

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PHA 3337 - ÁGUA EM SISTEMAS URBANOS 1

SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Prof. Dr. Joaquin Ignacio Bonnacarrère Garcia

GRUPO C

Caio Vinicius de Queiroz Luz	9350734
Daniella Yumie Kinoshita	9351590
Eric Fortner	10337860
Flávio Henrique Utumi	2996217
Gabriela de Nicola Nunes	9347556
Giovane Tesser Messias	10338086
João Gustavo Puchetti da Silva	8589499
Otávio Silveira Godinho	9351756
Pedro de S. Teixeira Nogueira	8043865
Suzanne Mie Akabane	7207114

São Paulo, 17 de novembro de 2017

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. MEDIDAS ESTRUTURAIS: DISPOSITIVOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL	6
2.1 PAVIMENTO PERMEÁVEL	7
2.1.1 PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL	8
2.1.2 PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL	10
2.1.3 CUSTO	10
2.2 TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO	10
2.2.1 VANTAGENS	12
2.2.2 DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES	12
2.2.3 PROJETO	13
2.3 TELHADO VERDE	14
2.3.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO	16
2.4 JARDIM DE CHUVA	17
2.4.1 IMPLANTAÇÃO	17
2.4.2 PROPRIEDADES INTERESSANTES	18
2.4.3 VANTAGENS	19
2.5 CISTERNA	20
2.5.1 FUNCIONAMENTO	20
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Escoamento superficial esquemático em ambientes antes e depois da urbanização (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION - MONTGOMERY COUNTY, [s.d.]).....	5
Figura 1-2: Diferença nas vazões de pico de acordo com o nível de urbanização do ambiente (MIGUEZ; REZENDE; VERÓL, 2015).	6
Figura 2-2: Esquema de pavimento permeável (MIGUEZ; REZENDE; VERÓL, 2015).....	7
Figura 2-1: Exemplo de aplicação do pavimento permeável (MOTA; BASTOS, 2013).	7
Figura 2-3: Exemplo de execução e pavimento permeável pronto (MOTA; BASTOS, 2013).	8
Figura 2-4: Esquemas de funcionamento dos 3 tipos de pavimento intertravado permeável (MOTA; BASTOS, 2013).	9
Figura 2-5: Exemplo de pavimento de concreto permeável (MOTA; BASTOS, 2013). ...	10
Figura 2-6: Promoção de áreas verdes no meio urbano através de trincheiras de infiltração.	11
Figura 2-7: Trincheira já implantada, paralela a uma rua.	11
Figura 2-8: Esquema de Funcionamento de uma Trincheira de Infiltração.	12
Figura 2-9: Construção de uma trincheira, utilizando uma manta geotêxtil.....	14
Figura 2-10: Esquema de telhado verde.	15
Figura 2-11: Parcelas do escoamento em um telhado verde.....	16
Figura 2-12: Estrutura proposta para jardim de chuva.	18
Figura 2-13: Estruturas de jardins de chuva de acordo com vários autores.	18
Figura 2-14: Remoção de poluentes em jardins de chuva.	19
Figura 2-15: Esquema de funcionamento de minicisternas.....	21
Figura 2-16: Funcionamento de uma cisterna subterrânea.....	22

1. Introdução

A urbanização é um dos fenômenos mais relevantes e presentes na sociedade contemporânea. Por si só traz uma série de desafios a serem superados. Dentre os muitos aspectos desafiadores, a influência e o impacto sobre os recursos hídricos são de grande importância. Neste contexto e no âmbito deste curso, o gerenciamento destes recursos, mais especificamente das águas pluviais em ambientes urbanos é uma tarefa desafiadora.

Para entendermos melhor a razão disso, devemos entender a diferença que a urbanização causa no ciclo da água. O ciclo, em condições naturais, mantém o seu balanço principalmente por meio das seguintes etapas: evaporação, precipitação, infiltração, recarga da água do subsolo, absorção e transpiração por parte da vegetação. A rápida urbanização de uma determinada área afeta diretamente este ciclo, pois gera uma redução na permeabilidade do solo, uma vez que superfícies de livre absorção são substituídas por áreas impermeáveis (como telhados, pavimentos, edificações, etc.). Além disso, ocorre uma significativa remoção das áreas verdes, que reduzem a velocidade e o volume total da água escoada (por meio dos processos de interceptação, retenção e infiltração da água).

Uma vez que o escoamento superficial em ambientes urbanos é elevado, muitos resíduos, partículas e poluentes advindos das atividades humanas são incorporados à água, fato que caracteriza a poluição difusa. Sem a devida intervenção, tais poluentes irão naturalmente terminar em cursos d'água, rios e mananciais, colocando em risco o meio ambiente e a saúde pública da população. Logo, a adoção de soluções ditas sustentáveis é de extrema importância.

Para se ter uma ideia de quanto a urbanização afeta o regime de escoamento, em áreas rurais cerca de 90% da água da chuva permanece na região que caiu, enquanto em ambientes urbanos cerca de 70% da água é levada através dos sistemas de drenagem (WAGNER; KRAUZE; ZALEWSKI, 2013). A abordagem dos sistemas de drenagem sustentáveis retoma de certa forma o processo hidrológico natural através do controle na fonte, aliviando a carga (tanto qualitativa quanto quantitativamente) que tem de ser absorvida pelo sistema de drenagem tradicional. Deste modo, a água deixa de ser vista como uma ameaça e passa a ser vista como parte de um processo natural e que pode ser manejado. Tais métodos de drenagem sustentável das águas serão brevemente explorados e descritos neste trabalho.

Na drenagem sustentável, o aspecto importante é o fato de que a adoção de práticas sustentáveis tem um efeito cumulativo e funcionam melhor se usadas como um sistema e não como um conjunto de soluções locais e isoladas. Isto é, o projeto e a gestão de sistemas de água urbanos baseados na análise de todo o sistema conduzem a soluções mais eficientes do que o projeto e a gestão de elementos do sistema individualmente. Estes sistemas buscam minimizar o agravamento das inundações causadas pela urbanização não só com medidas estruturais de controle na fonte, mas

também com medidas de caráter não estrutural, que possibilitem de maneira geral uma maior ocorrência e retomada dos processos naturais de infiltração e evapotranspiração. Tudo isso visando o retorno (ou reaproximação) das condições de escoamento existentes antes da urbanização.

Em relação aos benefícios que vão além da drenagem, a infraestrutura sustentável pode ser projetada de modo a englobar outras necessidades do meio urbano, formando uma solução com diversos propósitos que tem um menor custo total quando comparadas aos métodos tradicionais, que atacam cada problema com um dispositivo diferente. Por exemplo, reservatórios de retenção podem agregar áreas verdes, lazer, qualidade de vida à população e até fazer parte de grandes projetos urbanísticos. A abordagem se torna multifacetada e holística com benefícios que extrapolam a exclusiva melhora na quantidade/qualidade da água drenada, trazendo também benefícios à qualidade de vida da população, à biodiversidade, à qualidade do meio ambiente e do ecossistema urbano como um todo.

O foco deste trabalho será apresentar e descrever brevemente o funcionamento, os benefícios e até certos aspectos construtivos e de dimensionamento de alguns dispositivos e técnicas compensatórias de drenagem sustentável e controle na fonte. Será, portanto, focado nas medidas de caráter estrutural.

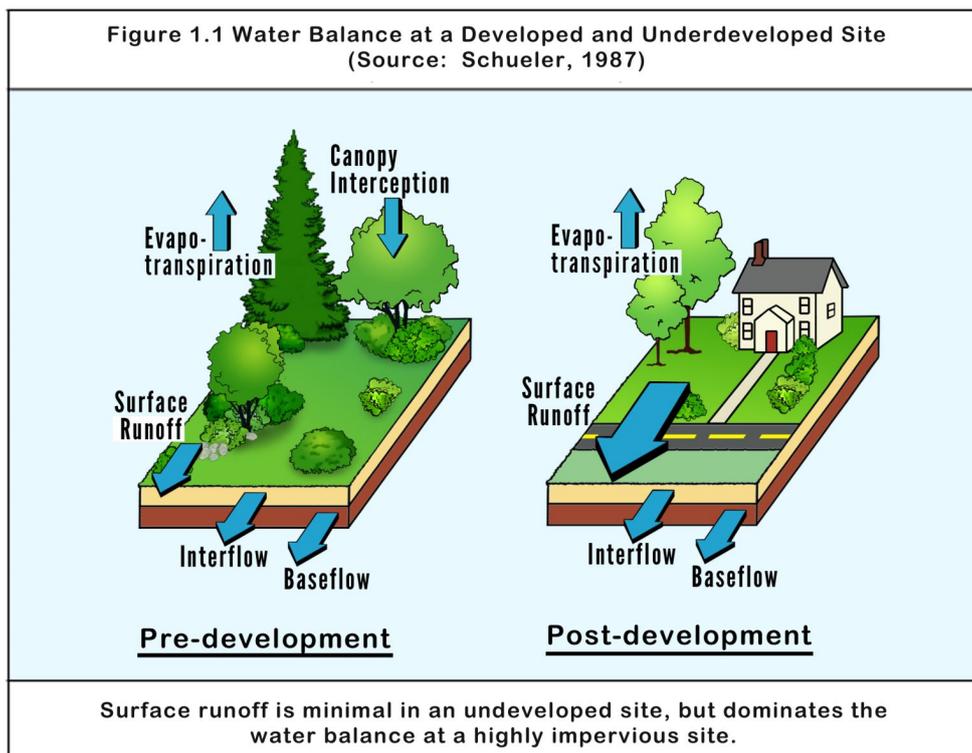


Figura 1-1: Escoamento superficial esquemático em ambientes antes e depois da urbanização (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION - MONTGOMERY COUNTY, [s.d.]).

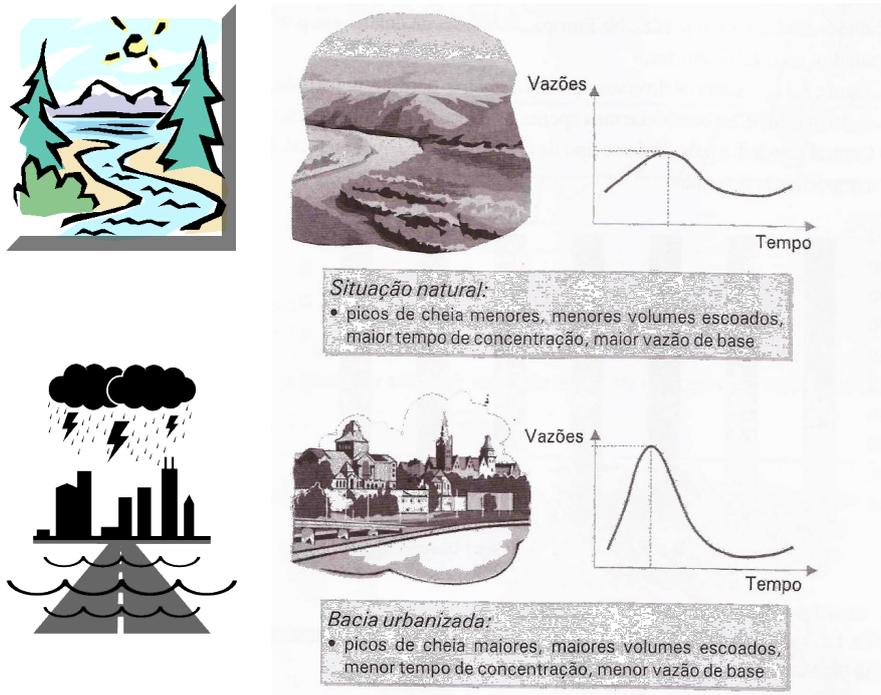


Figura 1-2: Diferença nas vazões de pico de acordo com o nível de urbanização do ambiente (MIGUEZ; REZENDE; VERÓL, 2015).

2. Medidas estruturais: Dispositivos de drenagem sustentável

Medidas estruturais são medidas que envolvem a criação de infraestrutura de drenagem, obras hidráulicas, de forma a alterar a capacidade de descarga e a dinâmica da geração do escoamento (como ao induzir a água a percorrer determinado caminho) do sistema. Em relação à qualidade da água, buscam trabalhar com a água contaminada, reduzindo ou removendo o volume contaminado na drenagem (atuam principalmente em regiões já urbanizadas), tendo como objetivo a remoção dos poluentes e a diminuição do impacto da poluição no efluente receptor.

As técnicas compensatórias (ou de controle na fonte) atuam no sentido de realizar basicamente 3 funções: reduzir o volume total escoado (armazenando e promovendo infiltração da água), retardar o escoamento da água (detenção) e melhorar a qualidade da água. Atualmente, a utilização de tais técnicas é considerada essencial para um desenvolvimento urbano sustentável, de modo a minimizar os impactos que este desenvolvimento tem no ciclo hidrológico. Vale lembrar que o funcionamento da abordagem tradicional busca captar a água, levar ela o mais rápido possível para outro local e então descarregá-la em corpos d'água, sem muita preocupação com a redução dos volumes escoados e com a qualidade da água que vai para estes locais.

Em relação aos dispositivos sustentáveis, primeiramente serão analisados aqueles que agem através da infiltração da água no solo e posteriormente aqueles que agem reduzindo volumes através da retenção de água.

2.1 Pavimento Permeável

São pavimentos que permitem a infiltração de água, de modo que ela pode ser armazenada em um reservatório subterrâneo (permeável ou não) abaixo do pavimento, e posteriormente a água pode infiltrar no solo ou ser encaminhada por tubulação para o sistema de micro drenagem. Aplicações possíveis deste dispositivo são em estacionamentos e em ruas onde o tráfego não é intenso, pois não apresentam resistência suficiente para receber tráfego pesado (DUARTE, 2003), em calçadas, quadras esportivas e dentro de lotes. Uma grande vantagem desse sistema é que ele permite que o local pavimentado continue exercendo sua função original, além de infiltrarem praticamente toda a precipitação da área pavimentada e de melhorarem significativamente a qualidade da água (reduzindo a concentração de cobre, zinco e óleo proveniente de motores) em situações onde o solo tem boas características de infiltração (BRATTEBO; BOOTH, 2003).

Este dispositivo normalmente é composto por asfalto poroso, concreto poroso, paralelepípedos ou blocos de concreto cujos espaçamentos são preenchidos com material poroso, e é importante lembrar que a aplicação deste sistema depende de vários fatores com permeabilidade do solo, nível do lençol freático e facilidade de manutenção (pavimentos permeáveis devem ser limpos para evitar acúmulo de sedimentos e perda de permeabilidade).



Figura 2-2: Exemplo de aplicação do pavimento permeável (MOTA; BASTOS, 2013).

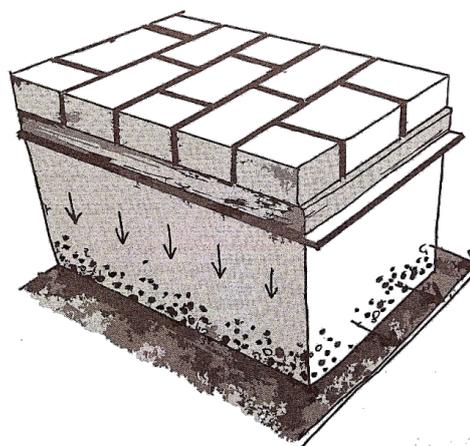


Figura 2-2: Esquema de pavimento permeável (MIGUEZ; REZENDE; VERÓL, 2015).

Diversos aspectos devem ser levados em conta no projeto dos pavimentos permeáveis. Alguns deles serão citados, sem entrar em muitos detalhes para não fugir do escopo deste trabalho.

- Área da bacia de contribuição a ser controlada;
- Capacidade de infiltração do solo;

- Nível do lençol freático;
- Risco de contaminação do aquífero;
- Fragilidade do solo à ação da água;
- Permeabilidade do subsolo nos dispositivos de infiltração;
- Declividade do terreno;
- Presença/Ausência de local de destino para área de descarga do volume regularizado de água;
- Disponibilidade de área;
- Presença de instalações subterrâneas;
- Afluência poluída/com alta taxa de sedimentos e lixo;
- Esforços aos quais o pavimento será submetido;
- Flexibilidade de desenho.

Todos estes aspectos devem ser levados em conta e devem servir de base para a análise prévia e projeto de um sistema que consista de um pavimento permeável. A seguir serão descritos dois dos principais sistemas de pavimentos permeáveis.

2.1.1 Pavimento Intertravado Permeável

Neste tipo de pavimento, a infiltração de água ocorre pelos espaços vazios nas peças, pelo espaçamento entre elas ou ainda, pela própria peça quando constituída de concreto permeável. Podem funcionar com infiltração total, parcial ou nenhuma no solo. A diferença principal consiste na retirada ou não da água infiltrada por um dreno localizada abaixo da estrutura do pavimento.



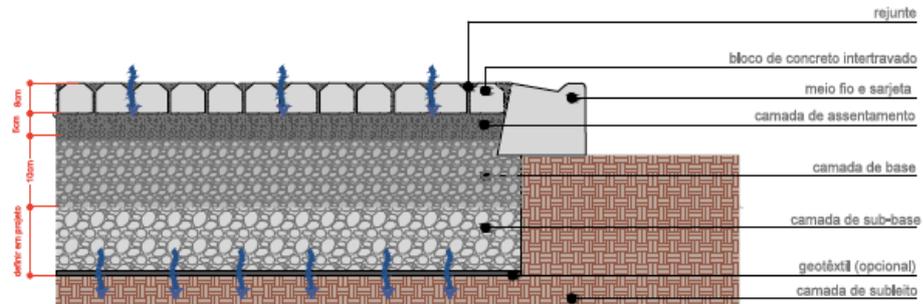
Figura 2-3: Exemplo de execução e pavimento permeável pronto (MOTA; BASTOS, 2013).

Em relação aos 3 tipos diferentes de operação, as figuras a seguir ilustram melhor estes tipos de funcionamento (as setas azuis indicam o fluxo das águas pluviais na estrutura):



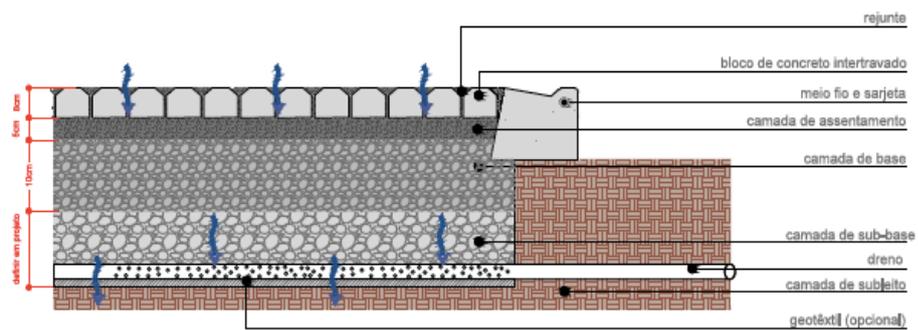
DESENHO TÉCNICO

TIPO 1: PAVIMENTO INTETRAVADO PERMEÁVEL COM INFILTRAÇÃO TOTAL NO SOLO



DESENHO TÉCNICO

TIPO 2: PAVIMENTO INTETRAVADO PERMEÁVEL COM INFILTRAÇÃO PARCIAL NO SOLO



DESENHO TÉCNICO

TIPO 3: PAVIMENTO INTETRAVADO SEM INFILTRAÇÃO NO SOLO

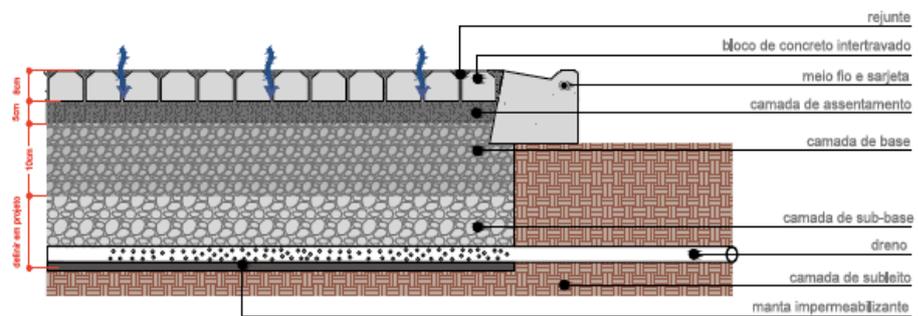


Figura 2-4: Esquemas de funcionamento dos 3 tipos de pavimento intertravado permeável (MOTA; BASTOS, 2013).

2.1.2 Pavimento de Concreto Permeável

Neste tipo de pavimento, o revestimento de concreto permeável apresenta alta porosidade permitindo a infiltração da água. O concreto permeável é constituído de pasta cimentícia que envolve os agregados e possui baixo teor de finos, ou mesmo sem finos. Tipicamente apresenta de 15% a 25% de teor de vazios e atinge um coeficiente de permeabilidade por volta de 0,34 cm/s (MOTA; BASTOS, 2013).



Figura 2-5: Exemplo de pavimento de concreto permeável (MOTA; BASTOS, 2013).

Da mesma maneira que o pavimento intertravado, o pavimento de concreto impermeável também funciona com os 3 tipos de infiltração, tendo como diferença o fato de que a primeira interface de infiltração das águas pluviais é o concreto permeável e não as placas intertravadas.

2.1.3 Custo

É importante ressaltar que o custo de implantação de um sistema de pavimento permeável é normalmente maior do que o de um pavimento dito tradicional. Entretanto, ele trará uma diminuição nos custos associados à rede de drenagem, fazendo sua adoção ser vantajosa se analisado sistemicamente. Além disso, requer uma manutenção mais cuidadosa e mais cara para evitar o acúmulo de sedimentos e o crescimento de grama ou outras vegetações. Normalmente, se faz necessária a limpeza a vácuo do pavimento para seu funcionamento ótimo.

2.2 Trincheira de Infiltração

A água da chuva, ao percorrer superfícies impermeáveis, coleta poluentes presentes na superfície. Além de contribuir na drenagem urbana, as trincheiras de infiltração são capazes de remover esses poluentes, devolvendo água com menor

quantidade de poluentes ao ambiente. Além disso, são relativamente baratas de serem construídas e promovem áreas verdes em meio ao ambiente urbano, como mostra a figura.



Figura 2-6: Promoção de áreas verdes no meio urbano através de trincheiras de infiltração.

Consistem basicamente de escavações no terreno, geralmente paralelas às ruas, calçadas e estacionamentos, sendo, portanto, ideais para locais onde não há muito espaço de implantação. São preenchidas com pedras, criando um reservatório subterrâneo a fim de filtrar a água coletada da chuva, melhorando sua qualidade ao ser devolvida para o lençol freático. É importante ressaltar que áreas agrícolas ou industriais possuem poluentes mais tóxicos e difíceis de serem tratados de maneira simples e, por isso, o uso das trincheiras não é recomendado nessas áreas. A seguinte figura mostra um exemplo de implantação.



Figura 2-7: Trincheira já implantada, paralela a uma rua.

Considerando que não são estruturas destinadas a acumular sedimentos, somente apresentam desempenho eficiente se o solo possuir porosidade suficiente e se houver alguma estrutura de pré-tratamento da água, como uma faixa de grama, uma

peneira, um separador de óleos ou um filtro, que ajudam a prevenir o entupimento da trincheira, retendo boa parte dos sedimentos. Assim, não é apropriado que as trincheiras sejam implantadas em locais de solos arenosos, o que poderia causar o entupimento da estrutura.

Geralmente acompanhada de pequenas elevações dos lados, permitindo o acúmulo de água, uma trincheira de infiltração não só diminui o volume da água de escoamento, aliviando o sistema de drenagem, mas também filtra a água. Ela também pode abastecer os lençóis freáticos, preservando o fluxo de base e auxiliando a preservação da água natural de aquíferos. A figura abaixo esquematiza uma trincheira.

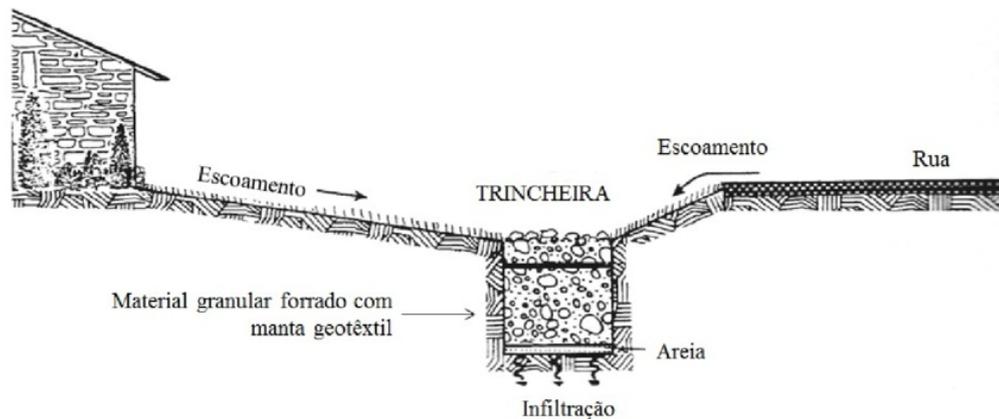


Figura 2-8: Esquema de Funcionamento de uma Trincheira de Infiltração.

2.2.1 Vantagens

- Alivia o sistema de drenagem, podendo contribuir para a redução das enchentes locais;
- Potencial eficiência para separar a água de sedimentos, impurezas e metais que contaminam a água (Esse sistema consegue separar até 90% dos metais, 90% das impurezas e 80% dos sedimentos presentes na água);
- Promove o abastecimento dos lençóis freáticos e o aumento do fluxo de base em rios e mananciais;
- Protege a integridade das bacias hidrográficas;
- Reduz o custo, o tamanho e a quantidade de construções destinadas a drenagem da água pluvial;
- Não demanda muito espaço para a instalação, podendo ser instalada junto de ruas, calçadas ou ruas;
- Redução da vazão de pico que chega ao sistema de drenagem.

2.2.2 Desvantagens e Limitações

- Requer cuidadosa instalação e manutenção para que possíveis contaminações sejam evitadas;
- Sendo muito suscetível a entupimentos, requer inspeção e manutenção frequentes;

- Não é ideal para áreas agrícolas e industriais onde há maior concentração de poluentes;
- Área de contribuição deve ser, de preferência, menor ou igual a 4,0 hectares;
- Não há total controle da vazão de pico, sendo necessário utilizar outras estruturas de drenagem em conjunto com a trincheira;
- Alta possibilidade de falha pouco após a instalação se não houver manutenção adequada.

2.2.3 Projeto

O projeto de uma trincheira de infiltração possui alguns requisitos e fatores importantes aos quais é necessária devida atenção. Um desses fatores é a permeabilidade do solo. A trincheira é projetada para absorver água de maneira rápida, logo o solo ao redor deve permitir que a água flua, no mínimo, por volta de 1,5 *cm/h*, daí a necessidade de solos mais porosos. Grupos A ou B, pela classificação SCS, são preferenciais. Portanto, é imprescindível que se realize um estudo geotécnico para avaliar a viabilidade do projeto.

Locais mais recomendados para a trincheira são aqueles com pelo menos cerca de 1,2 *m* livre da camada de pedra a fim de reduzir o custo da obra. Também recomenda-se que a distância da base da trincheira até o topo do lençol freático não seja menor que 1,2 *m*. Áreas de contribuição não maiores que 4,0 *ha* são ideais, no entanto, para áreas maiores que 2,0 *ha*, já se recomenda o uso conjunto de outras estruturas de drenagem.

Pensando na filtração de poluentes, é importante observar que, como qualquer filtro, o sistema possui tendência de entupimento. Assim, o solo ao redor da trincheira não deve conter materiais como argila ou silte, em grandes proporções. Esses tipos de solos apresentam partículas finas que, com o tempo, podem se acumular e tornar a estrutura ineficaz.

Existem, no entanto, maneiras de prevenir o acúmulo de sedimentos na trincheira. A opção mais utilizada é um gramado em volta da trincheira. Ao percorrer o gramado, a água vai deixando os sedimentos na grama e chega na trincheira com uma quantidade bem menor destes. Outro método, menos utilizado, é o uso de um pequeno tanque de sedimentação, possibilitando a decantação das partículas antes que a água continue para a trincheira.

Ao fazer o projeto de uma trincheira de infiltração, evita-se sua instalação nas proximidades de poços de captação de água. Às vezes, com a intensidade da chuva, a água pode fluir com velocidade suficiente para que o processo de filtração não ocorra com total eficiência. Assim, existe a chance da água carregar poluentes, em menor quantidade, para o solo após a filtração. A distância recomendada é de pelo menos 30 *m*, mesma referência de distância a ser mantida para prédios, procurando-se evitar afetar fundações e subsolos dos prédios.

É importante considerar que a declividade longitudinal afeta diretamente, não só a velocidade do escoamento, como também a quantidade de poluentes carregados pela água. Quanto maior a velocidade, ou seja, quanto maior a declividade, maior a quantidade de sedimentos carregados para jusante. Assim, o melhor funcionamento das trincheiras é obtido quando a declividade a montante é inferior a 5% e a declividade a jusante é, no máximo, 20%. Isso garante poluentes suficientes para a trincheira e velocidade adequada para a filtração da água e infiltração dela no solo.

Durante a construção das trincheiras, não se deve usar equipamentos pesados de maneira a minimizar o impacto nas áreas, a principal preocupação é em relação à compactação do solo próximo. Deve-se também utilizar uma manta geotêxtil nas laterais da trincheira para assegurar que a água não escape para as laterais, garantindo o pleno funcionamento da estrutura, como a próxima figura ilustra.



Figura 2-9: Construção de uma trincheira, utilizando uma manta geotêxtil.

A profundidade mais comum para as trincheiras é de cerca de 2,4 m, mas pode chegar até 3,7 m. A utilização da brita permite quase 40% de espaço vazio livre. O tempo de drenagem mínimo deve ser de 6 horas para garantir uma remoção eficiente dos poluentes. Ao considerar o tempo de retenção de água dentro da estrutura, é preciso ressaltar que a trincheira deve estar vazia antes de atender a próxima chuva. Algumas trincheiras já implantadas podem reter água por até três dias, apesar de o usual ser entre 12 e 24 horas.

Ainda é possível realizar algumas modificações no projeto para situações mais específicas. Caso a trincheira seja instalada próxima a um estacionamento, é interessante que ela possua um mecanismo de pré-tratamento da água para que seja possível separar óleos ou gasolina.

Recomenda-se a instalação de poços de observação. Estes, podem ser facilmente instalados, utilizando canos de PVC de 10,2 cm que, posicionados verticalmente, permitem acompanhar a eficiência da infiltração e, portanto, avaliar a necessidade de manutenção.

O projeto mais básico utiliza brita, no topo da trincheira, para a filtração. É possível, no entanto, substituir os primeiros 30 cm da camada de brita por cascalho, a fim de melhorar a filtração e a remoção de poluentes. Próximo ao entupimento da trincheira, somente é necessário trocar a camada de cascalho, sem sequer interferir na camada de brita. Pode-se, também, para melhorar filtração de metais, adicionar uma camada de material orgânico, como a turfa.

2.3 Telhado Verde

Neste tópico abordaremos formas de diminuir o impacto da macrodrenagem utilizando um componente de micro drenagem. Os telhados verdes podem ser definidos como um sistema artificial de cobertura realizado em casas, edifícios e similares.

Este tipo de estrutura tem como objetivos compensar parte da impermeabilização do solo absorvendo água através das plantas, deixar o ambiente visualmente mais agradável, aumentar a umidade relativa, regular a temperatura interna da construção, entre outros. No presente trabalho vamos explorar o seu impacto na micro drenagem.

Telhados verdes têm o poder de captar e reter a água da chuva, e diminuir a quantidade de água que irá escoar através da rede de drenagem urbana. A água absorvida é eliminada por evapotranspiração, colaborando também com a umidade relativa do ar. Em pequena escala este método não terá grandes efeitos, porém em grandes empreendimentos ele pode trazer benefícios significativos.

A sua implantação não traz grandes dificuldades, para se fazer uma cobertura vegetal em alguns casos, pode ser necessário reforço estrutural devido ao peso das plantas e da terra. Após esse processo é necessário fazer uma impermeabilização do telhado para não ocorrer infiltração na laje. Acima da laje é necessário instalar ecodrenos de argila ou carvão, que serão cobertos por uma manta, esta permitirá a fixação das plantas e diminuirá os rejeitos. A próxima camada é a terra, onde as plantas serão fixadas.

O funcionamento pode ser baseado no esquema a seguir:

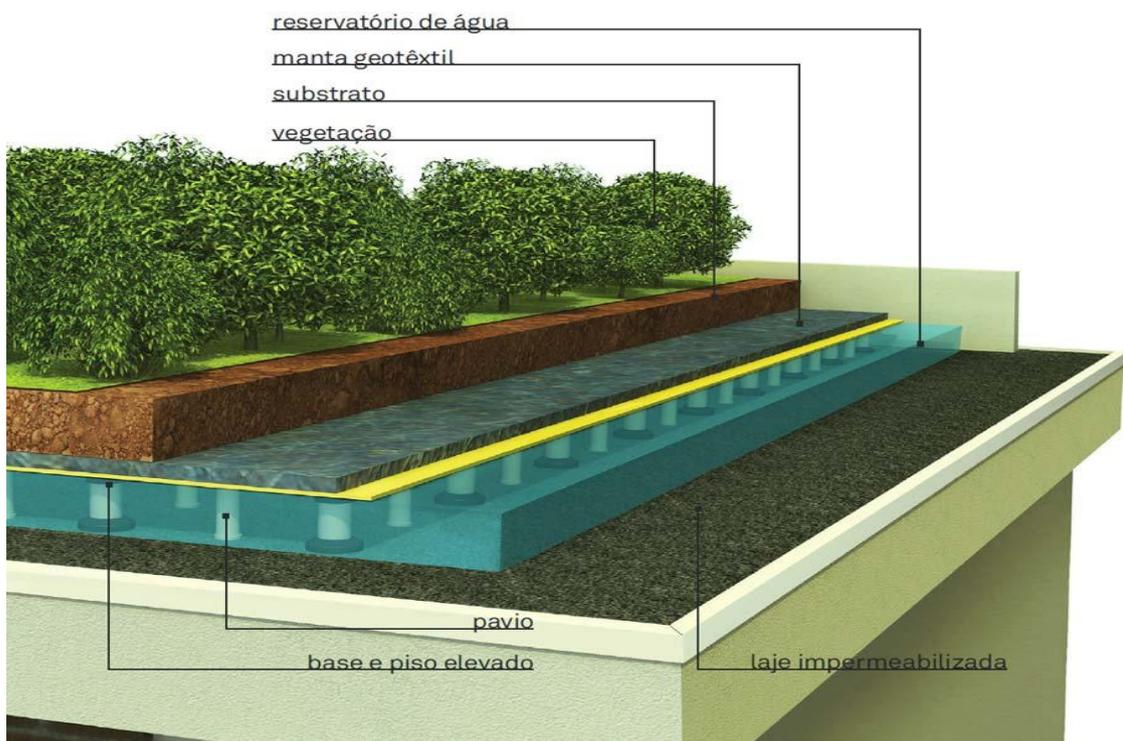


Figura 2-10: Esquema de telhado verde.

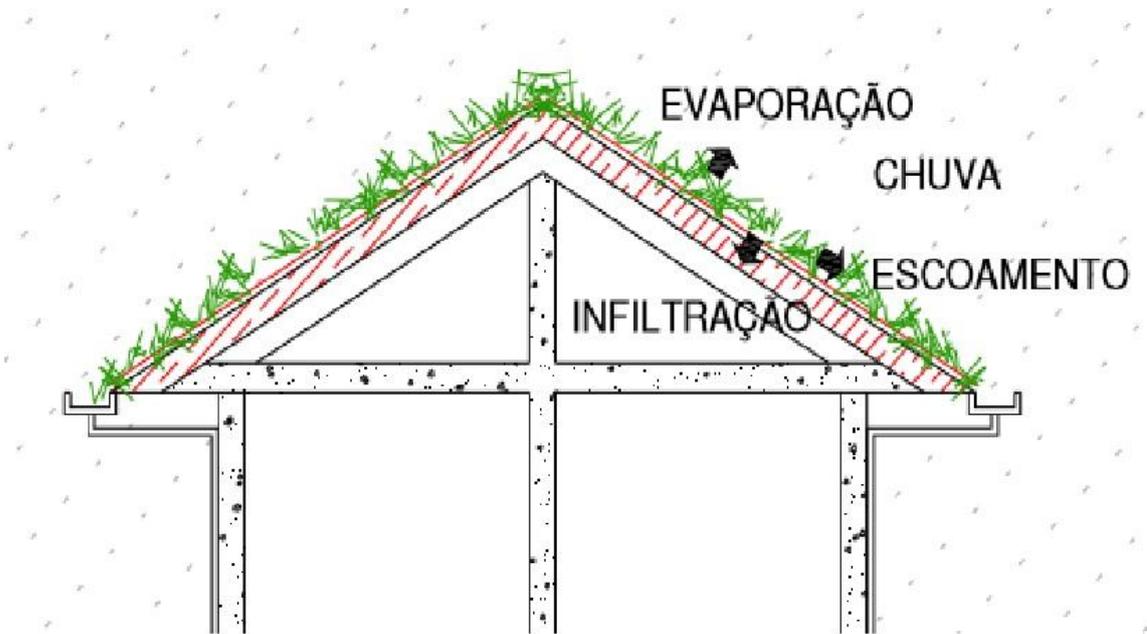


Figura 2-11: Parcelas do escoamento em um telhado verde.

Um dos grandes problemas em grandes cidades são a pavimentação e impermeabilização, isto comumente pode ocasionar problemas de enchente. Projetos de micro drenagem em edifícios ou em casas devem ser realizados por cada um para diminuir o impacto individual da moradia.

Com um poder de absorção relativamente alto, porém com uma capacidade baixa, este método é uma boa iniciativa, porém sozinho não consegue mudar o pico de cheia, cisternas são modelos que ajudariam a complementar este tipo de projeto.

2.3.1 Exemplo de aplicação

Na tabela 1, resultados de um exemplo de cálculo através de um modelo desenvolvido pelo Urban Climate Research Center, mostra que um telhado verde de uma residência comum, nas condições apresentadas pode por evapotranspiração diminuir o volume anual do escoamento superficial em cerca de 26%, em uma cidade com alta pluviosidade como Miami.

Tabela 2-1: Resultados de comparativo entre um telhado convencional e um telhado verde (com 60 m², 50% de cobertura vegetal, 0,5 área de folhagem/área plantada, sem irrigação e 50 mm de profundidade de solo).

Annual Roof Water Balance (mm)		
	Conventional Roof	50% Green Roof System
Precipitation	1375.0	1375.0

Evapotranspiration	–	364.1
Irrigation	–	0.0
Net Runoff (2)	1375.0	975.6

No entanto, os resultados apresentados não consideram os picos de vazão do escoamento superficial, e sim o balanço hídrico no período de um ano. Esse balanço depende de necessidade de irrigação, profundidade da camada de solo, folhagem das plantas e a precipitação do local.

Para a viabilização de um telhado verde em locais com chuvas mais escassas, pode-se associar com coleta de chuva através de cisternas.

Do ponto de vista hidrológico os telhados verdes auxiliam a rede de drenagem urbana de forma limitada, porém no balanço global sua participação pode ser

2.4 Jardim de Chuva

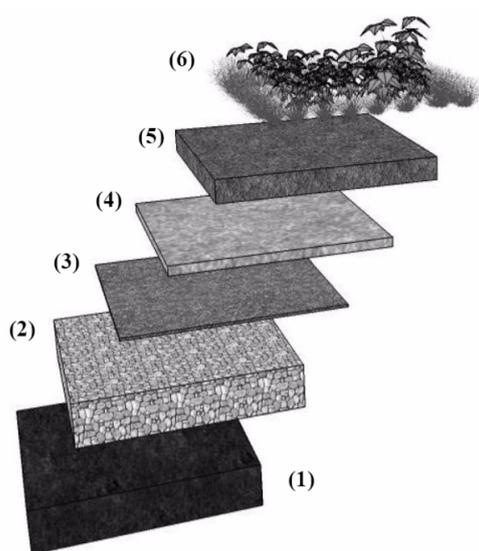
O jardim de chuva constitui uma alternativa que visa a abordagem sustentável da drenagem urbana em ambientes construídos, para isso, utiliza-se desta técnica para a melhoria da infiltração do lote. Esta técnica de manejo de águas pluviais é do tipo de controle na fonte, sendo baseada no conceito da biorretenção e na compensação de áreas impermeáveis.

Esta técnica exerce fundamentalmente as funções de retenção, de armazenamento e de infiltração de águas pluviais. Ele possui taxa de infiltração na superfície de 312,0 mm/h.

2.4.1 Implantação

A implantação do jardim de chuva constitui a realização de uma composição de camadas de diversos tipos, entre elas a camada onde a água irá se infiltrar, levando a recarga subterrânea e ou armazenamento da água; uma camada de alto potencial de infiltração, normalmente formado por brita; pode conter camadas de finos, como areia ou então mantas geotêxteis; camadas de sustentação e subsidio para a camada superior, que normalmente é constituída de gramíneas.

Há diversas estruturas propostas para os jardins de chuva na literatura, dentre elas a proposta por Dunnett e Clayden em 2007, no livro **A Rain Gardens**, a qual pode ser vista na ilustração a seguir:



- (6) Camada superficial onde são dispostas as vegetações do jardim de chuva, recomendando-se a utilização de gramíneas, plantas rasteiras, arbustivas e de espécies nativas, por se adaptarem melhor ao clima da região.
- (5) Local que contém todos os nutrientes que darão suporte à cobertura vegetal utilizada.
- (4) Camada formada, em sua maioria, por areia, para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo.
- (3) Camada constituída por uma manta geotêxtil, destinada à retenção de finos carreados no processo de infiltração.
- (2) Camada formada por brita ou cascalho, onde a água é temporariamente abrigada antes de ser destinada ao solo natural.
- (1) Local onde a água infiltrada pode ser utilizada para recarga subterrânea, armazenamento ou ambos – sistema combinado.

Figura 2-12: Estrutura proposta para jardim de chuva.

Outras referências para as estruturas dos jardins de chuva estão apresentadas a seguir, entretanto se pode notar que não há uma grande variação para elas, apenas nas dimensões apresentada de cada camada da estrutura.

Referência	Estrutura das camadas proposta
Dussaillant, Wu e Potter, 2004	1. Subsolo urbano sem espessura definida; 2. Geotêxtil (manta filtrante); 3. Areia – 70 cm; 4. Adubação – 50 cm de mistura (60% de areia e 40% de matéria orgânica); 5. Cobertura vegetal.
Aravena e Dussaillant, 2009	1. Areia – 150 cm; 2. Adubação – 50 cm de mistura – 50% de areia e 50% de composto orgânico; 3. Cobertura vegetal.
Muthanna, Viklander e Thorolfsson, 2008	1. Cascalho – 10 cm; 2. Malha fina de plástico (filtração); 3. Areia grossa – 50 cm; 4. Adubação – 5 a 10 cm; 5. Bordo livre para retenção – 15 cm; 6. Cobertura vegetal.
Trowsdale e Simcock, 2011	1. Areia – 15 cm; 2. Calcário – 60 a 70 cm; 3. Solo misto – 30 a 40 cm – pedregulhos e solo fértil; 4. Mistura de folhas – 5 cm; 5. Cobertura vegetal.

Figura 2-13: Estruturas de jardins de chuva de acordo com vários autores.

2.4.2 Propriedades interessantes

- **Propriedades filtrantes**

Dado a estrutura de múltiplas camadas, o jardim de chuva apresenta características filtrantes, sendo apresentado a seguir alguns dados provenientes de alguns experimentos realizados.

Pode-se notar que as diversas camadas da estrutura acabam por reter e remover poluentes, reduzindo assim o carregamento de contaminantes presentes nas águas pluviais, levando a diminuição da poluição difusa.

Parâmetros	% removido	Descrição do experimento
TSS – sólidos totais suspensos	² 91,7 ³ 91	¹ Solo arenoso coberto com aproximadamente 5 cm de folhagens, cobertura vegetal composta de gramíneas, arbustos e pequenas árvores.
NTP – fósforo total	² 33,9 ³ 63 ¹ 65 ⁴ 65	² Camada de reservatório (1,21 m) com dreno lateral para extravasamento e borda livre (50% da camada de reservatório). ³ Camada de areia lavada (75 cm), camada de solo poroso (15 cm), camada de folhas secas (5 cm). Solo natural do tipo siltoso.
TN – nitrogênio total	⁵ 38 ⁴ 40 ² 47,9 ¹ 49	⁴ Mistura de areia extraída de uma pedreira e cobertura vegetal (um arbusto a cada 2,3 m ²). Área equivalente a 14,9% da área da bacia. A condutividade hidráulica do solo natural é inferior a 0,42 mm/s.
Cu – cobre	² 46,5 ¹ 97	⁵ Tubulação para drenagem envolvida por pedras e uma manta para proteção; uma camada de material orgânico; borda livre revestida de folhas secas (15 cm), cobertura vegetal com arbustos e árvores. Área equivalente a 5% da área da bacia. A condutividade hidráulica do solo é de 0,11 mm/s.
Pb – chumbo	¹ 95 ² 55,2	⁶ Camada filtrante composta de 60% de areia, 20% de lascas de madeira, 10% de composto orgânico e 10% de solo natural (76,2 cm de profundidade), cobertura vegetal composta de vegetação tolerante a inundação e a seca.
Zn – zinco	² 16,9 ⁶ 68 ¹ 95	

Figura 2-14: Remoção de poluentes em jardins de chuva.

- **Propriedades de infiltração**

Dado a elevada taxa de infiltração e capacidade de armazenamento, o jardim de chuva diminui a lâmina escoada.

2.4.3 Vantagens

O jardim de chuva possui algumas vantagens em relação à alguns métodos tradicionais de drenagem de águas pluviais, algumas destas vantagens estão apresentadas a seguir:

- Proporciona a redução do volume escoado e da taxa de pico dos hidrogramas, sendo que, a implantação deste método não impõe um grande impacto ambiental, sendo considerado um método sustentável. As reduções são provenientes da retenção e armazenamento do volume escoado na superfície do sistema nas camadas do jardim de chuva, isso devido a elevada taxa de infiltração do mesmo.
- Promove a recarga das águas subterrâneas e o reabastecimento do fluxo de base, isso dado a infiltração e redistribuição da água infiltrada nas camadas subterrâneas da estrutura.
- Dado que o volume do escoamento superficial é reduzido, há também a diminuição dos efeitos erosivos causadas por ela.
- Intensifica processos hidrológicos tais como a infiltração e a evapotranspiração.
- Dado a capacidade filtrante, citada anteriormente, ele pode melhorar a qualidade das águas.

- Menor custo de implantação, quando comparado a outros sistemas, dado que não utiliza materiais custosos, como tubulações, dentre outros, mas apenas materiais como areia, brita, etc.
- Grande aceitabilidade do método pela população devido aos benefícios estéticos, paisagísticos e ambientais apresentados pelo mesmo.
- Ele auxilia na questão do equilíbrio entre o meio urbano e o ambiental, isso porque ele é um método de controle na fonte e na prevenção de impactos relacionados ao escoamento superficial das águas pluviais.

2.5 Cisterna

Cisternas são grandes tanques que armazenam a água da chuva, recolhida a partir de superfícies impermeáveis. Existem diversos modelos de cisterna: quadradas, retangulares, cilíndricas, cônicas, entre outros formatos. Em geral, para sua construção, utilizam-se os seguintes materiais: blocos de cimento, concreto armado, fibra de aço ou vidro, PVC. Há uma série de modelos de cisterna, sendo os mais comuns: minicisterna, cisterna de placas e cisterna subterrânea.

A água recolhida só pode ser usada para usos não potáveis, tais como descargas em vasos sanitários, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais. Isso se deve a possíveis contaminações e presença de agentes patogênicos na água captada. Usando a água da chuva para executar aquelas funções, pode-se reduzir os custos associados com o fornecimento de água potável a partir de sistemas de abastecimento tradicionais.

O uso de cisternas apresenta algumas vantagens como a redução da vazão de pico do escoamento, auxiliando a conter enchentes; é uma alternativa que pode atenuar o racionamento em períodos de crise hídrica; traz uma economia na conta de água, valoriza o imóvel. Por outro lado, há algumas desvantagens, como por exemplo: a necessidade de limpeza periódica; a necessidade de contratação de um profissional dependendo da finalidade que se deseja atribuir à cisterna; atendimento aos padrões de qualidade a depender da utilização prevista.

2.5.1 Funcionamento

As cisternas consistem, basicamente, em calhas que levam a água da chuva do telhado até um filtro que elimina impurezas, como folhas ou pedaços de galhos. Um freio d'água impede que a entrada da água ocasione uma agitação no fundo suspendendo as partículas depositadas.

Para a concepção do projeto, a NBR 15527 estabelece alguns requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Alguns dos requisitos são: deve-se constar o alcance do projeto, a população que utiliza a água de chuva e a determinação da demanda a ser definida pelo projetista, além de incluir os estudos das séries históricas e sintéticas das precipitações da região onde será feito o aproveitamento de água de chuva. Para a concepção das calhas e

condutores, deve ser observados o período de retorno escolhido, a vazão de projeto e a intensidade pluviométrica. É necessário instalar dispositivos para a remoção de detritos. Pode ser instalado no sistema, um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial. Para os reservatórios, deve ser minimizado o turbilhamento, dificultando a ressuspensão de sólidos e o arraste de materiais flutuantes. A retirada de água do reservatório deve ser feita próxima à superfície (recomenda-se que seja feita a 15 cm da superfície). Além disso, a água de chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasão.

O volume de água de chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela seguinte equação: $V = P \times A \times C \times \text{fator de captação}$. Onde V é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável; P é a precipitação média anual, mensal ou diária; A é a área de coleta; C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura; fator de captação é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

Abaixo, vê-se um esquema de uma mini cisterna (Figura 2-12):



Figura 2-15: Esquema de funcionamento de minicisternas.

A Figura 2-13 ilustra o funcionamento de uma cisterna subterrânea:

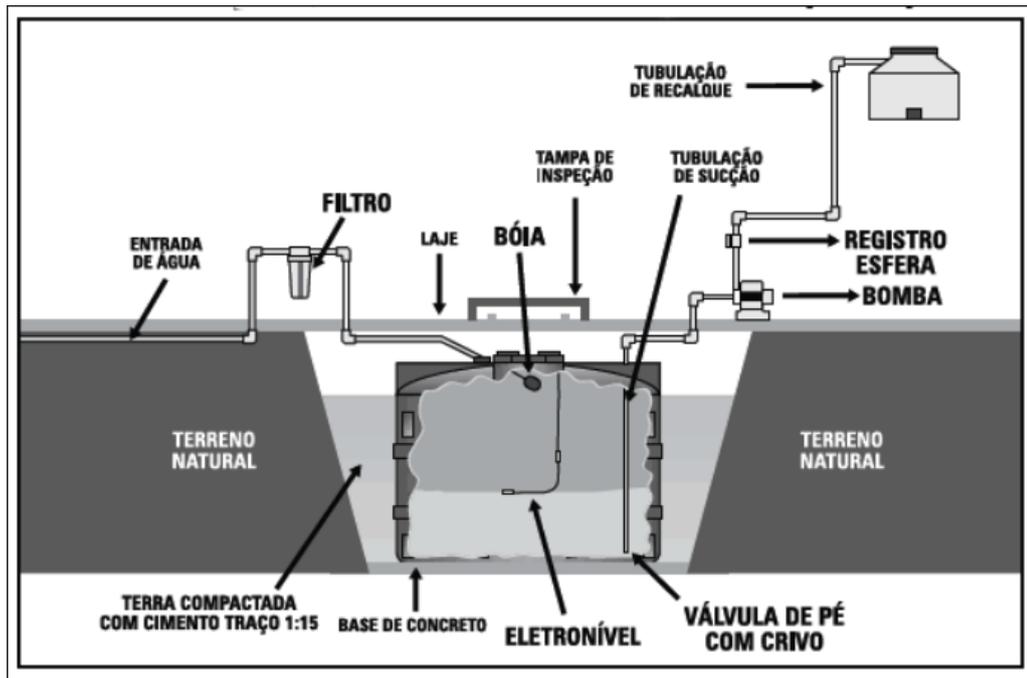


Figura 2-16: Funcionamento de uma cisterna subterrânea.

3. Referências Bibliográficas

BRATTEBO, B. O.; BOOTH, D. B. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. **Water research**, v. 37, n. 18, p. 4369–4376, 2003.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION - MONTGOMERY COUNTY. **What is Stormwater?** Disponível em: <<https://www.montgomerycountymd.gov/DEP/Resources/Images/water/Outreach/ME-figue1-1-water-balance.jpg>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

DUARTE, R. X. M. Reservatórios de Lote para Drenagem Urbana. **Trabalho Final de Graduação. Escola Politécnica, UFRJ**, 2003.

MIGUEZ, M.; REZENDE, O.; VERÓL, A. **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. [s.l.] Elsevier Brasil, 2015.

MOTA, E.; BASTOS, C. Pavimento Permeável. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, p. 20, 2013.

Melo, T. dos A. T. DE. **JARDIM DE CHUVA: Sistema de Biorretenção como Técnica Compensatória no Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2011. Acessado em 2017 e disponível em: http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/5799/arquivo6628_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Melo, T. dos A. T. DE; Coutinho, A. P.; Cabral, J. J. da S. P.; Antonino, A. C. D.; Cirilo, J. A.; **JARDIM DE CHUVA: Sistema de Biorretenção para o Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.14, n. 4, p. 147-165, out. /dez. 2014.

ABNT NBR 15.527 - Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos

Links acessados:

[https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Infiltration trench combined](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Infiltration_trench_combined) - Acessado em 09/11/2017 às 22:38

http://www.phillywatersheds.org/what_were_doing/green_infrastructure/tools/infiltration_storage_trench - Acessado em 09/11/2017 às 22:23

<http://nwrn.eu/measure/infiltration-trenches> - Acessado em 09/11/2017 às 22:00

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/91018M1F.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Dat>

[a%5C95thru99%5CTxt%5C00000032%5C91018M1F.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL](http://www.esf.edu/ere/endreny/GICalculator/InfiltrationIntro.html) - Acessado em 31/10/2017 às 14:32

<http://www.esf.edu/ere/endreny/GICalculator/InfiltrationIntro.html> - Acessado em 30/10/2017 às 12:14

<https://www.melbournewater.com.au/planning-and-building/stormwater-management/options-treating-stormwater/infiltration-trenches> - Acessado em 30/10/2017 às 12:03

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19587416> - Acessado em 30/10/2017 às 11:47

<http://nwrn.eu/measure/infiltration-trenches> - Acessado em 30/10/2017 às 11:31

https://en.wikipedia.org/wiki/Percolation_trench - Acessado em 30/10/2017 às 11:15

<https://extension.psu.edu/rainwater-cisterns-design-construction-and-treatment>

<http://www.esf.edu/ere/endreny/GICalculator/CisternsIntro.html>

<http://www.ecoeficientes.com.br/oque-e-uma-cisterna/>

<https://sustainability.asu.edu/urban-climate/green-roof-calculator/>