos em locais que dificultem as ações de manutenção na biovaleta, o que pode interferir na sua função hidrológica.
- **Taludes laterais:** As dimensões em relação aos taludes laterais das biovaletas são calculadas de forma a garantir a sua estabilidade e evitar a ocorrência de processos erosivos no interior da técnica. É válido ressaltar que as condições do solo local podem impor restrições para a inclinação dos taludes laterais, que devem ser preferencialmente suaves, por razões de segurança. De maneira geral, recomenda-se a proporção mínima de 3:1 (dimensões horizontal x vertical) na construção dos taludes.
- **Entrada das águas pluviais no sistema:** O encaminhamento do escoamento para a técnica pode variar conforme projeto e especificações. Sendo assim, as águas pluviais podem ser encaminhadas para a biovaleta de forma distribuída (longitudinalmente à técnica) ou pontual. Caso a entrada seja pontual, é possível utilizar-se de condutores ou de adaptações do meio-fio para o adequado direcionamento da água.

Em alguns projetos, as biovaletas também podem incluir uma camada subterrânea abaixo da base, preenchida com material poroso (como brita ou seixos), membranas filtrantes e uma tubulação perfurada no fundo para transportar o excesso de água. Este tipo é, essencialmente, uma associação de técnicas (biovaleta e trincheira). Nestes casos, o dreno subterrâneo aumenta a capacidade de drenagem da técnica e reduz o risco de formação de áreas alagadiças em terrenos com baixa declividade, melhorando as condições de infiltração.

Por fim, o projeto das biovaletas deve sempre atender-se à velocidade máxima do escoamento, de modo a assegurar uma correta filtração das águas pluviais e evitar a criação de processos erosivos.

Recomendações sobre a operação e manutenção

A manutenção das biovaletas depende das condições do escoamento superficial e da existência de dispositivos adicionais de pré-tratamento. No entanto, deve haver manutenção preventiva permanente, para que não ocorra o risco do local onde a técnica foi implantada tornar-se uma área indesejada pela população. Por isso, é importante prevenir a disposição irregular de resíduos sólidos no local, e a ocorrência de água estagnada na técnica, que pode converter-se em uma fonte de maus-odores e proliferação de insetos.

Por ser uma técnica que contempla o uso de vegetação, uma boa estratégia é integrar a manutenção das biovaletas com as recorrentes atividades de manutenção das demais áreas verdes do município (parques, praças e jardins públicos).

Deve-se também estar atento à apropriação indevida do espaço pela população, que possa vir a comprometer a função hidráulica do sistema. Para isso, é importante conduzir ações de sensibilização da comunidade local, enfatizando as funções da estrutura e a importância de assegurar a sua integridade.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência
Manutenção preventiva	Inspeção da superfície de infiltração da técnica, observando se existe água parada por mais de 24h e indícios de colmatção do solo	Mensalmente e após chuvas*
	Inspeção das tubulações de entrada, saída e drenos (quando houverem)	Mensalmente*
	Remoção de resíduos e detritos	Mensalmente ou quando necessário*

	Aparo da grama	Mensalmente, sobretudo após o período de chuvas*
	Irrigação da grama e vegetação adjacente	Nos períodos de seca**
	Manejo da vegetação e remoção de plantas invasoras	Mensalmente (até a cobertura total pela grama) e após este período, quando necessário*
Manutenção corretiva	Reparo de processos erosivos e substituição da vegetação	Quando necessário *
	Remoção de sedimentos nos componentes de pré tratamento	Quando necessário *
	Remoção do maior volume possível de água da técnica em caso de poluição acidental	Quando necessário **
	Escarificação e descompactação do solo para corrigir o problema de colmatação	Quando necessário (sistema apresentando problemas de funcionamento)*

Fontes: *WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS manual**. Londres: Ciria, 2015.

** BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**.

Porto Alegre: ABRH, 2015. 2 ed.

Jardins de chuva



Descrição

Os jardins de chuva são espaços vegetados instalados em terreno natural ou escavado com o objetivo de tratar, amortecer e permitir a infiltração das águas pluviais. Estas áreas têm seu perfil de solo modificado artificialmente para aumentar a porosidade, o que melhora sua capacidade de armazenamento temporário. Essa é uma das técnicas dentro dos denominados sistemas de biorretenção, que visam proporcionar tratamento para as águas pluviais através do uso da vegetação e do processo de infiltração, oferecendo também outros benefícios de maneira integrada.

JARDINS DE CHUVA

Funções	Tratamento e Amortecimento (Infiltração)
Área de Drenagem Controlada	Pequena (< 4 ha)
Controle de Vazão de Pico	Técnica adaptada para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos) e pode ser adaptada para TR médio (< 30 anos)
Geometria	Linear
Escala	Microdrenagem
Aplicações	Adjacente a residências e outras edificações Sistema viário, áreas verdes e espaços livres

Vantagens	Facilidade de integração com a paisagem urbana; Potencial estético; Criação e provisão de habitats
Limitações	Contribuição limitada para o controle de inundações

Condições gerais de projeto:

Por ser uma técnica que permite a infiltração das águas pluviais, alguns aspectos devem ser observados no estudo de viabilidade para a implantação de jardins de chuva:

- As condições de permeabilidade do solo local, uma vez que solos muito permeáveis aumentam o risco de poluição das águas subterrâneas, enquanto solos pouco permeáveis comprometem o bom funcionamento da técnica;
- A conservação de uma distância segura entre o fundo da estrutura e o nível mais alto do lençol freático, para reduzir risco de contaminação. Como recomendação geral, uma camada mínima de 1 metro de solo não saturado é indicada;
- A profundidade de leito rochoso ou solo argiloso, que pode vir a tornar-se uma barreira para a infiltração das águas pluviais;
- A área de contribuição da técnica, que não deve ter superfícies com grande potencial de desprendimento de sedimentos, sobretudo sedimentos finos, a fim de evitar o risco de colmatção do sistema.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

Os jardins de chuva podem atuar reduzindo a vazão de pico, devido ao armazenamento temporário do escoamento, e, por infiltrar as águas pluviais, também contribuem com a redução de volume à jusante. Dessa forma, a contribuição da técnica para o manejo da quantidade de água dependerá do projeto, do volume de armazenamento temporário e da capacidade de infiltração do solo.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

Apesar de contribuírem para o manejo da quantidade, os sistemas de biorretenção são recomendados principalmente para a melhoria da qualidade das águas pluviais, pois podem proporcionar um tratamento efetivo por meio de diversos processos.

Inicialmente, o processo de interceptação das águas pluviais pela vegetação atua na remoção de sedimentos e poluentes associados. Em seguida, o processo de infiltração promove o tratamento por meio da filtração, decantação, absorção e adsorção no meio filtrante.

A vegetação e os microorganismos presentes no solo também têm papel fundamental para o tratamento da água nestes sistemas, melhorando a função de retenção e absorção dos poluentes. Ademais, as raízes das plantas continuamente revolvem o solo, evitando a sua colmatação e a ocorrência de processos erosivos. O desempenho quanto ao tratamento pode variar conforme as espécies selecionadas, mas de forma geral, quanto mais densa a cobertura vegetal e a variedade de espécies, melhor será a eficiência dos sistemas de biorretenção.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Os jardins de chuva podem proporcionar benefícios estéticos importantes ao incorporar a vegetação à paisagem urbana, sendo facilmente integrados a uma variedade de espaços, incluindo estacionamentos, áreas de pedestres, praças, pátios, jardins particulares e demais espaços livres. Podem ser elementos discretos ou notáveis na paisagem, contribuindo para o espaço urbano e o projeto das edificações. Os sistemas de biorretenção, de maneira geral, também são potencialmente benéficos para o microclima local, pois resfriam o ar por meio da evapotranspiração.

Benefícios com foco na biodiversidade

Essa técnica pode proporcionar condições de habitat para a fauna presente em áreas urbanas, principalmente aves e insetos, contribuindo positivamente para o seu aumento. Estes dispositivos são relativamente flexíveis no que se refere às espécies vegetais a serem implantadas, entretanto, as nativas são mais desejáveis, como forma de promover a biodiversidade local.

Para esta seleção, devem-se observar características como a tolerância a períodos curtos de inundação e, especialmente para jardins de chuva em espaços urbanos, as espécies devem tolerar também períodos de estiagem e apresentar baixa manutenção. Sendo assim, sugere-se que seja feito um trabalho em parceria com especialistas da área como ecologistas, biólogos, engenheiros agrônomos e paisagistas para definição das espécies mais adequadas a essas condições, pois a escolha incorreta da vegetação pode comprometer o desempenho do sistema.

Especificações físicas e materiais

Como as demais técnicas apresentadas neste compêndio, os jardins de chuva podem ser projetados com inúmeras configurações e combinações de camadas, entretanto, para sumarizar, a sua configuração típica é a seguinte:

- **Camada de armazenamento:** Essa camada tem a função de realizar o armazenamento temporário das águas pluviais antes da sua infiltração no solo. É preenchida com material granular graúdo, sendo comumente utilizadas pedras-de-mão, seixos ou brita. O volume de armazenamento da técnica é definido pelos vazios do material. Para evitar a colmatação da estrutura, recomenda-se a aplicação de manta geotêxtil na base e nas laterais do jardim de chuva.
- **Camada de filtragem:** Essa camada é composta de areia sobre manta geotêxtil. Sua função é impedir a passagem do substrato para a camada de armazenamento, evitando problemas no funcionamento do sistema e consequente redução de sua vida útil.
- **Camada de solo ou substrato:** A camada de substrato é necessária para prover os nutrientes que dão suporte à vegetação selecionada para o projeto, sendo geralmente composta de uma mistura de argila, silte, areia, materiais orgânicos e minerais, devendo possuir profundidade suficiente para um desenvolvimento adequado da vegetação.
- **Camada de vegetação:** Camada composta pelas plantas selecionadas para o projeto, devendo buscar incorporar herbáceas de forração para evitar processos erosivos, junto com outras espécies de portes variados (desde que haja espaço suficiente para desenvolvimento das raízes). Algumas características da vegetação quanto a sua adaptabilidade às condições do sistema e do clima local (insolação, regime de chuvas e ventos) devem ser observadas, considerando também o uso de espécies nativas variadas, fomentando a biodiversidade.

- **Camada de armazenamento superficial:** Essa camada também é conhecida como lâmina livre e pode ser prevista com a finalidade de prover um volume adicional para o armazenamento temporário das águas pluviais. Porém, não deve ser muito profunda para não prejudicar o desenvolvimento das plantas, oferecer riscos à segurança dos usuários ou criar condições para que a água fique estagnada. Nesta camada, parte do volume das águas pluviais é reduzido com a evapotranspiração das plantas e evaporação.
- **Extravasor:** Esse elemento atua de forma emergencial na ocorrência de chuvas superiores às de projeto ou no caso da estrutura apresentar falhas de funcionamento, possibilitando a evacuação do excesso de água.
- **Dispositivo de saída controlada (opcional):** A implementação deste elemento permite com que o jardim de chuva também funcione como um dispositivo de detenção, amortecendo vazões em locais onde o solo apresenta baixa permeabilidade.
- **Entrada das águas pluviais no sistema:** A entrada das águas pluviais no sistema deve ocorrer sem acarretar danos à vegetação e processos erosivos. Para sistemas menores, o direcionamento e entrada pode acontecer por meio de um canal linear com brita. Em sistemas com maior área de contribuição, como aqueles utilizados em ruas, a entrada pode ocorrer de forma pontual, através de condutores ou com adaptação do meio-fio para o direcionamento da água. Nesses casos, recomenda-se a utilização de dispositivos como anteparos para dissipação de energia e diminuição da velocidade do escoamento.
- **Dispositivos de proteção e segurança de usuários:** Em sistemas instalados próximos a locais de fluxo de pedestres (calçadas e vias, por exemplo) devem ser previstos dispositivos de proteção, como muretas baixas, gradis e etc. Ressalta-se que o cercamento da técnica com barreiras altas e opacas não é desejável, pois pode reduzir os benefícios para o bem-estar humano, uma vez que impõem limitações visuais.

Recomendações sobre a operação e manutenção

A principal causa de falhas nos sistemas de biorretenção se deve à colmatação, que ocorre tanto nas camadas internas da estrutura, quanto no solo ao seu redor. A colmatação reduz a eficiência dos dispositivos e também reflete na piora da qualidade da água de saída, devido aos alagamentos constantes e maior escoamento de água não tratada direto pelo extravasor.

Assim, sistemas de biorretenção geralmente demandam uma manutenção mais frequente que os projetos de paisagismo convencionais, a fim de garantir o seu desempenho. A manutenção da vegetação pode ser feita como parte da rotina de manutenção de jardins particulares ou do município, sendo que dispositivos recém implantados geralmente demandam maior frequência de manutenção quando comparados com dispositivos já estabelecidos.

No que se refere aos cuidados com a vegetação, essa rotina de inspeção e manutenção é particularmente importante para evitar o alastramento de espécies invasoras. Além disso, não é recomendada a aplicação de pesticidas ou herbicidas que possam contaminar a água.

O sistema também deve ser visualmente inspecionado após as chuvas para remoção de eventuais resíduos sólidos, pois além de impactam negativamente na sua aparência, aumentam a chance de entupimento do sistema. Deve ser observada a presença de água parada no dispositivo por um período superior a 24h, seguida de ação de manutenção corretiva, a fim de evitar a proliferação de vetores de doenças.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

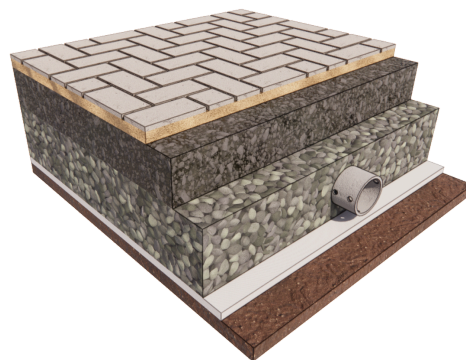
Manutenção	Ação	Frequência**
Manutenção preventiva	Inspeção da superfície da técnica, observando água parada por mais de 24h e indícios de colmatação	A cada 15 dias*

	Inspeção dos dispositivos de entrada e saída do sistema verificando a existência de obstruções	Mensalmente**
	Observação da existência de pragas e/ou doenças acometendo a vegetação	A cada 15 dias*
	Manejo da vegetação e remoção de plantas invasoras	A cada 15 dias ou mais *
	Remoção de lixo e demais detritos	A cada 15 dias ou mais*
Manutenção corretiva	Substituição da vegetação danificada para manter a densidade da cobertura vegetal	Quando necessário*
	Reparo de processos erosivos na técnica	Quando necessário*
	Remoção e substituição da manta geotêxtil	Quando necessário*
	Remoção de sedimentos acumulados na camada superficial para corrigir o problema de colmatção	Quando necessário**

Fonte: *WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

** HUNT, William F. et al. **Plant selection for bioretention systems and stormwater treatment practices**. Springer Nature, 2015.

Pavimentos permeáveis



Descrição

Os pavimentos permeáveis são estruturas compostas por camadas permeáveis que possibilitam a infiltração e/ou armazenamento temporário das águas pluviais, ao mesmo tempo que fornecem um calçamento adequado para o tráfego de pedestres e/ou de veículos. São uma alternativa interessante para áreas que, apesar de serem densamente ocupadas, ainda dispõem de espaços livres, como áreas de estacionamento e sistema viário.

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Funções	Amortecimento (Infiltração ou Detenção)
Área de Drenagem Controlada	Pequena (< 4 ha) e Média (4 a 16 ha)
Controle de Vazão de Pico	Técnica adaptada para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos)
Geometria	Linear
Escala	Microdrenagem
Aplicações	Calçadas, estacionamentos, quintais residenciais e espaços de lazer e recreação
Vantagens	Facilidade de implantação e versatilidade de aplicação
Limitações	Restrições de implantação em superfícies de grande declividade

Considerações gerais de projeto

No Brasil, os aspectos técnicos referentes aos pavimentos permeáveis de concreto são tratados pela norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 16416: 2015 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos, que também traz definições e condições para o projeto destes dispositivos.

Conforme a NBR 16416: 2015, uma das recomendações se refere a declividade máxima da superfície, que deve ser de 5%, enquanto que a declividade da área de contribuição não deve ultrapassar 20%, podendo ser incorporados dispositivos para a redução da velocidade do escoamento.

Além disso, como recomendação geral, quando o pavimento permeável permite a infiltração das águas pluviais, outros aspectos devem ser observados:

- As condições de permeabilidade do solo local, uma vez que solos muito permeáveis aumentam o risco de poluição das águas subterrâneas, enquanto solos pouco permeáveis comprometem o bom funcionamento da técnica;
- A conservação de uma distância segura entre o fundo da estrutura e o nível mais alto do lençol freático, para reduzir risco de contaminação. Como recomendação geral, uma camada mínima de 1 metro de solo não saturado é indicada;
- A profundidade de leito rochoso ou solo argiloso, que pode vir a tornar-se uma barreira para a infiltração das águas pluviais;
- A área de contribuição da técnica, que não deve ter superfícies com grande potencial de desprendimento de sedimentos, sobretudo sedimentos finos, a fim de evitar o risco de colmatção do sistema.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

Com relação à redução e controle do escoamento superficial, os pavimentos permeáveis apresentam um melhor desempenho que a pavimentação asfáltica. Além de possibilitarem o armazenamento temporário das águas pluviais em suas camadas (atenuando a vazão de pico) e a redução do volume por meio da infiltração, os pavimentos permeáveis também atuam na redução da velocidade do escoamento, devido às irregularidades presentes na sua superfície.

É importante ressaltar que o índice de vazios das camadas do pavimento permeável desempenha importante papel na determinação da capacidade de armazenamento temporário da técnica.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

Pavimentos permeáveis também contribuem com a melhoria da qualidade das águas pluviais, uma vez que os sólidos em suspensão trazidos juntamente com o escoamento podem ser retidos no corpo da técnica. Recorda-se, ainda, que o processo de infiltração, de forma geral, confere melhoria na qualidade das águas pluviais, uma vez que os diversos processos físicos e biológicos que ocorrem no solo podem contribuir para a remoção de poluentes das águas pluviais.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Pavimentos permeáveis podem prover bem-estar tanto pela sua utilidade, por possibilitarem a criação de espaços multifuncionais, quanto pelo aspecto visual, sobretudo no caso dos pavimentos com grama.

Outro aspecto positivo que é relatado se refere a redução dos casos de aquaplanagem de veículos. Além disso, os pavimentos permeáveis possibilitam a redução do ruído relativo ao contato pneu-pavimento.

Benefícios com foco na biodiversidade

Pavimentos permeáveis não proporcionam benefícios diretos à biodiversidade, mas atuam no amortecimento e redução do volume das águas pluviais, o que pode impactar positivamente nas áreas à jusante do sistema.

Especificações físicas e materiais

Conforme a NBR 16416: 2015, esses dispositivos são classificados em três diferentes níveis: pavimentos permeáveis com infiltração total, pavimentos permeáveis com infiltração parcial e pavimentos permeáveis sem infiltração, que atuam na detenção das águas pluviais. Cada um possui características específicas em relação à sua estrutura, condições e requisitos de uso.

Ainda que existam variações, os pavimentos permeáveis apresentam a seguinte configuração típica:

- **Camada de revestimento:** O revestimento deve garantir a passagem da água para a estrutura do pavimento, evitando pontos de alagamento na superfície. Dentre os tipos de revestimento para os pavimentos permeáveis estão:
 - Revestimento intertravado permeável: Podem ser constituídos por peças de concreto impermeáveis (mas assentados com juntas alargadas que permitem a infiltração das águas), peças com áreas vazadas ou peças de concreto permeável.
 - Revestimento de concreto permeável: Podem ser moldados in loco ou executados com placas.
 - Revestimento de grama estruturada: São estruturas de grade de concreto preenchidas com grama resistente ao pisoteio, sendo também conhecidos popularmente como “concregrama” ou “pisograma”.
- **Camada de rejuntamento:** É uma camada necessária apenas nos pavimentos com utilização de revestimentos intertravados assentados com juntas alargadas e revestimentos com áreas vazadas. É executada com areia, sendo recomendada a conservação de um espaço de 1 cm sem preenchimento em relação ao topo da peça. Este espaço ajuda a impedir a rápida formação de lâmina de água na superfície e dificulta a saída do material de rejuntamento.
- **Camada de assentamento:** Essa camada é aplicada para todos os revestimentos, com exceção do concreto permeável moldado in loco. Geralmente é executada com areia, devendo ser uma camada uniforme.
- **Camada de base:** É uma camada constituída de material agregado, sendo que convencionalmente é utilizada brita. Destina-se a resistir e distribuir os esforços do tráfego, podendo ser adicionada junto à ela uma camada complementar (sub base) com agregados de maior granulometria. Essa também é a camada em que posiciona-se o dreno para evacuação das águas pluviais dos pavimentos com infiltração parcial ou sem infiltração.

- **Camada de filtragem:** Essa camada, geralmente executada com manta geotêxtil, é posicionada entre a camada de base e de solo nos pavimentos permeáveis que permitem a infiltração das águas pluviais. Possui a função de filtragem, atenuando o processo de colmatação.
- **Camada de impermeabilização:** É uma camada existente apenas nos pavimentos permeáveis que possuem função de retenção. Geralmente executada com manta plástica, essa camada tem a finalidade de impedir a infiltração, impermeabilizando o fundo da técnica.
- **Camada de subleito (solo):** É a camada de solo de fundação do pavimento, o terreno sobre o qual se assentam todas as outras camadas. Deve apresentar adequadas condições de permeabilidade para receber pavimentos com função de infiltração.

Recomendações sobre a operação e manutenção

A colmatação da estrutura é o principal problema que acomete o sistema, prejudicando o seu desempenho. Ela pode acontecer em níveis distintos: na superfície, acometendo os vazios ou juntas dos revestimentos, ou nas camadas do pavimento, preenchendo os vazios das camadas de base e sub base. Vários são os fatores capazes de desencadear ou amplificar os efeitos da colmatação nos pavimentos permeáveis, sendo destaque o aporte de solo pelas águas pluviais, a presença de poeira, folhas e outros resíduos.

Ressalta-se que a manutenção adequada do sistema confere a ele boas condições de longevidade e funcionamento. Para pavimentos permeáveis de uso consolidado, como os revestimentos intertravados, as ações de manutenção são as usualmente adotadas para a limpeza e conservação do sistema viário. Já para os pavimentos de concreto permeável, operações periódicas com o emprego de jatos d'água de alta pressão podem ser necessárias.

Árvores e arbustos próximos a pavimentação permeável se beneficiam da infiltração da água, mas cuidados devem ser tomados no caso de árvores que perdem as folhas frequentemente, exigindo maior frequência na varrição da área permeável.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência**
Manutenção preventiva	Inspeção da técnica para verificar problemas de operação	Mensalmente (nos 3 primeiros meses) e, depois, anualmente*
	Varrição da superfície dos pavimentos com remoção de detritos e folhas	Quando necessário, especialmente após períodos de queda de folhas*
	Remoção e manejo de ervas daninhas	Quando necessário, mas anualmente para pavimentos com pouco uso*
	Emprego de jatos d'água de alta pressão e equipamentos especiais de aspiração	A cada 5 anos**
	Estabilização de áreas adjacentes para evitar o carregamento de sedimentos finos para a técnica	Quando necessário*
Manutenção corretiva	Substituição de peças de revestimento danificadas	Quando necessário*
	Reparação de depressões e sulcos com substituição ou complementação de materiais de preenchimento	Quando necessário*

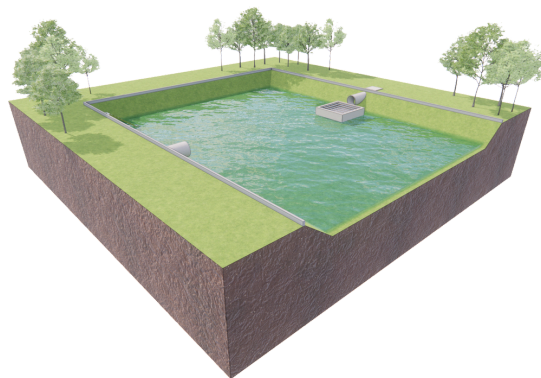
	Reparo ou substituição do dreno (quando houver)	Quando necessário (sistema apresentando problemas de funcionamento)*
	Limpeza do sistema e reconstrução com substituição de materiais (sobretudo materiais de preenchimento e geotêxteis)	Quando necessário (sistema apresentando problemas de funcionamento)*

Fontes: *WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

** BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2 ed.

Bacias abertas

Bacias de retenção e infiltração



Descrição

As bacias abertas podem ser definidas como estruturas escavadas, geralmente de grande porte, que possuem um volume livre para o armazenamento temporário das águas pluviais (também denominado de 'volume de espera'). O período de armazenamento das águas pluviais na estrutura é relativamente curto, fazendo com que as bacias permaneçam secas na maior parte do tempo.

As bacias podem ser classificadas como sendo de retenção ou infiltração. Nas bacias de retenção, a liberação da água é realizada de forma controlada, por um dispositivo de saída para o sistema convencional de drenagem ou para um curso d'água receptor. Nas bacias de infiltração, a descarga é realizada diretamente no solo, atuando na redução do volume de água. Usualmente, as bacias são uma medida centralizada para o controle de inundações, recebendo o escoamento de grandes áreas.

BACIAS ABERTAS

Funções	Amortecimento (Infiltração ou Detenção)
Área de Drenagem Controlada	Bacias de Detenção: Grande (>16 ha) Bacias de Infiltração: Média (4 a 16 ha)
Controle de Vazão de Pico	Técnica adaptada para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos) e TR médio (< 30 anos) e pode ser adaptada para TR grande (> 30 anos)
Geometria	Poligonal
Escala	Macro drenagem

Aplicações	Grandes áreas disponíveis, como parques urbanos
Vantagens	Grande capacidade de armazenamento temporário de águas pluviais
Limitações	Necessidade de grandes áreas para a sua implantação

Considerações gerais de projeto

Por serem dispositivos de controle centralizado e, portanto, com maior impacto sobre o território, a implantação das bacias necessita de um detalhado estudo de viabilidade, considerando uma diversidade de critérios físicos, urbanísticos, ambientais e econômicos. Geralmente, os estudos de concepção iniciam-se por um diagnóstico do funcionamento dos sistemas de drenagem existentes (naturais e artificiais) e dos meios receptores, identificação dos impactos a serem mitigados com o projeto, seguidos da elaboração de modelos e simulação de cenários.

A implantação das bacias ocorre em duas situações distintas: para resolver problemas de drenagem em um território já consolidado, ou como parte de um projeto de urbanização a ser implantado. No primeiro caso, são observadas maiores restrições em razão da limitação de áreas pelo parcelamento do solo e sistemas existentes. Já no segundo caso, é possível uma maior integração das bacias no projeto urbanístico, favorecendo a criação de espaços multifuncionais.

No que se refere à posição, as bacias podem ser alocadas de duas maneiras: em série (online), implantadas diretamente no sistema de drenagem principal; ou em paralelo (offline), implantadas lateralmente a um sistema de drenagem principal, recebendo o escoamento desviado deste.

Quando as bacias são de infiltração, alguns fatores também devem ser observados:

- As condições de permeabilidade do solo local, uma vez que solos muito permeáveis aumentam o risco de poluição das águas subterrâneas, enquanto solos pouco permeáveis comprometem o bom funcionamento da técnica;
- A conservação de uma distância segura entre o fundo da estrutura e o nível mais alto do lençol freático, para reduzir risco de contaminação;
- A profundidade de leito rochoso ou solo argiloso, que pode vir a tornar-se uma barreira para a infiltração das águas pluviais.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

No Brasil, o manejo da quantidade de água é o principal foco para a implantação das bacias, haja vista que estes dispositivos atuam de maneira efetiva no amortecimento de cheias. No caso das bacias de retenção, os dispositivos reduzem a vazão de pico por meio do armazenamento temporário das águas pluviais e, nas bacias de infiltração, também ocorre a redução do volume.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

Embora as bacias de retenção e infiltração sejam principalmente empregadas para o controle de inundações urbanas, esses dispositivos também desempenham um papel significativo na melhoria da qualidade das águas pluviais.

Ainda que seu objetivo seja o armazenamento das águas pluviais por um período relativamente curto, as bacias de retenção permitem a decantação de sedimentos e poluentes presentes no escoamento, promovendo um impacto positivo na qualidade geral da água. Quando as bacias não possuem fundo impermeabilizado e são revestidas com vegetação, os benefícios para a qualidade da água são ainda mais significativos.

Ao abordar a melhoria da qualidade das águas pluviais, é essencial diferenciar bacias de retenção de bacias de retenção. A distinção principal está no tempo de armazenamento das águas pluviais. Enquanto as bacias de retenção armazenam a água por um curto período, as bacias de retenção mantêm a água por um período mais longo, o que intensifica o processo de decantação e a redução de poluentes. Em uma outra definição bastante aceita, o que as difere é a presença de uma lâmina d'água permanente nas bacias de retenção, proporcionando benefícios urbanísticos e ambientais adicionais. Assim, pode-se dizer que o foco principal das bacias de retenção é o tratamento das águas pluviais.

Benefícios com foco no bem-estar humano

As bacias, sempre que possível, devem ser projetadas com um caráter multifuncional, integradas com espaços recreativos e de lazer, como áreas esportivas (pistas de caminhada, velódromos, quadras), parques e áreas verdes com calçadas e ciclovias, provendo bem-estar para as pessoas no meio urbano.

Uma das razões para fomentar os múltiplos usos das bacias se deve ao elevado custo do solo urbano, de modo que a combinação de outros equipamentos junto ao controle de inundações dilui parcialmente o investimento. Além disso, as funções de armazenamento temporário das águas pluviais urbanas são requeridas apenas ocasionalmente, haja vista a aleatoriedade dos eventos hidrológicos.

Deste modo, caso não sejam previstos outros usos associados, as bacias podem acabar sendo percebidas pela população como espaços ociosos, aumentando a probabilidade de ocorrerem usos improvisados e inadequados, como o descarte ilegal de resíduos.

Benefícios com foco na biodiversidade

Quando incorporam vegetação nos projetos, as bacias podem contribuir para a biodiversidade do meio urbano, provendo habitat e alimentos para uma diversidade de espécies. Já as bacias de retenção de fundo impermeabilizado não proporcionam valor direto à biodiversidade, mas ajudam a reduzir o escoamento de águas pluviais à jusante do sistema, o que pode impactar positivamente na biodiversidade dessas áreas.

Especificações físicas e materiais

As bacias podem apresentar diversas formas, variando das mais naturais e irregulares, às mais geométricas, a depender dos objetivos da técnica e suas funções associadas. De maneira geral, as bacias apresentam a seguinte configuração típica:

- **Entrada das águas pluviais no sistema:** As águas pluviais podem ser encaminhadas para a bacia de forma distribuída ou pontual, através de um tubo de entrada. Deve-se prever na entrada do sistema o uso de dispositivos, como dissipadores de energia.
- **Volume de armazenamento:** Consiste no volume escavado para o armazenamento temporário das águas pluviais.
- **Estrutura de descarga de fundo:** Componente existente apenas nas bacias de detenção, que geralmente apresenta seção circular e é localizado no fundo da técnica, com o objetivo de realizar a liberação controlada da água. Recomenda-se a incorporação de uma caixa de alvenaria com gradil sobre a estrutura, com a finalidade de evitar sua obstrução.
- **Extravasor:** Esse elemento atua de forma emergencial quando as bacias superam a sua capacidade de armazenamento temporário e/ou infiltração, escoando o excesso de água para a rede de drenagem convencional, ou para uma outra bacia em série.
- **Caixa de passagem:** Possui o objetivo de concentrar os fluxos amortecidos e de extravasamento das bacias antes de seu encaminhamento ao sistema convencional de drenagem.
- **Taludes:** De modo geral, para as bacias, são indicados taludes com declividades baixas e profundidade não superior a 1,5 m, com a finalidade de evitar acidentes. É válido ressaltar que a declividade dos taludes também deve condizer com as condições de estabilidade do solo. Os taludes devem ser, preferencialmente, vegetados com grama, evitando o carreamento de solo e filtrando parte dos sedimentos do escoamento.
- **Dispositivos de proteção:** Ainda que as bacias não devam ser muito profundas, por situar-se abaixo do nível do solo, é importante prever elementos para a proteção de usuários locais, tais como: gradil, guarda-corpo, cordões de concre-

to etc., conforme uso da área e projeto urbanístico. Quando houver dispositivos de entrada e saída e de acesso para manutenção, estes não devem ser acessíveis ao público geral.

Pré-tratamento (opcional): Existe a possibilidade de incorporar junto às bacias, um componente para o pré-tratamento, com o objetivo de melhorar a qualidade da água e reduzir os custos com manutenção. Esse componente consiste em uma bacia de menor tamanho que possibilita decantação de sedimentos antes do escoamento ser encaminhado para a técnica. Essa bacia pode ser separada por uma barreira realizada a partir de movimentação de terra, muro de gabião ou pedra.

Recomendações sobre a operação e manutenção

No que se refere a manutenção de bacias de retenção e infiltração, estas dependem do tipo de bacia e projeto implantado. Muitas ações são comuns e regulares, como o corte da grama de bacias vegetadas e a remoção de lixo. Ocasionalmente, será necessária a remoção de sedimentos no dispositivo de pré-tratamento (quando houver) e leito da bacia, sendo indicada uma análise desse material para identificar se existem substâncias perigosas à saúde e qual a melhor forma de proceder o seu descarte.

Evidencia-se também a importância de ações de monitoramento, com vistorias de todas as estruturas hidráulicas da bacia (tubulações, diques, comportas, sensores, bombas etc.), uma vez que, por serem requeridas ocasionalmente (apenas no período chuvoso), a falta de operação desses componentes pode conduzir a problemas de funcionamento durante as chuvas subsequentes.

Ademais, é necessário que, após a implantação das bacias, sejam realizadas ações contínuas de educação e sensibilização da comunidade do entorno a respeito do funcionamento deste componente de drenagem e os cuidados com a segurança da população a serem tomados durante os eventos de chuva.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência**
Manutenção preventiva	Remoção de lixo e detritos	Mensalmente*
	Corte de grama	Mensalmente*
	Inspeção de entradas, saídas e dispositivos de extravasamento para identificar obstrução	Após eventos de chuva **
	Limpeza de entradas, saídas e dispositivos de extravasamento	Após eventos de chuva **
	Monitoramento e Inspeção de comportas e dispositivos mecânicos	Anualmente*
Manutenção corretiva	Reparo de processos erosivos	Quando necessário *

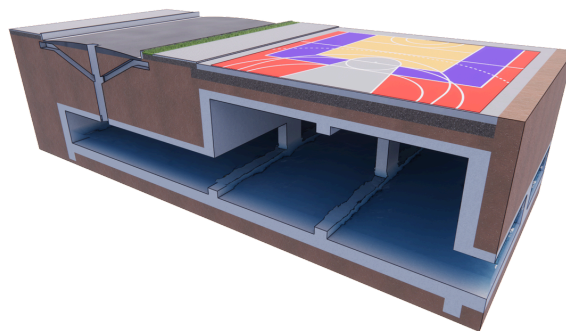
	Reparo/reabilitação de entradas, saídas e estruturas hidráulicas	Quando necessário *
	Controle de poluição acidental	Quando necessário **
	Correção de ruptura de barragens	Quando necessário **

Fontes: *WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

** BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2 ed.

Bacias fechadas

Reservatórios de detenção



Descrição

As bacias fechadas (ou reservatórios de detenção) podem ser definidas como um volume vazio abaixo do solo, usado para o amortecimento das águas pluviais. Apesar de apresentarem maiores custos de implantação e operação, são uma alternativa para o controle de inundações em zonas densamente ocupadas, onde já não há espaço para a implantação de bacias abertas.

BACIAS FECHADAS

Funções	Amortecimento (Detenção)
Área de Drenagem Controlada	Grande (>16 ha)
Controle de Vazão de Pico	Técnica adaptada para tempo de retorno (TR) pequeno (< 5 anos) e TR médio (< 30 anos) e pode ser adaptada para TR grande (> 30 anos)
Geometria	Poligonal
Escala	Macro drenagem
Aplicações	Abaixo de áreas públicas, áreas de recreação e quadras esportivas, estacionamentos
Vantagens	Emprego em zonas densamente ocupadas, permitindo múltiplos usos na área da superfície
Limitações	Alto custo de construção; Difícil acesso para manutenção

Considerações gerais de projeto:

De maneira semelhante às bacias abertas, os reservatórios de retenção também são dispositivos centralizados de controle que geram impactos significativos ao território, necessitando de um detalhado estudo de viabilidade.

Alguns fatores que devem ser considerados para a implantação dos reservatórios de retenção são: o conhecimento da rede subterrânea existente (água, esgoto, telefone, gás, etc.), a presença de sedimentos e resíduos sólidos no escoamento superficial e a estimativa de esforços e tráfego de veículos no local (que devem ser considerados no projeto estrutural da técnica).

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

São dispositivos que contribuem de forma significativa para a atenuação da vazão de pico por meio da retenção das águas pluviais, reduzindo a ocorrência de alagamentos e inundações. Os reservatórios são dimensionados para uma determinada chuva de projeto, porém devem possuir sistemas de extravasamento para conduzir com segurança a vazão excedente, evitando danos na sua própria estrutura ou em áreas à jusante.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

Ainda que a função principal dos reservatórios de retenção seja o amortecimento das águas pluviais, estes dispositivos também permitem a decantação de parte dos sedimentos e poluentes presentes no escoamento, promovendo um impacto positivo na qualidade geral da água.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Além do controle de inundações, os benefícios para o bem-estar humano ocorrem quando os reservatórios estão associados a múltiplos usos, provendo, por exemplo, espaços recreativos e demais equipamentos públicos em sua superfície.

Benefícios com foco na biodiversidade

Não proporciona valor direto à biodiversidade, mas atua no amortecimento das águas pluviais, o que pode impactar positivamente nas áreas à jusante do sistema.

Especificações físicas e materiais

Os reservatórios de detenção podem apresentar diferentes configurações, tecnologias e escalas. Podem ser utilizados tubos de concreto ou plástico, tanques de concreto pré-moldado ou mesmo galerias subterrâneas construídas in loco. Pelo fato de sua indicação de uso ser semelhante às bacias abertas, os reservatórios compartilham muitas especificações no que se refere aos seus componentes.

De modo geral, o sistema deve ser desenhado de forma a prevenir ou minimizar o risco da entrada de sedimentos e resíduos sólidos na técnica, pois os reservatórios têm maior restrição de acesso para manutenção. Nesse sentido, dispositivos como tanque de sedimentação ou sistemas de filtragem podem ser opções de pré-tratamento possíveis, antes do encaminhamento das águas pluviais à técnica.

Ressalta-se que, assim como as demais técnicas, os reservatórios requerem projeto técnico específico, elaborado por equipes multidisciplinares.

Recomendações sobre a operação e manutenção

Por ser um sistema construído no subsolo, qualquer falha ou entupimento pode não ser notado de forma imediata, o que aumenta as condições de risco para a operação. Nesse sentido, é essencial que seja estabelecido um cronograma para inspeções na técnica, sobretudo anteriormente e logo após o período de chuvas, com a finalidade de prever e corrigir possíveis problemas.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência**
Manutenção preventiva	Inspeção de entradas, saídas e dispositivos de extravasamento para identificar obstruções	Após eventos de chuva**
	Limpeza de entradas, saídas e dispositivos de extravasamento	Após eventos de chuva**
	Monitoramento e inspeção de comportas e dispositivos mecânicos	Anualmente*
	Monitoramento do interior do reservatório para checar deposição de sedimentos	Anualmente*
	Remoção de sedimentos do interior do reservatório	Quando necessário*
Manutenção corretiva	Reparação/reabilitação de entradas, saídas e dispositivos de extravasamento	Quando necessário*
	Rápido bombeamento das águas, em caso de poluição acidental do escoamento no sistema	Quando necessário**

Fontes: *WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2 ed.

Wetlands construídos



Descrição

Os wetlands construídos, chamados também de “alagados construídos”, ou ainda, “constructed wetlands”, são áreas úmidas artificialmente construídas, semelhante às várzeas. Através do uso da vegetação, esses sistemas proporcionam tratamento para efluentes por meio de processos predominantemente biológicos.

A princípio, os wetlands construídos foram desenvolvidos para cumprir a função de tratamento das águas residuais, como os efluentes industriais, agrícolas e o esgoto sanitário. No que se refere à drenagem urbana, seu uso é mais incipiente. Porém, em locais onde ainda não foi implantado o sistema separador absoluto — e as águas pluviais e o esgoto sanitário são coletados e encaminhados em um mesmo conduto (sistema unitário) — os wetlands construídos se destacam como uma alternativa viável, ambientalmente mais sustentável e eficiente para realizar o tratamento conjunto dos efluentes nos sistemas de pequeno porte.

WETLANDS CONSTRUIDOS

Funções	Tratamento
Área de Drenagem Controlada	Não se aplica
Controle de Vazão de Pico	Não se aplica
Geometria	Poligonal
Escala	Não se aplica
Aplicações	Pode ser aplicado em grandes espaços livres (em maior escala) até espaços residenciais (em escala compacta)
Vantagens	Facilidade de integração à paisagem e menos impactos que os sistemas convencionais de tratamento de efluentes
Limitações	Contribuição limitada para o controle de inundações

Considerações gerais de projeto:

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 17076: 2024 - Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte - Requisitos, que estabelece as condições para o uso dos wetlands construídos no país, recomenda seu emprego para o tratamento secundário e complementar dos efluentes, necessitando de tanque séptico ou estrutura equivalente para o tratamento primário.

Para não comprometer o desempenho do tratamento de esgoto, a NBR 17076 orienta que os wetlands construídos não devem receber águas pluviais, efluentes industriais e resíduos sólidos em geral. Nesse sentido, no que se refere ao uso dos wetlands construídos no contexto da drenagem urbana, justifica-se o seu emprego quando o sistema é unitário ou quando forem identificados lançamentos irregulares de esgoto na rede de drenagem.

Benefícios com foco no manejo da quantidade de água

Para que os wetlands construídos sejam capazes de contribuir com o manejo da quantidade de água, deve ser previsto um volume adicional para o amortecimento das águas pluviais, uma vez que essa técnica é fundamentalmente empregada para o tratamento das águas residuais.

Benefícios com foco na melhoria da qualidade da água

No que se refere aos benefícios para a melhoria de qualidade da água, esses sistemas objetivam principalmente a remoção de matéria orgânica, reduzindo a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) por meio da decomposição microbiana e da retenção de partículas pelo substrato e raízes das plantas. Além disso, podem reter sólidos em suspensão e reduzir a quantidade de nitrogênio, evitando a eutrofização dos sistemas finais.

Benefícios com foco no bem-estar humano

Os wetlands construídos podem prover bem-estar humano à medida que empregam a vegetação de forma extensiva e são facilmente integrados com os espaços livres urbanos, como os parques. Também é possível incorporar áreas com a presença de uma lâmina d'água ao projeto do sistema, que funcionam para conferir tratamento fi-

nal dos efluentes. Estas áreas, em virtude de possibilitarem o contato da população com a água, aumentam o valor estético do local de implantação e melhoram o microclima urbano.

Benefícios com foco na biodiversidade

Em áreas urbanizadas, os wetlands construídos são mecanismos importantes para a promoção da biodiversidade, devido ao uso da vegetação. Esses dispositivos podem converter-se em habitats para uma grande diversidade de insetos, anfíbios e até mesmo aves, sobretudo quando ocorre o uso variado de plantas, com diferentes portes e características. Em relação às espécies vegetais a serem empregadas, algumas plantas como o papiro, junco e taboa são amplamente referenciadas pela literatura técnica e potencialmente utilizáveis, desde que se adaptem bem às condições de operação. Sempre que possível, deve ser incentivado o uso e a experimentação das espécies nativas para o tratamento de efluentes.

Especificações físicas e materiais

De acordo com a NBR 17076, estes sistemas são classificados em wetlands de fluxo horizontal e wetlands de fluxo vertical, sendo que ambos devem receber o esgotamento pré-tratado (após tratamento primário).

- **Wetlands construídos de fluxo horizontal:** Neste sistema, o efluente é despejado em uma zona de entrada que localiza-se no início da técnica e é composta por brita de maior granulometria ou material semelhante. Em seguida, o efluente se desloca lentamente pela zona principal, onde passa através do material filtrante (também chamado de meio suporte ou substrato). Por fim, o efluente alcança a zona de saída, na extremidade oposta, também composta por brita de maior porte. Neste sistema, o escoamento ocorre predominantemente na direção horizontal, abaixo da superfície do material filtrante (fluxo subsuperficial), em um meio hidraulicamente saturado, onde os espaços entre os grãos do substrato estão completamente preenchidos pelo líquido em tratamento. Neste tipo, o fluxo do efluente deve se manter sempre cerca de 10 cm abaixo do nível do meio de suporte, sem apresentar lâmina d'água na superfície. Quanto ao formato, recomenda-se manter a relação comprimento:largura dos tanques entre 2:1 a 4:1, sendo que a largura não deve superar os 30m, para facilitar a distribuição uniforme do esgoto.

- **Wetlands construídos de fluxo vertical:** Neste sistema, o efluente é distribuído de forma intermitente sobre toda a superfície do módulo de tratamento, infiltrando-se verticalmente através das raízes das macrófitas e dos poros do material filtrante, geralmente composto por areia, até ser coletado no fundo por um sistema de drenagem. O meio permanece não saturado, ou seja, os espaços entre os grãos do substrato contém ar em vez de líquido, criando condições aeróbias no leito filtrante. Nessa tipologia, o meio de suporte é composto pelas camadas de distribuição superior, tratamento, transição inferior e drenagem.

Em ambos os tipos, é comum a adoção de paredes verticais, executadas em alvenaria ou concreto, ou mesmo o emprego de unidades pré-fabricadas. Neste caso, não há inclinação (0:1). Em sistemas com taludes internos e escavação do solo, a inclinação usual segue a proporção de 1:1 e 2:1, podendo variar a depender do tipo de solo e questões geotécnicas, visando a sua estabilidade. Além disso, deve-se utilizar-se de materiais que garantam a impermeabilização do fundo e laterais da técnica, sendo comumente aplicadas geomembranas ou camadas de lona plástica e manta geotêxtil intercaladas.

É indicado que o leito de suporte possua características adequadas para este sistema, sendo resistente aos esforços. Além disso, o material do leito deve possibilitar o desenvolvimento da vegetação, a ocorrência de atividades químicas e biológicas, a percolação do esgoto pelos vazios e ser isento de sedimentos e partículas finas. Nos wetlands de fluxo horizontal, a sua altura pode variar de 0,50 a 0,90 m, enquanto que nos wetlands de fluxo vertical a variação é de 0,70 a 1,10 m.

O fundo dos wetlands construídos deve possuir inclinação mínima (1%) em direção à saída do dispositivo. Recomenda-se também a adoção de caixas de passagem e inspeção na entrada e saída do sistema com controlador de nível d'água, facilitando as ações de monitoramento e manutenção da técnica. Além disso, é recomendado que sejam seguidas algumas distâncias mínimas para a implantação destes dispositivos, como 1,5 m de outras construções, 3 m das tubulações de abastecimento de água e 15 m de poços freáticos e cursos d'água.

Recomendações sobre a operação e manutenção

A principal ação de manutenção para os wetlands construídos consiste no manejo da vegetação, com o corte da parte aérea das plantas em sua fase de crescimento, o que potencializa a capacidade de extração de nutrientes do efluente. Além disso, deve-se controlar o desenvolvimento de espécies invasoras.

Ressalta-se que a presença de água superficial em ambos tipos de sistema (wetlands de fluxo horizontal e vertical) é um indicativo de falha e sinal de mau funcionamento, sendo importante realizar ações de remediação.

Ademais, ações de rotina como a remoção de eventuais resíduos sólidos, colaboram para a manutenção do aspecto visual da técnica e evitam a proliferação de vetores de doenças.

Algumas ações de manutenção recomendadas são:

Manutenção	Ação	Frequência**
Manutenção preventiva	Remoção de lixo e detritos	Mensalmente (ou quando necessário)*
	Poda da vegetação empregada	Durante o período de crescimento**
	Remoção da vegetação invasora	Quando necessário**
	Inspeção de entradas, bordas, estruturas, tubulações, etc. - para identificar entupimentos e danos físicos	Mensalmente*
Manutenção corretiva	Reparo de erosão	Quando necessário*
	Replanteio da vegetação	Quando necessário*
	Reparo/reabilitação de bordas, estruturas, tubulações de entrada e saídas	Quando necessário*

Fontes: * WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

** VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. **Boletim Wetlands Brasil. Edição especial**, p. 2359-0548, 2018.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e Projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O., BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2.a ed.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, 8 jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 25 set 2024.

HUNT, William F. et al. **Plant selection for bioretention systems and stormwater treatment practices**. Springer Nature, 2015.

PORTO, R. L. L., ZAHED FILHO, K., TUCCI, C. E. M., BIDONE, F. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2020.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2020.

UNEP (United Nations Environment Programme). Resolution Adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. 5/5. **Nature-based solutions for supporting sustainable development**, 2022. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/NATURE-BASED%20SOLUTIONS%20FOR%20SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 out 2024.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. **Boletim Wetlands Brasil**. Edição especial, p. 2359-0548, 2018.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.



PDSRR

PROGRAMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL E
REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS - UGRHI 13

COMPÊNDIO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Programa de Drenagem Sustentável e Revitalização de Rios Urbanos



Conteúdo completo:

