

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE**

**CURSO DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE**

**PROJETO FINAL EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE I**

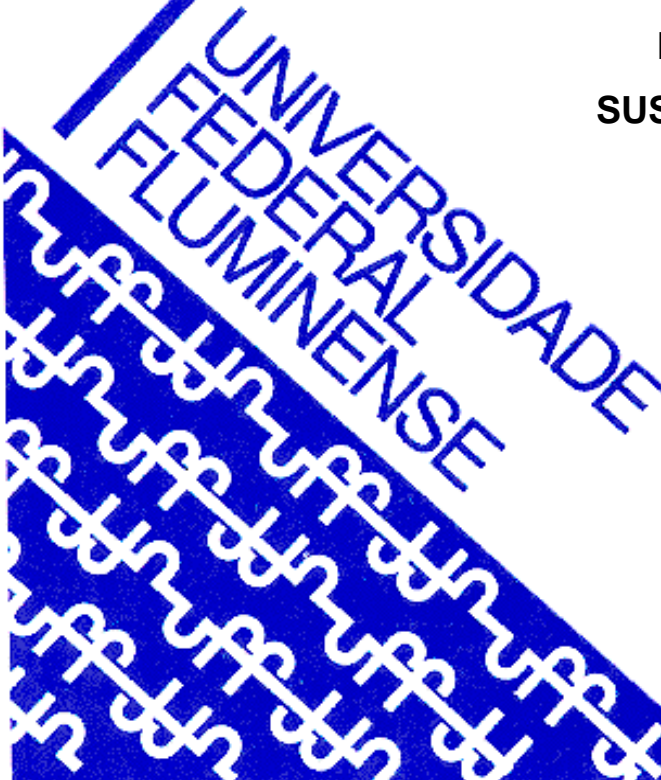
**DANIELLA GDANSKI**

**ANÁLISE DE MEDIDAS ESTRUTURAIS  
E NÃO-ESTRUTURAIS PARA A  
SUSTENTABILIDADE NA DRENAGEM  
URBANA**

Orientador:  
Prof. Marcelo Wangler Ávila, M.Sc

NITERÓI, RJ

Janeiro/2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E  
DO MEIO AMBIENTE**

**DANIELLA GDANSKI**

**ANÁLISE DE MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO-ESTRUTURAIS  
PARA A SUSTENTABILIDADE NA DRENAGEM URBANA**

NITERÓI  
2017

**DANIELLA GDANSKI**

**ANÁLISE DE MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO-ESTRUTURAIS  
PARA A SUSTENTABILIDADE NA DRENAGEM URBANA**

Projeto Final I de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente, da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a obtenção do Grau de Graduação em Engenharia Ambiental.

**ORIENTADOR**

**PROF. MARCELO WANGLER ÁVILA, M.Sc**

NITERÓI

2017



# Agradecimentos

Agradeço a minha mãe e ao meu pai por sempre me apoiarem em todas as etapas da minha vida e principalmente nessa. Sempre estiveram presentes e por perto, fosse com palavras ou apenas olhares, sorrisos e gestos. E também à minha irmã, por dividir comigo o mesmo espaço nessa jornada, e desde sempre.

Agradeço especialmente ao meu namorado, Roberto, que tornou essa jornada mais prazerosa. Sempre compreensivo e amoroso, me auxiliando nesse processo de todas as maneiras possíveis.

Agradeço as amigadas que fiz nessa trajetória dentro da faculdade, presentes que a UFF me deu e que vou levar para sempre comigo. Sem elas, tudo certamente teria sido muito mais difícil e não tão divertido.

Agradeço à todo o corpo docente que se dedicou para tornar as aulas mais prazerosas e propiciar um curso de qualidade. Sobretudo à coordenação do curso que sempre esteve presente e disposta a ajudar nessa caminhada da graduação. Agradeço também ao meu orientador, professor Marcelo Ávila, que se dispôs a me auxiliar na construção desse trabalho.

*“Alguns homens vêem as coisas como são,  
e dizem ‘Por quê?’  
Eu sonho com as coisas que nunca foram  
e digo ‘Por que não?’” .  
(George Bernard Shaw)*

# Resumo

A interação entre atmosfera e hidrosfera sempre esteve em perfeito equilíbrio. O fluxo da água como recurso natural pelos diferentes elementos constituintes dessas esferas constitui o ciclo hidrológico, o qual sofreu grandes impactos e prejuízos através do longo processo de urbanização. O homem, em seu favorecimento, buscou trazer esse equilíbrio para seu estado natural, a fim de evitar prejuízos para sua vida na Terra. Assim, canalizou rios e córregos para que a água escoada saísse das cidades em direção aos corpos hídricos. Fruto da retirada da cobertura vegetal existente junto dessas obras, inundações e enchentes ganharam força e frequência trazendo impactos significativos nos âmbitos social, econômico e ambiental. Todas essas adversidades, as quais podem ser evitadas, foram a motivação inicial desse estudo, cujo objetivo é elucidar a nova visão global acerca da sustentabilidade urbana, os principais movimentos mundiais em relação ao manejo de águas pluviais, bem como suas principais medidas sustentáveis e alternativas ao sistema convencional, reestabelecendo assim, a condição inicial de equilíbrio do ciclo hidrológico.

**Palavras-chave:** drenagem urbana, sustentabilidade

# Abstract

The interaction between atmosphere and hydrosphere has always been in perfect equilibrium. The water flow as a natural resource by the different elements that compose these spheres constitutes the hydrologic cycle, which has suffered great impacts and damages through the urbanization process. Humanity, in its favor, tried to bring back this equilibrium to its natural state, with the aim of avoiding losses to its life on Earth. Therefore, canalized rivers and streams to drain the water from cities towards water bodies. A consequence of removing the pre existing vegetal cover near by these constructions, floods and spates have grown in strenght and frequency bringing significant impacts in social, economic and environmental spheres. All those adversities, wich could be avoided, were the initial motivation of this work, whose objetive is to elucidate the new global vision about sustainable urban drainage, the main world movements related to the management of stormwater, as well the majors sustainable practices and alternatives to the conventional system, restoring the initial equilibrium condition of the hydrologic cycle.

**Key words:** urban drainage, sustentability.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – <i>Ciclo hidrológico no planeta Terra. Extraído de (PAZ, 2004).</i> . . . . .	15
Figura 2 – <i>Comparação dos processos no ciclo hidrológico nos cenários de cobertura natural e 75%-100% impermeável do solo. Adaptado de , EPA.</i> . . . . .	17
Figura 3 – <i>Fluxograma dos efeitos da urbanização considerando o aumento populacional e a ocupação inadequada do solo. Estas fontes impactam o sistema de drenagem urbana e resultam em problemas de poluição das águas e inundações de áreas urbanas. Modificado de (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2002).</i>	18
Figura 4 – <i>Esquema ilustrativo das metas dentro do planejamento WSUD. Modificado de (HOBAN et al., 2006).</i> . . . . .	37
Figura 5 – <i>Imagem da bacia de retenção instalada no parque da cidade do município de Guimarães, Portugal. Exemplo da integração da bacia ao perímetro urbano.</i> . . . . .	44
Figura 6 – <i>Foto de uma via no centro da cidade de Portland, EUA, com sistema de biorretenção implantada pela prefeitura e a Universidade de Portland (projeto Green Street). Extraído do website Instituto Telhado Instituto Mobilidade Verde (2016).</i> . . . . .	46
Figura 7 – <i>Esquema ilustrativo da estrutura típica dos jardins de chuva.</i> . . . . .	47
Figura 8 – <i>Modelo ilustrativo do filtro de caixa de árvore.</i> . . . . .	50
Figura 9 – <i>Imagem de filtro de caixa de árvore instalado em Milton, Massachusetts, EUA.</i> . . . . .	51
Figura 10 – <i>Imagem ilustrativa dos componentes presentes no poço de infiltração. Extraído de REIS (2005).</i> . . . . .	53
Figura 11 – <i>Esquema de ligação da água captada pela edificação ao poço de infiltração.</i> . . . . .	54
Figura 12 – <i>Imagem do pavimento permeável em uma área de estacionamento.</i> . . . . .	55
Figura 13 – <i>Divisão dos pavimentos permeáveis, de acordo com Azzout et. al. (1994).</i> . . . . .	58
Figura 14 – <i>Esquema com as parcelas adotadas no experimento com os 4 tipos de cobertura para análise do escoamento superficial urbano. Ao lado, a foto evidenciando o cumprimento do esquema estabelecido. Modificado de (MAUS et al., 2007).</i> . . . . .	59
Figura 15 – <i>Ilustração da composição típica dos telhados verdes. Extraído de TASSI et al. (2014).</i>	61

Figura 16 – *Comparação do comportamento do telhado verde e do telhado convencional durante simulação de chuva de 42 mm/h durante período de 13 minutos de avaliação.*

*Extraído de (DE OLIVEIRA, 2009). . . . . 62*

# Lista de tabelas

Tabela 1	– <i>Tabela com os números de óbitos, feridos, entre outros, provocados pelas inundações no Brasil ao longo do ano 2011. Dados obtidos do Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2011.</i> . . . . .	23
Tabela 2	– <i>Fases ao longo da história do desenvolvimento da drenagem das águas urbanas. Extraído de TUCCI (2008).</i> . . . . .	30
Tabela 3	– <i>Contraponto entre conceitos higienistas e conceitos alternativos, denominados como sustentáveis, de drenagem urbana. Extraído de NASCIMENTO et al. (1999).</i> . . . .	32
Tabela 4	– <i>Comparação entre atributos hidrológicos de práticas de LID e convencionais. Adaptado de Department of Environmental Resources (1999)</i> . . . . .	36
Tabela 5	– <i>Parâmetros de projeto para implementação de bacias de retenção e detenção.</i> . . .	45
Tabela 6	– <i>Quadro com as características dos jardins de chuva.</i> . . . . .	48
Tabela 7	– <i>Comparação da infiltração no solo natural e jardim de chuva piloto. Extraído de DE MELO (2011).</i> . . . . .	49
Tabela 8	– <i>Tabela com o desempenho no tratamento de água avaliado pela universidade de New Hampshire.</i> . . . . .	52
Tabela 9	– <i>Tabela com o desempenho no tratamento de água avaliado pela Universidade da Virgínia.</i> . . . . .	52
Tabela 10	– <i>Parâmetros de projeto para implementação de pavimentos permeáveis.</i> . . . . .	59
Tabela 11	– <i>Valores acumulados de escoamento superficial e o volume infiltrado em cada parcela com tipo de cobertura (MAUS et al., 2007).</i> . . . . .	60
Tabela 12	– <i>Características de telhados verdes extensivos, semi-intensivos e intensivos.</i> . . . .	61
Tabela 13	– <i>Tabela com legislações municipais adotadas em algumas cidades brasileiras.</i> . . . .	69

# Lista de abreviaturas e siglas

EUA	Estados Unidos da América
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico.
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento.
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano.
SMRH	Secretaria Municipal de Saneamento e Recursos Hídricos.
ONU	Organização das Nações Unidas.
UNESCO	acronismo para “ <i>United Nations for Education, Science and Culture Organization</i> ”, cuja tradução é Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura.
SUDS	acronismo para “ <i>Sustainable Urban Drainage Systems</i> ” cuja tradução é Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana.
WSUD	acronismo para “ <i>Water Sensitive Urban Design</i> ” cuja tradução é Projeto Urbano Sensível às Águas.
NRCA	acronismo para “ <i>National Roofing Contractor Association</i> ”
LID	acronismo para “ <i>Low Impact Development</i> ” cuja tradução é Desenvolvimento de Baixo Impacto.

# Sumário

	<b>Lista de ilustrações</b> . . . . .	<b>7</b>
	<b>Lista de tabelas</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>15</b>
1.1	Prólogo . . . . .	15
1.2	Objetivos . . . . .	20
1.2.1	Objetivo geral . . . . .	20
1.2.2	Objetivos específicos . . . . .	21
1.3	Relevância do projeto . . . . .	21
1.4	Estrutura do projeto . . . . .	25
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> . . . . .	<b>27</b>
2.1	Sistema clássico ou convencional . . . . .	27
2.2	Histórico da drenagem urbana . . . . .	28
2.3	Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável . . . . .	32
2.4	Drenagem urbana sustentável . . . . .	33
2.4.1	Low Impact Development (LID) . . . . .	34
2.4.2	Water Sensitive Urban Design (WSUD) . . . . .	37
2.4.3	Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) . . . . .	38
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> . . . . .	<b>41</b>
3.1	Materiais . . . . .	41
3.2	Métodos . . . . .	41
<b>4</b>	<b>MEDIDAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM</b> . . . . .	<b>42</b>
4.1	Medidas estruturais . . . . .	43
4.1.1	Bacias de retenção e retenção . . . . .	43

4.1.2	Biorretenção (Jardim de Chuva) . . . . .	46
4.1.3	Filtro de Caixa de Árvore . . . . .	49
4.1.4	Poço de infiltração . . . . .	52
4.1.5	Pavimento Permeável . . . . .	54
4.1.6	Telhado Verde . . . . .	60
<b>4.2</b>	<b>Medidas Não-Estruturais . . . . .</b>	<b>63</b>
4.2.1	Sistema de Previsão e Alerta . . . . .	64
4.2.2	Ações de regulamentação do uso e ocupação do solo . . . . .	65
4.2.3	Educação Ambiental . . . . .	66
4.2.4	Leis, Normas e incentivos fiscais . . . . .	68
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>73</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>76</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Prólogo

É de amplo conhecimento que o ciclo hidrológico é um processo natural alimentado pela força da gravidade e também pela energia solar, onde a água se movimenta continuamente entre as diferentes esferas do planeta terra. A água superficial, presente nos rios, lagos, oceanos e outros, evapora. Como na atmosfera, quanto maior a altitude menor a temperatura, ao passo que o vapor d'água sobe, o mesmo condensa e há a formação de nuvens por pequenas gotículas de água. Num dado momento em que a nuvem está pesada, isto é, bastante carregada de gotículas, ocorre a precipitação, e a água volta para a superfície, finalizando seu ciclo. Esse processo é ilustrado na Fig. 1.

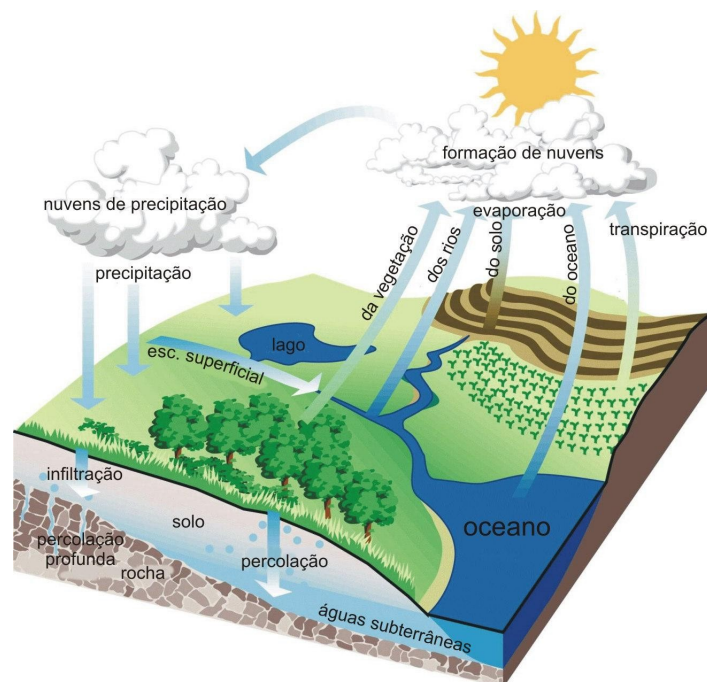


Figura 1 – *Ciclo hidrológico no planeta Terra. Extraído de (PAZ, 2004).*

Vale ressaltar que além da evaporação da água que está na superfície do solo e dos corpos hídricos, a água absorvida pelas plantas também evapora e esse fenômeno é denominado como evapotranspiração.

Ao encontrar a superfície da Terra, a água precipitada pode seguir por inúmeros caminhos. Tanto através da infiltração e percolação, que é a passagem lenta, no solo ou rochas, bem como ressurgir na superfície na forma de nascentes, fontes, pântanos ou alimentar rios e lagos. Na percolação, a água retida nos espaços vazios dos solos e das rochas pode culminar na formação de aquíferos, dependendo do tempo de retenção.

Nos casos em que a intensidade da precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo, ou a impermeabilização do mesmo é alta, praticamente toda a água que chega à terra segue o fluxo de escoamento superficial.

Segundo BOTELHO (2012), a forma e conformação da terra é resultado de milhões de anos de transformação pois a ação da chuva e dos ventos a moldara na sua forma mais estável, isto é, de “melhor equilíbrio”, resultado de ações erosivas versus sua constituição ou natureza, sua topografia e geologia.

No entanto, nos anos mais recentes, o desenvolvimento urbano acelerado e não planejado alterou significativamente essa formação do sistema natural, resultando num desequilíbrio no balanço estável previamente existente.

De acordo com BOTELHO (2012) “a urbanização e o loteamento de uma área significam na prática:

- retirada considerável de parte de sua vegetação, a qual protegia o solo da ação erosiva das águas pluviais;
- abertura de ruas, fazendo-se cortes e aterros;
- criação de plateau para as edificações;
- edificação nos lotes;
- pavimentação de ruas;
- colocar gente na área”;

Seguindo essa definição, temos de forma associada à urbanização o aumento de áreas impermeáveis devido às pavimentações e às construções, pois, ao longo do tempo, para acomodar novos desenvolvimentos, afluentes e zonas úmidas que cercam rios urbanos sofreram processo



de canalização. Acarretando, por consequência, em redução de infiltração da água da chuva no solo e aumento significativo no volume e na velocidade de fluidez do escoamento superficial.

Além desses, também podem ser observados como impactos da urbanização o aumento das vazões máximas em várias vezes e da sua frequência em virtude do aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais, aumento da produção de sedimentos provocado pela falta de proteção das superfícies e pela produção de resíduos sólidos (lixo urbano) e a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea em razão da lavagem das ruas, transporte de material sólido e de ligações clandestinas de esgoto.

Além da redução de cobertura vegetal, a perda de sistemas hidrológicos naturais, como rios e zonas úmidas em cidades, torna as mesmas mais vulneráveis a inundações, reduzindo drasticamente tanto o armazenamento quanto o transporte natural de grandes volumes de água.

Os efeitos supracitados provocam grandes alterações, que desequilibram o ciclo hidrológico (Figura 2).

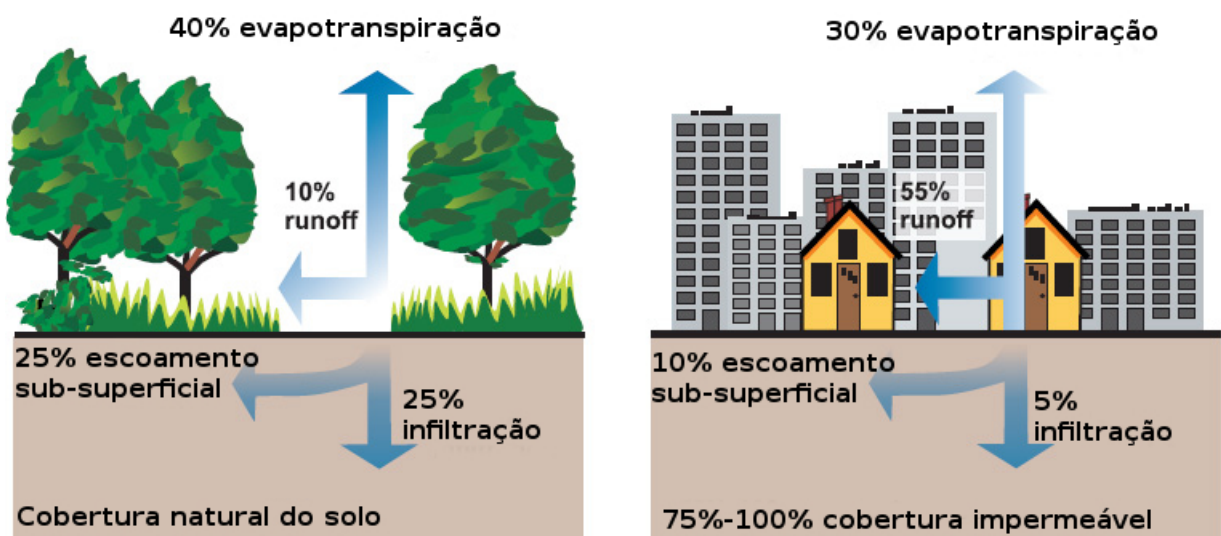


Figura 2 – Comparação dos processos no ciclo hidrológico nos cenários de cobertura natural e 75%-100% impermeável do solo. Adaptado de , EPA.

Essas inundações trazem sérios riscos para a população que ocupa as cidades, como as doenças de veiculação hídrica, alagamentos que impossibilitam o trânsito de veículos e pedestres, deslizamentos de terra, inundações e enchentes. E, por consequência, perdas de vidas e econômicas.

O conceito antigo, denominado higienista, termo originado na Europa, foi o primordial, fundamentado no objetivo de escoar a água pluvial o mais rápido possível para jusante, impulsionando as obras de drenagem através da canalização de rios e ampliação dos mesmos em direção aos corpos hídricos, receptores dessas águas.

Em análise global, essas intervenções na criação da estrutura da rede de drenagem trouxeram uma melhoria no aspecto sanitário e urbanístico, o que contribuiu para o aumento populacional, isto é, incremento no processo da urbanização, as quais causaram mais impactos ao longo do processo, culminando assim na poluição das águas urbanas e intensificação de enchentes e inundações, conforme evidenciado na figura 3.

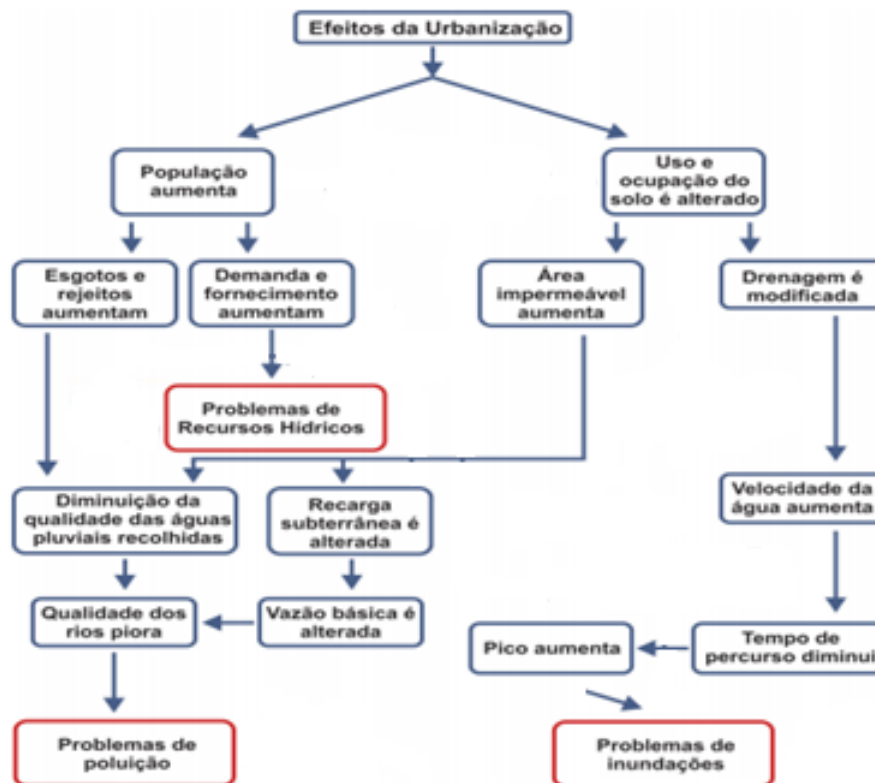


Figura 3 – Fluxograma dos efeitos da urbanização considerando o aumento populacional e a ocupação inadequada do solo. Estas fontes impactam o sistema de drenagem urbana e resultam em problemas de poluição das águas e inundações de áreas urbanas. Modificado de (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2002).

A fim de mudar essa realidade, atualmente, existem alternativas sustentáveis de drenagem urbana, as quais podem possuir o intuito de aumentar as áreas verdes nas áreas urbanas para

compensar o que foi suprimido além de proporcionar um aumento de infiltração dessas águas precipitadas em concomitância à redução dos escoamentos superficiais. Isto é, tentar reestabelecer o equilíbrio anterior do ciclo hidrológico, além de proporcionar a opção de capturar e utilizar conscientemente essa água da chuva.

Acerca disso, deve-se ter investimento na obtenção de conhecimento dessas técnicas, além de realização de obras públicas e privadas das mesmas na composição da drenagem urbana, a fim de mitigar os impactos negativos.

Aliadas à essas alternativas sustentáveis de drenagem urbana, outro modo de contribuir para melhorias do sistema de drenagem como um todo é a criação de novas políticas públicas que informem à população sobre a necessidade de esses sistemas serem implementados associados à importância de não jogar lixo na rua, bem como o incentivo dessas obras em novos projetos urbanos e construções já existentes. Vale salientar a criação de leis como forma de obrigar a implementação desses sistemas, com o objetivo de reduzir impactos cada vez maiores, de modo a evitar que o sistema fique tão sobrecarregado a ponto da situação se tornar irreversível.

Este trabalho faz uma reflexão sobre as cheias urbanas que estão diretamente associadas às falhas desses subsistemas, microdrenagem e macrodrenagem, em conjunto, ou separadamente, seja por erro de concepção, falta de manutenção ou por obsolescência e até um certo nível de descaso devido ao acelerado e desorganizado crescimento urbano isento de planejamento e auxílio.

É por esse motivo que os projetos de drenagem devem ser pensados em conjunto com o plano urbanístico da cidade, tanto no que diz respeito às questões de zoneamento e uso do solo, como em relação ao crescimento urbano.

Ademais, serão apresentadas alternativas sustentáveis de detenção de fluxo que auxiliam o subsistema de microdrenagem urbana na diminuição de picos de cheias, evitando assim, os problemas causados nas cidades, inclusive os riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Um dos benefícios de alguns desses dispositivos é o aumento de área verde na cidade, proporcionando um ar de melhor qualidade e uma temperatura mais amena, tendendo assim a melhorar a qualidade de vida nesses grandes centros urbanos.

Retardamento do escoamento superficial e uma maior infiltração de água no solo e de melhor

qualidade devido a melhoria das condições, bem como detenção e retenção em reservatórios incluindo o reaproveitamento da água da chuva, são características adicionais à essas estruturas denominadas sustentáveis.

Além disso, alguns desses sistemas alternativos de microdrenagem urbana permitem um maior controle sobre a qualidade da água infiltrada no solo e que é reaproveitada, evitando-se assim, a poluição de corpos hídricos pela água advinda do escoamento superficial e futuramente problemas de saúde, visto que essa água pode servir para abastecimento a jusante além de auxiliar na recarga de aquíferos. Também evitará a contaminação da população no aproveitamento de água da chuva, mesmo que para fins não nobres.

Esses dispositivos vêm sendo desenvolvidos e implantados em diversos países. São exemplos de alguns deles: pavimento permeável, reservatórios de detenção e retenção, poço de infiltração, telhado verde, biorretenção, entre outros. Tais sistemas podem ser empregados em conjunto ou separadamente, de acordo com o projeto proposto ou com as necessidades e/ou possibilidades locais, proporcionando uma boa relação custo-benefício, além dos ganhos sociais e ambientais.

Vale ressaltar a importância de realizar questionamento sobre a viabilidade técnica e econômica a respeito da implementação da respectiva alternativa de drenagem sustentável e avaliar se os resultados serão significativos para compensar os efeitos da urbanização, atuando na mitigação dos impactos negativos gerados por este processo.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

A partir de uma revisão de literatura, será analisada a aplicabilidade de medidas estruturais e não-estruturais, alternativas ao sistema convencional de drenagem urbana, associadas aos conceitos de sustentabilidade na esfera do manejo das águas pluviais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Ressaltar a importância do manejo sustentável das águas pluviais no contexto do desenvolvimento atual das cidades

Elucidar conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável a nível mundial relacionados ao manejo das águas pluviais

Analisar a aplicabilidade de algumas estruturas referenciadas na literatura para sustentabilidade da drenagem urbana

Expor as leis e os incentivos das administrações públicas que viabilizem maior difusão e uso de sistemas sustentáveis de drenagem urbana.

## 1.3 Relevância do projeto

A água é o recurso primário de integração que afeta e é afetado por todos os setores de planejamento: uso do solo, transporte, infraestrutura, espaços livres, manejo de resíduos e geração de energia. A lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007) é a Lei Nacional de Saneamento Básico e estabelece as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico e para a Política Federal de Saneamento Básico. De acordo com esta lei, capítulo I, Art. 3º, Inciso I,

*a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas são caracterizados pelo conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.*

Conforme indicado na lei Nacional de Saneamento Básico, o manejo de águas pluviais é um dos itens básicos dentro de uma sociedade e deve ser avaliada pelos órgãos públicos. No entanto, ao longo do processo de urbanização das cidades não foi dada a devida importância ao planejamento da drenagem urbana.

A impermeabilização da bacia foi e é, cada vez mais, uma realidade presente e inevitável. Por consequência, provoca-se a diminuição do tempo de concentração, isto é, tempo idealizado que leva a água para se deslocar do ponto hidráulicamente mais distante ao exutório da bacia. Assim, o aumento das vazões afluentes e os picos de cheias maiores e antecipados em relação a configuração natural reduzem a recarga subterrânea, que não é a mesma do passado. Isso desencadeia outra consequência mais grave com relação ao lençol freático. O lençol freático,

cuja função é providenciar alimentação a rios adjacentes em períodos secos e também manter o fluxo de base essencial e a integridade biológica e de habitat de rios, sofre danos por insuficiência de aporte de água. Rios de cabeceira com pouca contribuição de áreas tributárias são especialmente sensíveis às mudanças localizadas na recarga subterrânea e ao escoamento de base (County, 1999).

Ao mesmo tempo que prejudica a recarga subterrânea dos aquíferos, o aumento de escoamento superficial causa inúmeras complicações para as populações das cidades. Os prejuízos nos âmbitos social, econômico e ambiental são incalculáveis. Sem contar os fatores políticos que muitas vezes, ao invés de favorecerem a transformação de todo esse panorama e beneficiar a população, acabam por prejudicar o planejamento estratégico das cidades. Embora a grande maioria da população e coincidentemente os grandes envolvidos politicamente não perceba a importância da drenagem, neste presente trabalho, ficará evidenciada a relevância da drenagem urbana inserida no contexto das cidades brasileiras. As principais questões com respeito à drenagem serão avaliadas visto que a água é o bem mais precioso que temos em nosso planeta Terra.

No sistema de drenagem, as águas pluviais manifestam, ao longo do seu percurso, as potencialidades e oportunidades bem como os problemas e as ameaças para o ambiente urbano. Portanto, pode-se dizer que a água é uma radiografia do ambiente em que está inserida (DE MOURA, 2014).

Dentro do processo de desenvolvimento urbano desordenado, a área de inundação de rios geralmente não foi respeitada. Nos períodos chuvosos, rios ocupam naturalmente sua área de inundação e alagam casas que ali estão inapropriadamente estabelecidas.

O panorama atual da ocorrência destes eventos cada vez mais frequentes e drásticos, além da impermeabilização do solo decorrente principalmente da pavimentação e construção das edificações, já bastante citada, é resultado também do desmatamento de matas ciliares, do microclotamento da terra e da canalização de rios. Soma-se a isso a falta de saneamento básico, seja pela deficiência nos sistemas de abastecimento de água e rede de esgoto e coleta de lixo e sistema de drenagem, ou até mesmo pela ausência destes. A retirada de cobertura vegetal contribui ainda, para a formação de ilhas de calor, aumentando, ainda mais, as possibilidades de

formação de temporais.

Enchentes, inundações, alagamentos, deslizamentos de terra e riscos de desabamento retiraram pessoas de suas casas, impossibilitam a circulação de pessoas e mercadorias, além de causar inúmeras doenças. Como exemplos, podemos citar doenças como a malária, a esquistossomose, leptospirose, cólera e as transmitidas pelo mosquito *Aedes Aegypti*. Estima-se (Niemczynowicz 1999 apud (SOUZA et al., 2012)) que metade das doenças do mundo e aproximadamente 25 milhões de mortes por ano estão relacionados ao impacto da poluição das águas.

Além dos impactos na saúde pública há a questão econômica, com interrupção parcial ou total das atividades comerciais nas áreas inundadas ou que sofreram desastres como deslizamentos de terra, por exemplo.

Tabela 1 – *Tabela com os números de óbitos, feridos, entre outros, provocados pelas inundações no Brasil ao longo do ano 2011. Dados obtidos do Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2011.*

<b>Região</b>	<b>Óbitos</b>	<b>Feridos</b>	<b>Desabrigados</b>	<b>Desalojados</b>	<b>Afetados</b>
Centro-oeste	1	0	17	2.321	83.249
Nordeste	1	0	7.400	32.751	308.928
Norte	0	0	17.723	72.266	476.354
Sudeste	6	2	4.574	33.270	288.644
Sul	71	193	19.930	175.277	893.256
Total	79	195	49.644	315.685	2.050.431

Mais grave que o prejuízo na economia local são as perdas de vidas provocadas por desastres (DE MOURA, 2014). De acordo com o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2011, aproximadamente 2,0 milhões de pessoas foram diretamente atingidas pelas chuvas nas diversas regiões do país resultando em 18% de desabrigados ou desalojados, conforme apresentado na tabela 1. Segundo (MIGUES et al., 2015), estatísticas mostram que as cheias são o fenômeno natural que mais causa danos e perdas ao redor do mundo. Freeman (1999) apud (MIGUES et al., 2015), afirma que 60% das perdas de vidas humanas e 30% das perdas econômicas causadas por desastres naturais ocorrem devido à enchentes.

A qualidade das águas subterrâneas também é um fator de preocupação. Em relação à isso, a Resolução CONAMA de número 396 de 2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. A mesma considera a necessidade de promover a proteção da qualidade das águas subterrâneas pois, uma

vez que poluídas ou contaminadas, sua remediação é lenta e onerosa.

Uma das principais fontes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas são os resíduos sólidos. Estes são carregados pelo escoamento superficial, devido a uma deficiência na rede de coleta aliada a falta de consciência da população. Pesticidas e fertilizantes aplicados na agricultura, restos e dejetos de animais, tanques de armazenamento de óleo, postos de combustível e o armazenamento industrial de produtos químicos também são possíveis cargas responsáveis pela degradação de corpos hídricos conduzidas pela rede de drenagem. A inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamento de água e esgoto e aterros sanitários, principalmente os construídos em áreas de recarga e com solos de alta permeabilidade, são outras formas de contaminação dessas águas urbanas.

Outra possível fonte de contaminação no caso dos aquíferos é a fossa séptica, utilizada como destino final do esgoto em grande parte das cidades brasileiras onde ainda não existe rede pública para coleta e tratamento de efluentes domésticos. Esse conjunto, se não projetado de forma adequada, tende a contaminar a parte superior do aquífero e comprometer o abastecimento de água da população, quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos, através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos.

Todas as fontes de contaminação citadas anteriormente são denominadas como fontes de poluição difusa, uma vez que provém de atividades humanas, desenvolvidas no processo de ocupação e uso do solo, que depositam poluentes de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2012).

No Brasil, em algumas localidades, os sistemas de drenagem são do tipo combinado, ou seja, recebem contribuição do esgoto cloacal domiciliar além das águas pluviais (CRUZ, 2004). Este é um fator potencial para poluição dos corpos hídricos urbanos além dos casos de ligação clandestina do esgoto para a rede de drenagem.

(TUCCI, 2005) afirma que a qualidade da água pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário e que esta depende: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana. Em determinadas condições a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial pode ser superior à encontrada no esgoto in natura. O volume é mais significativo no início das



enchentes. A água poluída, uma vez captada pelas Estações de Tratamento de Água, demandam um maior cuidado e mais custos para o seu tratamento. Isso porque a água oferecida deve ser potável e estar de acordo com os parâmetros exigidos e adequados quanto ao abastecimento da população, em conformidade com a Portaria MS de número 2914 de 2011.

Soluções de médio a longo prazo são possíveis. (NOCCETTI e CORDEIRO, 2010) afirmam que, para a realização de mudanças na visão sobre o sistema de drenagem é importante que haja vontade política para a mudança. Ao abordar este assunto, deve-se considerar capacidade dos gestores no tangente ao conhecimento técnico, tomada de decisões, discernimento, ética e bom senso. Também é fundamental a participação popular que tem o potencial para exercer pressões positivas sobre aspectos políticos, econômicos, ambientais e sociais.

Em suma, o processo de urbanização não potencializa apenas enchentes e inundações, mas também intensificam a degradação do meio ambiente e as mudanças climáticas além de comprometerem a qualidade dos recursos hídricos, causando prejuízos à vida humana e aos seres vivos. Desse modo, se faz necessário atuar concomitantemente em diferentes escalas e em todos os elementos que compõem o ciclo natural das águas, com o propósito de transformar esse cenário (Secretariade Saneamento e Recursos Hídricos, 2015).

## 1.4 Estrutura do projeto

A presente obra está estruturada em 6 capítulos, sendo o primeiro, já inicialmente exposto, o de apresentação separado em 4 subseções. Na primeira subseção está a introdução, onde há uma contextualização acerca da drenagem urbana bem como a abordagem do trabalho ao longo de toda a sua extensão. A segunda subseção consiste no objetivo do trabalho, dividida entre o objetivo geral e os objetivos específicos a serem atingidos. A terceira subseção cita a relevância do projeto, isto é, o porquê da escolha deste tema como trabalho de conclusão de curso da graduação de engenharia de recursos hídricos e meio ambiente e o quanto ele é importante na atualidade, e, por fim, esta que é a quarta subseção, onde será apresentada toda a estrutura deste trabalho.

O 2º capítulo apresenta a fundamentação teórica, isto é, toda a revisão de literatura realizada em relação à drenagem urbana, antiga e atual, bem como o desenvolvimento do conceito de

sustentabilidade nesse setor e as alternativas que surgiram baseadas nestes.

No 3º capítulo são apresentados os tipos de materiais que foram utilizados para a elaboração deste projeto, bem como os métodos que o possibilitaram. Essas duas abordagens foram divididas em duas subseções.

No 4º capítulo fica evidenciado o grande desenvolvimento desse projeto, onde são apresentadas todas as técnicas compensatórias julgadas, pela autora, interessantes de serem apresentadas.

Por fim, o 5º capítulo refere-se à conclusão realizada baseada em todo o estudo feito e tratado neste presente trabalho.

## 2 Revisão da literatura

### 2.1 Sistema clássico ou convencional

O termo empregado para designar as instalações destinadas a escoar o excesso de água pluvial, tanto na zona rural quanto em toda extensão da malha urbana, é drenagem.

O Sistema Clássico (ou Convencional) de drenagem se baseia na filosofia higienista, na qual as águas pluviais e servidas devem ser rapidamente evacuadas das áreas urbanas e conduzidas através de canais, preferencialmente subterrâneos e com certa declividade. Esse sistema é composto por duas partes: a microdrenagem e a macrodrenagem.

O sistema de microdrenagem, segundo manual de drenagem urbana elaborado pela SUDERHSA, Paraná em 2002 (SUDERHSA, 2002), é definido por condutos pluviais ou canais nos loteamentos ou na rede primária urbana, e é projetado para atender a drenagem de precipitações de risco moderado. Basicamente, tem como função a captação da água pluvial e sua condução até o sistema de macrodrenagem.

Os primeiros dispositivos constituintes da microdrenagem são as sarjetas, as quais transportam as águas superficiais das vias públicas limitadas pelo meio-fio, e as bocas-de-lobo, cuja função é a de captar essas águas que escoam. As galerias, por sua vez, são canalizações públicas destinadas a escoar as águas pluviais oriundas das ligações privadas e das bocas-de-lobo. Em pontos convenientes do sistema de galerias, são instalados poços de visita, os quais permitem manutenção e limpeza do sistema, mudanças de direção, de declividade e de diâmetro.

Quando não há condições de escoamento por gravidade para a retirada da água de um canal de drenagem para outro, recorre-se aos condutos forçados e às estações de bombeamento.

Outro elemento que constitui o sistema de microdrenagem são os chamados sarjetões, compostos pela própria pavimentação nos cruzamentos das vias públicas, formando calhas que servem para orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.

A macrodrenagem, de acordo com o manual de drenagem da SUDERHSA, Paraná (SUDERHSA, 2002), envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. Este

tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem. O sistema é constituído por um conjunto de canais que correspondem, geralmente, à rede natural de canais pré-existentes à ocupação no terreno. São dispositivos que recebem as águas advindas da microdrenagem e são compostos por córregos, riachos e rios, localizados nos talvegues e nos vales.

## 2.2 Histórico da drenagem urbana

Técnicas de drenagem existem desde a antiguidade. Surgiram para atender a prática da agricultura, visando a irrigação das culturas. A partir de então, com o surgimento de diversas civilizações, novas práticas e modelos de drenagem foram sendo desenvolvidos com o objetivo de regulação da umidade do solo, desvio das águas em locais destinados a ocupação do terreno e a própria coleta e transporte de águas pluviais e servidas.

TAVANTI (2009) afirma que o homem ocupava áreas junto aos cursos d'água desde os primórdios, pois estas são planas e a disponibilidade desse recurso sempre favoreceu o seu suprimento para consumo, higiene e evacuação de seus dejetos, bem como no desenvolvimento de atividades artesanais e no favorecimento das comunicações e do comércio, quando havia a possibilidade de navegação dos cursos d'água.

VIRGILIS (2009) aponta que algumas cidades da antiguidade como a Babilônia se posicionavam ao lado de grandes rios como no caso o Eufrates, que também servia de proteção militar contra povos invasores.

Além disso, a ocupação próxima das margens de rios e lagos também se deu em caráter essencial para aproveitamento da fertilidade dos solos visando a produção de alimentos. Na China e no Egito antigo já podiam ser encontradas grandes obras de infraestrutura como as de adução de água para irrigação de terras cultiváveis.

No Brasil, muitas das cidades coloniais surgiram inicialmente às margens dos rios, mesmo aquelas situadas à beira-mar. Esses recursos ofereciam, além da água em si, controle do território, alimentos, circulação de pessoas e bens, energia hidráulica, lazer, entre outros serviços essenciais (COSTA, 2006).

A civilização persa, assim como a romana, armazenava em cisternas a água precipitada para

posterior abastecimento. A primeira, considerava a água pluvial como sagrada. Estima-se que a segunda foi a civilização de maior contribuição nos avanços tecnológicos acerca da drenagem urbana.

Com o aumento populacional, áreas inférteis foram convertidas em agricultáveis, para se ter uma produção cada vez maior, capaz de atender as demandas da sociedade. Também foram criadas barreiras para que o aumento dos níveis dos rios provocados pelas chuvas, não prejudicasse a agricultura, ademais das construções habitacionais.

As décadas de 1830 e 1840 podem ser destacadas como as mais importantes na história científica da engenharia sanitária, pois foi nessa época que ocorreu a epidemia de cólera, que despertou efetivamente nos ingleses a preocupação com o saneamento das cidades. O aumento das aglomerações urbanas a partir do século XIX e o avanço no conhecimento das áreas de microbiologia e epidemiologia, evidenciaram o papel sanitário das águas pluviais como transmissor de doenças, contribuindo para uma mudança de concepção das relações entre urbanismo e águas urbanas, levando ao conceito higienista (SOUZA et al., 2012). Assim, nesse momento da história, as medidas preventivas como a drenagem e a limpeza das casas juntamente com o suprimento de água e o esgotamento sanitário constituíam ações mais aliadas ao campo da saúde pública que ao do urbanismo, ratificando essa abordagem.

No Brasil, temendo a possibilidade de um desastre econômico, além da epidemia de cólera ocorrida no ano de 1855, o imperador D. Pedro II contratou engenheiros ingleses para conceber e implantar sistemas de esgotamento para o Rio de Janeiro e São Paulo (SMAR-RJ, 2015). A preocupação com a melhoria das condições sanitárias dessas cidades, ainda desprovidas desses sistemas e portanto mais vulneráveis, foi justificada devido aos riscos de contaminação pelas tripulações dos navios comerciais e turísticos que transitavam por esses portos.

O resultado dessa abordagem higienista é o descolamento entre planejamento das cidades e desenvolvimento, dito sustentável, dos sistemas de drenagem. Salvo raras exceções, o processo de urbanização ignorou (e continua ignorando) os cursos d'água na ocupação do solo, apropriando-se de áreas de várzeas que naturalmente alagam em época de cheia (SOUZA, 2013).

De acordo com TUCCI (2008), a partir do fim da Segunda Guerra Mundial, a população

urbana teve acréscimo gradativo e significativo evidenciando a perturbação que as obras de drenagem, como por exemplo a canalização de rios, causavam, resultantes do aumento de construções urbanas, provocando incremento no escoamento superficial das águas pluviais.

Assim, a partir da década de 60, segundo POMPÊO (2000), alguns países começaram a questionar a drenagem urbana realizada dentro do sistema tradicional que, por intermédio de obras destinadas a retirar rapidamente as águas acumuladas em áreas importantes, transfere o problema para áreas a jusante e para o futuro.

E assim surgiu a fase denominada corretiva, onde o objetivo era utilizar sistemas de amortecimento em detrimento da canalização (TUCCI, 2008). As diferentes fases do desenvolvimento, mais especificamente nos países desenvolvidos, das ideias em relação as águas urbanas podem ser visualizadas na tabela que se segue (Tabela 2).

Tabela 2 – *Fases ao longo da história do desenvolvimento da drenagem das águas urbanas. Extraído de TUCCI (2008).*

<b>Fase</b>	<b>Características</b>	<b>Consequências</b>
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento	Redução de doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida

(WALESH, 1989) classifica as diretrizes gerais de projeto de drenagem urbana em “conceito de canalização” e “conceito de reservação”. O primeiro refere-se à prática de canalização convencional exercida por décadas no mundo todo e particularmente no Brasil, voltada à implantação de galerias e canais de concreto, ao tamponamento dos córregos, a retificação de traçados, ao aumento de declividades de fundo e demais intervenções, que visavam, prioritariamente, promover o afastamento rápido dos escoamentos para jusante, conforme dito anteriormente.

Já a aplicação do conceito de reservação é mais recente, e sua característica principal é o amortecimento das ondas de cheia, ou seja, dos picos de vazão, com a utilização de reservatórios, devolução das condições originais dos córregos e rios, aumento de superfícies permeáveis, entre outros (CANHOLI, 2015).

O conceito de canalização é baseado na filosofia higienista, enquanto o de reservação tem suas raízes apoiadas nas soluções alternativas de drenagem urbana, como mostra a Tabela 3.

A fase corretiva melhorou a questão quantitativa do escoamento superficial, porém, revelou a deficiência na questão qualitativa das águas pluviais, em razão das chamadas fontes difusas de poluição.

Surgiu assim, na década de 90, a fase denominada sustentável, baseada na urbanização aliada a preservação natural e original dos caminhos do escoamento superficial, priorizando a infiltração da água precipitada além de com boa qualidade. Desde então, países tem investido no desenvolvimento de uma política mais sustentável respaldada no tratamento das águas pluviais urbanas e na conservação do escoamento pluvial (TUCCI, 2008).

Tabela 3 – *Contraponto entre conceitos higienistas e conceitos alternativos, denominados como sustentáveis, de drenagem urbana. Extraído de NASCIMENTO et al. (1999).*

<b>Higienismo</b>	<b>Soluções alternativas</b>
Drenagem rápida das águas pluviais	Favorecimento à infiltração, ao armazenamento e ao aumento do tempo de percurso do escoamento
Redes subterrâneas, canalização de cursos d'água naturais	Valorização da presença de água na cidade, busca de menor interferência sobre o sistema natural de drenagem
Associação do sistema de drenagem ao sistema viário	Desenvolvimento de soluções técnicas multifuncionais, combinando o sistema de drenagem com a implantação de áreas verdes, terrenos de esportes, parques lineares, etc
Sistema de drenagem gravitacional, não controlado, configuração fixa da rede de drenagem	Sistema de drenagem controlado, possibilidade de alteração na configuração de rede de drenagem
Concepção e dimensionamento segundo um nível único de risco de inundação pré-estabelecido, para atender a um único objetivo	Concepção e dimensionamento segundo diferentes níveis de risco de inundação, para atender a objetivos diferenciados
Falta de previsão e inoperância face a eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto	Avaliação do funcionamento do sistema para eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto, gestão do risco de inundação
Ênfase na garantia de condições de saúde pública e de conforto no meio urbano.	Preocupação com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano e de redução dos impactos da urbanização sobre os meios receptores
Despreocupação com os impactos da urbanização sobre os meios receptores	

## 2.3 Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável

Segundo o dicionário, a definição da palavra sustentabilidade é: qualidade ou propriedade do que é sustentável, do que é necessário à conservação da vida.

(JACOBI e BESEN, 2011) referem-se a sustentabilidade urbana como uma dimensão do desenvolvimento sustentável, a qual representa a possibilidade de garantir mudanças sociopolíticas que não comprometam os sistemas ecológicos e sociais nos quais se sustentam as comunidades. A noção de sustentabilidade implica numa necessária inter-relação entre justiça social, qualidade de vida e equilíbrio ambiental aliado ao desenvolvimento.

Outros temas urbanos, além do manejo de águas pluviais, que estão relacionados com o da sustentabilidade são as opções de transporte, o planejamento e uso do solo e o acesso aos serviços de saneamento e infra-estrutura básica, todos eles vinculados com a potencialização de



riscos ambientais. Isto impõe mudanças profundas na questão da ocupação indevida de áreas de risco, na priorização do transporte público e na lógica que prevalece nos sistemas de limpeza urbana - redução do lixo, reciclagem e coleta seletiva, bem como as políticas de destinação de resíduos (JACOBI e BESEN, 2011).

Recentemente, a demanda pelo desenvolvimento urbano sustentável tem impactado de modo relevante na concepção dos sistemas de drenagem. Mais expressivamente, nas últimas décadas, os projetos de sistemas de saneamento têm buscado soluções inovadoras de engenharia, objetivando um ambiente urbano mais saudável e de melhor qualidade (RIGHETTO, 2009).

## 2.4 Drenagem urbana sustentável

Ao analisarmos o transcurso do surgimento da drenagem urbana, compreendemos que ao invés de usufruir dos processos e tratamentos naturais existentes no planeta, o homem acabou por alterar as condições do meio ambiente. Possivelmente, uma abordagem adequada em caráter ambiental, a qual ponderasse os aspectos do solo e sua ocupação assim como o espaço dos corpos hídricos, teria poupado inúmeros erros e tantas construções e reconstruções acerca da infraestrutura da rede de drenagem.

Contrariando o passado e conciliando a ideologia citada no parágrafo anterior, de acordo com (SOUZA et al., 2012), no final dos anos 90, a ciência passou a reconhecer a relevância do solo e da vegetação (sistemas naturais de drenagem) no controle quali-quantitativo de águas pluviais, ao promover a infiltração, a evapotranspiração e o contato da água com bactérias e plantas.

(POMPÊO, 2000) afirma que

*o termo drenagem urbana sustentável tem origem recente. A perspectiva da sustentabilidade associada à drenagem urbana introduz uma nova forma de direcionamento das ações, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade. Esta postura exige que drenagem e controle de cheias em áreas urbanas sejam reconceitualizadas em termos técnicos e gerenciais.*

Trata-se de um novo conceito de tecnologias alternativas para auxiliar no manejo de águas pluviais com maior eficiência, também denominadas como técnicas compensatórias, as quais alme-

jam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, trazendo melhorias para a qualidade de vida e a preservação ambiental.

(BAPTISTA et al., 1998) conclui que estas tecnologias são alternativas em relação às soluções clássicas pois consideram os impactos da urbanização de forma global considerando a bacia hidrográfica como base de estudo, bem como pretendem compensar sistematicamente os efeitos daquele processo, controlando na fonte o excesso de água decorrente da impermeabilização, através de infiltração viabilizada por estruturas de armazenamento temporário, evitando assim, a sua transferência rápida para jusante, o que remete ao conceito higienista.

Nas últimas décadas, novas abordagens mais próximas à sustentabilidade estão sendo estudadas, sob diferentes denominações.

Os sistemas que mais avançaram neste sentido foram a abordagem americana de *Low Impact Development* (LID, denominado no Brasil por Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), a abordagem australiana de *Water Sensitive Urban Design* (WSUD, traduzido em Projeto Urbano Sensível às Águas) e a abordagem britânica de *Sustainable Drainage Systems* (SuDS, traduzido em Sistemas de Drenagem Sustentáveis) (SOUZA et al., 2012).

#### 2.4.1 Low Impact Development (LID)

De acordo com (SOUZA et al., 2012), o surgimento e desenvolvimento de princípios do LID começou com a introdução da tecnologia de biorretenção no município de Prince George, Maryland, nos EUA em meados da década de 1980. LID foi lançada para ajudar o Condado de Prince George a abordar as crescentes limitações econômicas e ambientais das práticas de gestão de águas pluviais convencionais.

Além do princípio básico de que é modelado a partir da natureza através da utilização de controles de micro-escala, LID é fundamentado nos seguintes princípios, de acordo com (SOUZA et al., 2012): Conservação, através da preservação da vegetação e solos nativos; elaboração de projetos locais únicos os quais devem respeitar as peculiaridades locais e a proteção de toda a bacia; direcionamento do escoamento para áreas vegetadas, visando o processo de infiltração e recarga dos aquíferos, sobretudo; controles distribuídos em pequena-escala, empregando técnicas de manejo na fonte de forma integrada ao ambiente; e, por fim, manutenção

e prevenção à poluição e educação, trabalhando na educação da população como um todo e um envolvimento público, ambicionando a redução de cargas poluentes e, conseqüentemente, promovendo uma maior eficiência e longevidade aos sistemas de drenagem.

O termo LID era usado para distinguir a abordagem da gestão de águas pluviais comum, os quais são, normalmente, sistemas de detenção denominados como fim-de-linha dos dispositivos de tratamento de águas pluviais de menor escala, ao longo de toda a bacia, tais como sistemas de biorretenção e telhados verdes, localizados no nível do lote, isto é, na fonte de escoamento, ou bem próximo (FLETCHER et al., 2015).

Ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos reforçam as vantagens apresentadas por esta concepção do tratamento de drenagem urbana, controlando não somente o pico de cheia, mas também o volume, a vazão, frequência e duração e a qualidade do escoamento. Pois esta prática visa aproximar a drenagem urbana da drenagem natural, através da utilização de dispositivos que possibilitem uma maior infiltração, o armazenamento, a filtração, a evaporação e a detenção do escoamento e que ainda, viabilizem o aproveitamento da água que precipita. Este conjunto de práticas apresenta bons resultados financeiros e ambientais para novos empreendimentos quando comparado às práticas convencionais.

Em suma, constata-se que o LID tem inúmeros benefícios e vantagens sobre abordagens de gestão de águas pluviais convencionais por ser uma tecnologia mais ambientalmente saudável e mais economicamente sustentável para lidar com os impactos adversos da urbanização. Ao gerir o escoamento perto de sua fonte, LID atua na melhoria do ambiente local, proteção à saúde pública, melhoria na condição de habitação da comunidade, ao passo que economiza recursos financeiros.

A necessidade de tal abordagem nunca foi tão grande. Programas de águas pluviais exigem que uma grande variedade do ecossistema complexo, além das metas de proteção da saúde humana, sejam consideradas. Muitos destes objetivos não estão sendo atendidos pelo gerenciamento convencional. O desafio de como restaurar a qualidade do fluxo em bacias hidrográficas que já tenham sido densamente desenvolvidas é ainda mais assustador. Simplesmente confiar na redução da impermeabilidade e/ou nas bacias de retenção convencionais para abordar estas questões não é viável, prático ou sustentável. LID fornece a chave em sua ênfase no controle,

ou de pelo menos minimizar, as alterações no ciclo hidrológico local ou regime.

Tabela 4 – *Comparação entre atributos hidrológicos de práticas de LID e convencionais. Adaptado de Department of Environmental Resources (1999)*

<b>Parâmetro hidrológico</b>	<b>Convencional</b>	<b>LID</b>
Cobertura impermeável	Encorajada para atingir uma drenagem efetiva	Minimizada para reduzir impactos
Cobertura natural/vegetação	Reduzida para melhorar drenagem local eficiente	Maximizada para manter hidrologia de pré-desenvolvimento
Tempo de concentração	Reduzido como produto da drenagem eficiente	Maximizado e aumentado para aproximar às condições de pré-desenvolvimento
Volume de escoamento	Grande aumento em volume de escoamento não controlado	Controlado para condições de pré-desenvolvimento
Descarga de pico	Controlada para chuva de projeto pré-desenvolvimento (2 anos)	Controlada para condições de pré-desenvolvimento para todas as chuvas
Frequência de escoamento	Grandemente aumentada, especialmente para chuvas pequenas, frequentes	Controlada para condições de pré-desenvolvimento para todas as chuvas
Duração do escoamento	Aumentada para todas as chuvas, porque o volume não é controlado	Controlada para condições de pré-desenvolvimento
Abstração de chuvas	Grande redução em todos os elementos (interceptação, infiltração, depressões e armazenamento)	Mantida para condições de pré-desenvolvimento
Recarga de água subterrânea	Redução na recarga	Mantida para condições de pré-desenvolvimento
<b>Offsite</b>		
Qualidade da água	Redução em cargas de poluição, mas controle limitado para eventos menores que descarga de projeto	Aumento em reduções de cargas poluentes, controle total para eventos menores que descarga de projeto
Corpos receptores	Impactos severos documentados - erosão e degradação de canais, deposição de sedimentos, fluxo de base reduzido, adequabilidade do habitat diminuída	Ecologia do sistema mantida para condições de pré-desenvolvimento
Inundações a jusante	Controle de descarga do pico reduz inundações imediatamente abaixo de estruturas de controle, mas podem aumentar inundações a jusante	Controladas para condições de pré-desenvolvimento

Segundo SOUZA et al. (2012), o desafio de projetar com LID se encontra em providenciar controle de quantidade e qualidade, através de práticas integradas e estratégias de projeto, além de melhorias, incluindo o aumento da recarga subterrânea, a retenção ou detenção para armazenamento permanente, o controle e a captura de poluentes, a valorização estética da propriedade além do uso múltiplo de áreas visando satisfazer, em alguns casos, requerimentos governamen-

tais locais por áreas verdes ou espaço vegetado.

#### 2.4.2 Water Sensitive Urban Design (WSUD)

Segundo (FLETCHER et al., 2015), o termo Projeto Urbano Sensível às Águas (WSUD) começou a ser utilizado na década de 1990, na Austrália.

WSUD é uma abordagem para o planejamento e design de ambientes urbanos que suporta ecossistemas saudáveis, estilos de vida e meios de subsistência através da gestão inteligente de todas as águas urbanas. Para (FLETCHER et al., 2015), representa uma mudança significativa na forma como água e recursos ambientais são relacionados e como a infra-estrutura de drenagem da água pluvial é considerada no planejamento e desenho das cidades, em todas as escalas.

Na Fig. 4 são ilustrados diagramas de intensidades do ciclo da água em áreas naturais, urbanas e no contexto do WSUD. No planejamento, a infiltração e o escoamento tendem ao regime hidrológico mais natural. Juntamente com o aproveitamento de água, o efluente doméstico final é sensivelmente reduzido em comparação com o que se encontra em áreas urbanas.

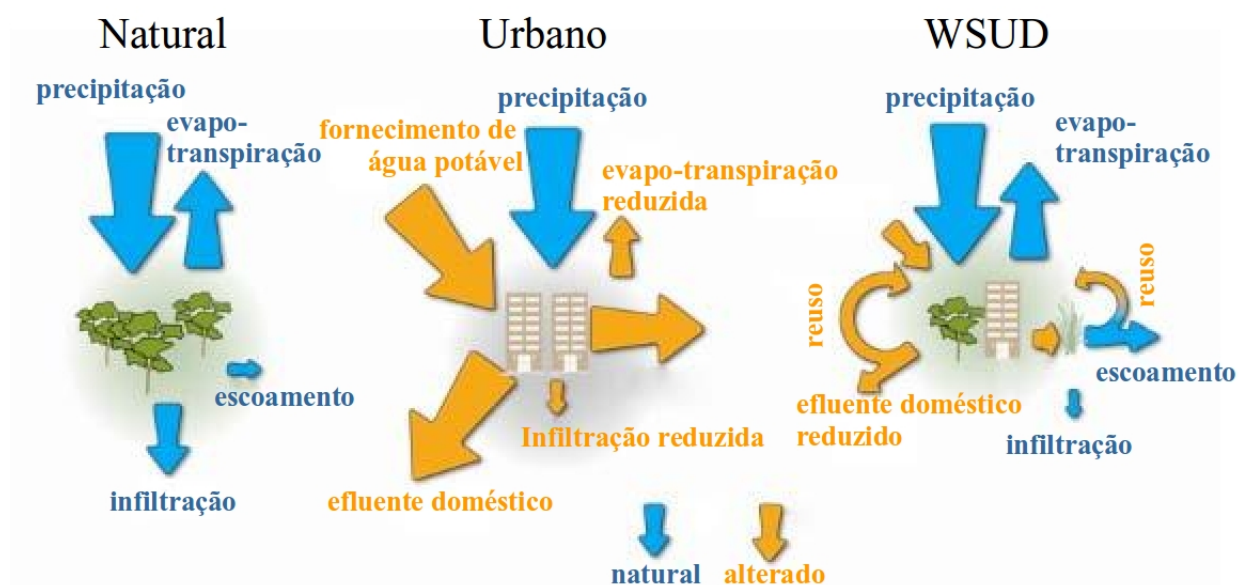


Figura 4 – Esquema ilustrativo das metas dentro do planejamento WSUD. Modificado de (HOBAN et al., 2006).

Alguns objetivos do WSUD específicos são:

- minimizar os impactos sobre os recursos naturais existentes e processos ecológicos
- minimizar os impactos sobre o comportamento hidrológico natural de bacias hidrográficas
- proteger a qualidade das águas superficiais e subterrâneas
- incorporar o tratamento para armazenamento e utilização das águas pluviais
- reduzir os fluxos de escoamento e de pico de desenvolvimento urbano
- agregar valor através da minimização dos custos de desenvolvimento (por exemplo, os custos de infra-estrutura de drenagem)

### 2.4.3 Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)

Assim como LID e WSUD, os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (SUDS) são soluções de drenagem que fornecem uma alternativa para a canalização direta das águas superficiais através de redes de canos e esgotos para os cursos de água nas proximidades.

Na prática, SUDS no Reino Unido, consistem em tecnologias e técnicas usadas para drenar águas pluviais de um modo mais sustentável do que as soluções convencionais. Apesar de objetivarem, principalmente, controle de quantidade de água, cumprem também, com as normas de qualidade de água (FLETCHER et al., 2015).

Baseada na filosofia de reproduzir o mais próximo possível do natural, isto é, a drenagem pré-desenvolvimento, SUDS são configurados como uma sequência de práticas de manejo de águas pluviais e tecnologias que trabalham em conjunto (FLETCHER et al., 2015), que visam reduzir as inundações, melhorar a qualidade da água escoada e aumentar o valor de utilidade e da biodiversidade do meio ambiente. Essas pretensões serão alcançadas através da redução das taxas de fluxo, aumento da capacidade de armazenamento de água e redução do transporte de poluição para o meio aquático.

É necessário o crescimento da drenagem alternativa, como SUDS, para enfrentar os desafios ambientais atuais, como, por exemplo, as alterações climáticas. Normas nacionais são essenci-

ais para a sua concepção, construção, manutenção e operação. Essa seqüência de técnicas são sistemas alternativos que juntos formam um “trem de gestão”. Como a água flui através da superfície do sistema, a velocidade do fluxo é controlada e os poluentes são removidos. O “trem de gestão” inclui algumas das seguintes fases:

1. Métodos de controle de fonte: diminuir o volume de água que entra na rede de drenagem e chega aos rios, interceptando o escoamento de água em telhados para posterior aproveitamento para fins não nobres, ou para armazenamento e subsequente evapotranspiração, como no caso dos telhados verdes.
2. Etapas de pré-tratamento, que atuam na remoção de poluentes da água de superfície antes da descarga desta para cursos de água ou aquíferos.
3. Sistemas de retenção: retardar a descarga de águas de superfície para os cursos de água, armazenando-as em tanques, reservatórios e bacias de retenção e detenção, por exemplo.
4. Sistemas de infiltração, como trincheiras de infiltração, poços de infiltração e sistemas de biorretenção, os quais imitam a recarga natural, permitindo que a água penetre no solo.

A característica principal está fundamentada na compreensão da capacidade de infiltração do solo e os potenciais impactos sobre a estabilidade do solo e qualidade da água.

Na verdade, todos os termos são, em geral, baseados em dois princípios: a mitigação dos impactos sobre o ciclo hidrológico para geração de um regime de fluxo natural e a melhoria da qualidade da água através da redução de poluentes. Combinados, esses dois princípios visam melhorar a ecologia e a geomorfologia do canal (FLETCHER et al., 2015).

As distinções entre os conceitos são bem sutis e são basicamente variáveis em função do local de desenvolvimento e o contexto institucional.

WSUD, por exemplo, tem como definição conceitual de que o manejo de águas pluviais vai além das técnicas estruturais, apenas.

De acordo com (FLETCHER et al., 2015), os conceitos de WSUD e LID são mais abrangentes tanto em questão das medidas compensatórias quanto no pensamento de envolver todo o ciclo hidrológico urbano em suas gestões. Já o SUDS, por exemplo, possui conceitos mais

restritos quanto às medidas e um pensamento mais próximo à gestão de águas pluviais no meio urbano.



## 3 Materiais e métodos

### 3.1 Materiais

Foram utilizados teses e artigos, dissertações, normas técnicas, planos diretores, manuais de drenagem urbana e estudos científicos, para embasamento desta obra, como forma de obter maior número de contribuições.

Também foram analisadas leis e políticas públicas para avaliar o poder de incentivo para implementação das medidas citadas ao longo deste trabalho.

### 3.2 Métodos

Este presente estudo foi realizado com base em uma revisão bibliográfica referente aos conceitos de drenagem urbana, fazendo referência ao passado e ao presente, bem como as diferentes estruturas sustentáveis para detenção ou retenção de fluxo no âmbito da drenagem urbana, isto é, suas aplicações, vantagens e desvantagens.

A fim de afirmar a importância do manejo sustentável para o desenvolvimento das cidades na atualidade, foi realizado um estudo acerca da história da drenagem urbana e o processo pelo qual ela passou e ainda passa, conduzindo para o surgimento de novas abordagens e conceitos que remetem a sustentabilidade dessa infraestrutura, os quais visam reverter os impactos negativos gerados pelo processo de urbanização. Sítios de outros países foram visitados com o propósito de reproduzir essas novas abordagens de modo fidedigno. Visando elucidar a aplicabilidade das medidas estruturais e não estruturais e a eficiência dessas num contexto real e urbano, projetos realizados em estudos, como dissertações e artigos por exemplo, foram incluídos nesse trabalho.

Leis e Normas foram analisadas, num âmbito amostral, com o objetivo de contextualizar o panorama dos municípios brasileiros acerca do manejo de águas pluviais.

## 4 Medidas sustentáveis de drenagem

Reiterando um conceito já exposto anteriormente, as medidas de drenagem urbana convencionais são baseadas em estruturas de controle e condução do escoamento, coletando as águas pluviais geradas no meio urbano e sua rápida condução para jusante, e, por fim, para um corpo hídrico denominado como receptor final.

Sob outra perspectiva, surgiram as medidas não-convencionais, ou medidas sustentáveis, que são estruturas, obras, dispositivos ou até mesmo conceitos diferenciados de projeto, que diferem do conceito tradicional de canalização, mas podem estar a ela associadas, para adequação ou otimização do sistema de drenagem. Dentre elas, as que mais se destacam são aquelas que visam incrementar o processo de infiltração, retenção do escoamento em reservatórios, além de retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios.

O presente capítulo visa sinteticamente abordar algumas das medidas sustentáveis utilizadas para o manejo de águas pluviais, apresentando as principais características bem como as vantagens e desvantagens de cada uma dessas medidas.

Neste trabalho as medidas sustentáveis estão organizadas em medidas estruturais e não-estruturais. As primeiras, denominadas também como técnicas compensatórias, são medidas que buscam recuperar funções perdidas durante a urbanização ou compensar os efeitos desta sobre os processos componentes do ciclo hidrológico, isto é, precipitação, interceptação, infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial (AGRA, S. G., 2001). Neste sentido, cada alteração provocada no meio natural deve significar uma compensação para os efeitos gerados.

Medidas não-estruturais são aquelas em que se busca minimizar os danos dos efeitos negativos decorrentes das inundações através da criação e implementação de regulamentos, leis e programas que disciplinem o uso do solo, além de conscientizarem a sociedade em relação ao meio ambiente e os sistemas que fazem parte deste.

Na seção 4.1 serão apresentadas algumas medidas estruturais e na seção 4.2 algumas das medidas não-estruturais existentes.

## 4.1 Medidas estruturais

As medidas estruturais compreendem uma multiplicidade de obras de engenharia com o intuito de reduzir o risco de enchentes, visando a correção e/ou prevenção dos problemas por elas causados. Tem como finalidade deter e/ou transportar os deflúvios gerados na bacia bem como propiciar a infiltração localizada. Por meio dessas práticas promove-se o tratamento da água retida de modo a reduzir a carga poluidora, além de exercer um controle quantitativo, em função do armazenamento temporário de parte ou de todo o volume escoado.

De certo modo, as medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa ao sistema, pois isto exigiria um dimensionamento contra a maior enchente possível de determinado local, o que é física e economicamente inviável na maioria das situações. Além disso, em alguns casos, como por exemplo de um reservatório de amortecimento a montante, pode-se criar uma falsa sensação de segurança que favorece a ampliação da ocupação de áreas inundáveis, o que futuramente pode resultar em danos significativos.

Medidas estruturais podem ser caracterizadas em duas subdivisões, de acordo com suas categorias funcionais, denominadas como medidas extensivas ou intensivas.

Medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, ou seja, num contexto mais global, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como o reflorestamento, mudanças no plantio e conservação do solo. Tendem a reduzir e retardar os picos de cheias, através de pequenos armazenamentos ao longo da bacia, além de controlar a erosão do solo ao longo da mesma. Atuam principalmente sobre as inundações frequentes, isto é, tempo de retorno baixo.

As medidas intensivas, segundo REZENDE (2010) agem diretamente na calha do rio, alterando assim, as características hidrológicas e hidráulicas do escoamento e podem acelerar (obras de canalização), retardar (construção de reservatórios) ou desviar o escoamento (túneis de derivação e canais de desvio), dependendo do seu objetivo.

### 4.1.1 Bacias de detenção e retenção

De acordo com a LEI Nº 9.511, DE 15 DE DEZEMBRO DE 2014, a bacia de detenção é uma estrutura impermeabilizada que impede a infiltração, exercendo a função de retenção temporária da água com liberação intervalada no tempo, objetivando a regulação dos picos de vazão.



Figura 5 – Imagem da bacia de retenção instalada no parque da cidade do município de Guimarães, Portugal. Exemplo da integração da bacia ao perímetro urbano.

Entretanto, não viabilizam alteração na quantidade de volume escoado (TUCCI, 1999). Essa estrutura pode possuir dispositivos de fuga direcionados para infiltração ou para rede pública de drenagem de águas pluviais, para pequenas vazões. Normalmente, as bacias de retenção são secas e o tempo de retenção está relacionado as máximas de vazão requeridas a jusante e aos volumes armazenados (CANHOLI, 2015).

A bacia de retenção, por sua vez, é uma estrutura permanente destinada a redução do escoamento superficial das águas pluviais, propiciando sua acumulação e infiltração. A escolha do local de implantação da bacia de retenção deve basear-se nas condições geomorfológicas naturais do local, para evitar grandes perturbações no meio como movimentações de terra e impermeabilização, e reduzir custos econômicos (LIMA et al., 2006). Bacias inseridas no perímetro urbano provavelmente sofrerão assoreamento do reservatório, devido à processos erosivos mais intensos na bacia hidrológica, e deterioração da qualidade da água. Em contrapartida, esses reservatórios passam a integrar o meio urbano mesmo não tendo sido projetados para essa finalidade. Quando secos, podem ser utilizados com atividades de lazer urbano. Alternativamente, para CANHOLI (2015), essas estruturas possuem lâmina permanente de água, visto que são projetadas para fins de recreação, paisagísticos ou até mesmo para abastecimento de água, por exemplo. A Fig. 5 apresenta uma imagem do parque da cidade do município de Guimarães, Portugal, com a sua bacia de retenção inserida no ambiente paisagístico.

CANHOLI (2015) destaca que os reservatórios das bacias de retenção e retenção podem ser

de dois tipos, principalmente: *on-line* e *off-line*. O primeiro tipo encontra-se na linha principal do sistema e restitui o escoamento superficial de modo atenuado e retardado ao sistema de drenagem, por gravidade. Já o segundo tipo retêm volumes de água desviados da rede principal à ocorrência da cheia e, posteriormente, os devolvem para o sistema, seja por bombeamento ou por válvulas controladas, após atenuação dos picos de vazão.

Uma vantagem significativa dessas estruturas é o fato de possuírem caráter multifuncional, agregando áreas verdes e de lazer, compondo projetos urbanísticos com valorização da presença da água no determinado espaço urbano. Também podem ser listados como benefícios a pouca interferência no tráfego de veículos e no funcionamento de atividades comerciais e de serviços, o armazenamento de grandes volumes de água pluvial e oferecimento de facilidade de limpeza e redução nos custos pois os sedimentos e resíduos carreados pelas águas escoadas ficam concentrados em um único ponto.

Em contraposição, alguns cuidados devem ser considerados como a manutenção planejada e contínua destes dispositivos. A ausência desta pode provocar proliferação de vetores de doenças e a falta de fiscalização pode viabilizar a utilização desse terreno para lançamento ilegal de esgoto, entulho e resíduos. No caso de estruturas que necessitem de bombeamento, há risco de falha nas bombas, o que pode causar inundações a jusante.

Para a execução de um projeto de bacia de detenção, por exemplo, devem ser considerados alguns parâmetros, os quais podem ser visualizados na tabela 5.

Tabela 5 – *Parâmetros de projeto para implementação de bacias de retenção e detenção.*

<b>Parâmetro</b>	<b>Reservatórios</b>
Área da bacia de contribuição	> 2 ha
Nível do lençol freático	Até 1 m abaixo do fundo do dispositivo.
Risco de contaminação de aquífero	Se o aquífero for muito sensível, não recomendado. Somente com fundo impermeabilizado.
Declividade do terreno	Implantação restrita para altas declividades.
Disponibilidade de área	Necessidade de espaços amplos.
Flexibilidade de desenho	Desenho pode se adequar ao local da instalação.

#### 4.1.2 Biorretenção (Jardim de Chuva)

Sistemas de biorretenção ou bacias de infiltração ou, simplesmente, jardins de chuva, são depressões paisagísticas rasas que recebem o escoamento da água pluvial. O solo, tratado com compostos e demais insumos os quais provocam aumento de sua porosidade, age como uma esponja que suga a água, enquanto microorganismos e bactérias removem os poluentes difusos trazidos pelo escoamento superficial. A adição de plantas proporciona a evapotranspiração e a remoção de nutrientes (DE MOURA, 2014). A Fig. 6 ilustra um jardim de chuva instalado numa via pública.

Li e Zhao (2008) *apud* (MELO et al., 2014) descrevem o jardim de chuva como uma estrutura hidrológica funcional na paisagem, de baixo investimento e manutenção simplificada, no qual, através do sistema solo-planta-atmosfera e processos de infiltração, retenção e adsorção, purifica e absorve as águas pluviais de pequenas áreas, reduzindo o volume escoado e protegendo as águas subterrâneas.



Figura 6 – Foto de uma via no centro da cidade de Portland, EUA, com sistema de biorretenção implantada pela prefeitura e a Universidade de Portland (projeto Green Street). Extraído do website Instituto Telhado Instituto Mobilidade Verde (2016).

As estruturas típicas encontradas nos jardins de chuva estão indicadas na Fig. 7. Águas pluviais desaguam na área de biorretenção e, gradualmente, se infiltram no leito do solo. O excesso

de água pode ser recolhido por um sistema de sub-drenagem (tubo de coleta) e descarregado para o sistema de galerias de águas pluviais ou diretamente em corpos hídricos. Importante ressaltar que sistemas de biorretenção normalmente são concebidos para armazenar e tratar escoamento de pequenas tempestades, tais como aqueles que ocorrem todos os anos ou a cada dois anos. Idealmente, o pré-tratamento deve ser fornecido para remover sólidos em suspensão a partir do escoamento antes da sua entrada no sistema. Esta técnica é muito eficaz na remoção de poluentes e na redução do escoamento.

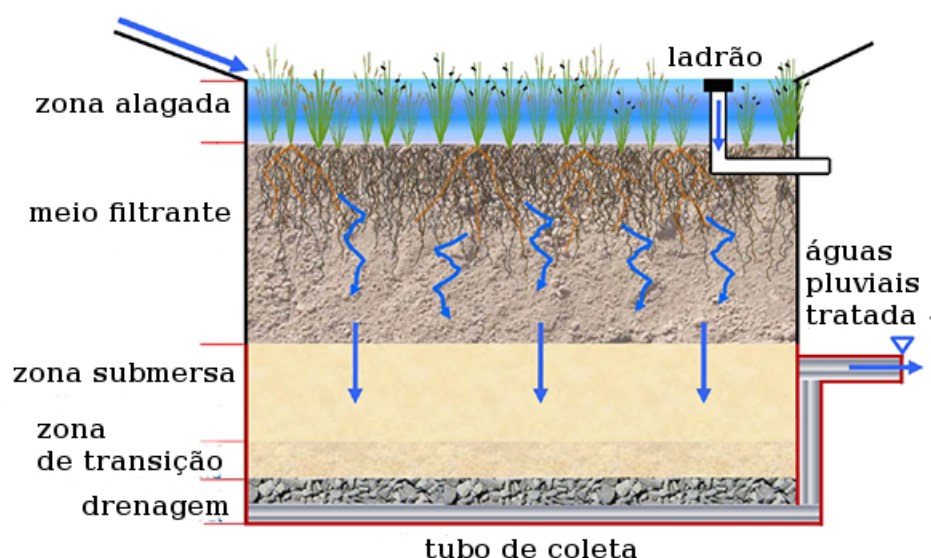


Figura 7 – Esquema ilustrativo da estrutura típica dos jardins de chuva.

Davis et al (2009) *apud* (DE MELO, 2011) realizaram diversos estudos e obtiveram resultados positivos de desempenho dos sistemas de biorretenção na função de remoção de poluentes, ou seja, o processo de filtração da água escoada. Os principais poluentes e suas respectivas taxas de remoção apresentados foram: sólidos suspensos (54 – 59%); fósforo (70 – 85%); nitrogênio (55 – 65%); metais pesados como cobre, zinco, chumbo apresentaram taxas superiores a 74%; óleos e graxas foram taxas superiores a 96% e; bactérias patogênicas (70 – 91%).

Além da eficiência na remoção de sedimentos finos, metais, nutrientes e bactérias, o que proporciona uma melhora na qualidade da água, esses dispositivos tem também como vantagens a redução do volume de escoamento superficial, o que reduz inundações na bacia e a contribuição para beleza paisagística no cenário urbano.

Algumas precauções em relação a essa medida estrutural devem ser avaliadas pois estes não podem ser utilizados para grandes áreas de contribuição. Além disso, pode sofrer o processo de colmatção, sendo recomendável a existência de um pré-tratamento em áreas de grande aporte de sedimentos. Outra preocupação, a qual deve ser considerada, está relacionada ao espaço pois esta estrutura reduz a zona trafegável da via pública.

As aplicações indicadas para este sistema de biorretenção são ruas e calçadas largas e com baixo tráfego de veículos bem como próximas a locais em que se deseja reduzir esse tráfego como escolas e hospitais. Pátios, estacionamentos e locais internos de lotes comerciais, residenciais ou até mesmo públicos também são ideais para essas alternativas (veja a Tabela 6).

Tabela 6 – *Quadro com as características dos jardins de chuva.*

<b>Parâmetro</b>	<b>Jardim de chuva</b>
Área da bacia de contribuição	< 1 ha
Capacidade de infiltração do solo	Entre 7 e 200 mm/h
Nível do lençol freático	Até 1 m abaixo do fundo do dispositivo
Risco de contaminação de aquífero	Se o aquífero for muito sensível, não recomendado. Somente com fundo impermeabilizado.
Declividade do terreno	Viável em altas declividades
Disponibilidade de área	Ruas com calçadas e vias largas, trechos livres de hidrantes e garagens e nos lotes e residências particulares
Flexibilidade de desenho	Desenho pode se adequar ao local da instalação

Interessante destacar que, segundo o manual de construção de jardins de chuva, um dispositivo desse não é necessariamente caro. Uma família ou alguns amigos podem promover a criação de um. O custo principal é na obtenção das plantas e até mesmo esse custo pode ser reduzido quando se faz a utilização de plantas nativas já existentes em jardins próprios ou de vizinhos.

Em sua dissertação, DE MELO (2011) avaliou a eficiência do jardim de chuva como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas através da implantação de um jardim de chuva piloto locado dentro da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), e analisou comparativamente com o solo natural existente na mesma área.

Foram analisados alguns eventos de precipitação. Na tabela 7, fica evidenciada a eficiência do jardim de chuva em relação a retenção e infiltração da água precipitada, quando comparado



ao solo natural.

Tabela 7 – *Comparação da infiltração no solo natural e jardim de chuva piloto. Extraído de DE MELO (2011).*

<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Intervalo de tempo (h)</b>	<b>Intensidade (mm/h)</b>	<b>Superfície</b>	<b>Lâmina infiltrada (mm)</b>	<b>Lâmina Escoada Superficial (mm)</b>
37,85	1	37,85	SN	24,19	13,66
			JCP	37,85	0
76,20	2	38,10	SN	24,17	52,03
			JCP	76,20	0
98,30	24	4,09	SN	98,30	0
			JCP	98,30	0

Conforme concluiu DE MELO (2011), o jardim de chuva é uma excelente alternativa no manejo de águas pluviais urbanas, diante da avaliação das funções de retenção, infiltração e armazenamento, pois o mesmo atingiu as expectativas quanto ao amortecimento dos volumes produzidos pela superfície impermeável adotada no estudo.

#### 4.1.3 Filtro de Caixa de Árvore

Filtros de caixa de árvore são mini áreas de biorretenção instalados debaixo de árvores, os quais podem ser muito eficazes no controle de escoamento, especialmente quando distribuídos por todo espaço. O esquema ilustrativo do filtro de caixa de árvore é apresentado na Fig. 8. Uma caixa de árvore consiste em três componentes principais: uma câmara, meios de comunicação do solo e da planta. A câmara de armazenamento subterrâneo é tipicamente uma estrutura de concreto pré-moldado que contém solo especialmente formulado para filtrar a água de chuva. O escoamento é direcionado para a caixa de árvore, onde ele é limpo por vegetação e solo antes de entrar em uma bacia de captura. Além disso, a água escoada coletada nas caixas de árvore auxilia na irrigação das árvores.

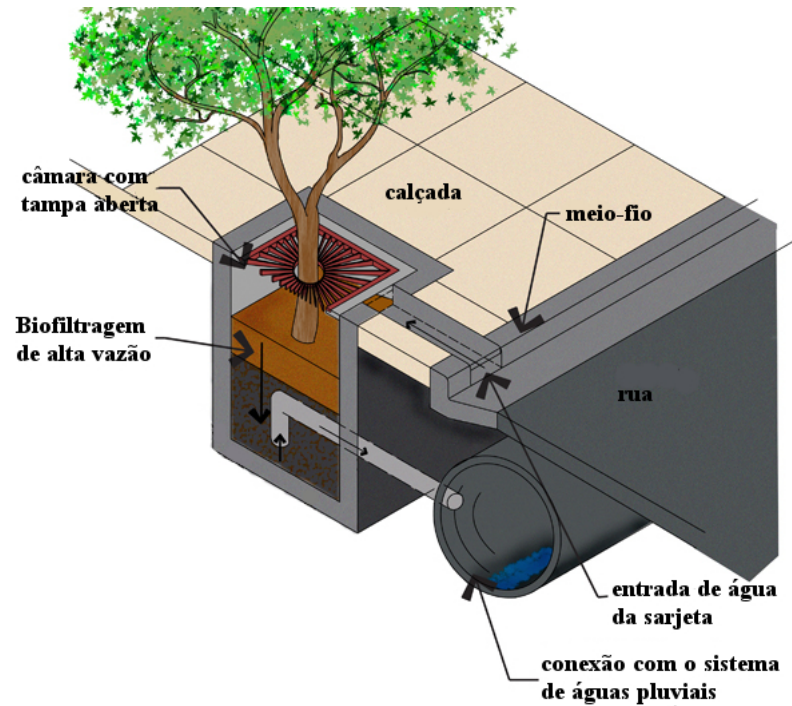


Figura 8 – Modelo ilustrativo do filtro de caixa de árvore.

Esses dispositivos realizam a remoção de poluentes através de filtração e adsorção. A adsorção é o processo pelo qual uma substância, tal como a argila ou a matéria orgânica no solo atrai e mantém outras partículas, seja através de um processo físico ou químico. Isto proporciona um mecanismo para a remoção de poluentes da água de chuva.

Plantas de paisagem típica (arbustos, ervas ornamentais, árvores e flores) são usadas como parte integrante desse sistema de biorretenção (Fig. 9). Eles podem se encaixar em qualquer esquema de paisagem, aumentando a qualidade de vida nas áreas urbanas, proporcionando maior beleza natural e valor habitat, bem como reduzindo os efeitos de ilha de calor urbana.



Figura 9 – Imagem de filtro de caixa de árvore instalado em Milton, Massachusetts, EUA.

Ao considerar um local para a instalação de um filtro de caixa de árvore, se faz interessante verificar se os poluentes existentes na área podem ser tratados por este dispositivo, como por exemplo, bactérias, sólidos suspensos totais e fósforo. Deve-se ter em mente que filtros de caixas de árvores geralmente capturam e tratam escoamento de águas pluviais provenientes de pequenas tempestades.

Outra questão a ser considerada é o local de implementação, o qual deve ser de fácil acesso devido a necessidade de manutenção destes dispositivos. A cada dois anos, deve ser reposto um material (como folhas em decomposição, cascas, ou composto) espalhado ao redor ou sobre uma planta para enriquecer o solo.

Em 2004, foi instalado no Centro de águas pluviais da Universidade de New Hampshire (UNHSC) o primeiro filtro de caixa de árvore. Relatou-se que o desempenho no tratamento da água foi elevado, e é equivalente a outros sistemas de biorretenção, quando bem distribuídas dentro de um espaço. Através dessa implementação, a seguinte tabela pôde ser criada (Tabela 8).

Já na Universidade da Virgínia, durante um estudo de dois anos, usando um filtro de caixa da árvore, pesquisadores descobriram que as taxas de remoção de poluentes variam em função da área da superfície do filtro para a área de drenagem. Eles concluíram que para 33% de área de superfície de filtro em relação a área de drenagem, na região estudada, as taxas de remoção

Tabela 8 – Tabela com o desempenho no tratamento de água avaliado pela universidade de New Hampshire.

<b>Poluente</b>	<b>Quantidade removida (%)</b>
Sólidos suspensos totais	93
NO <sub>3</sub>	3
Zn (total)	78
Hidrocarbonetos	99

de poluentes foram conforme evidenciado na Tabela 9.

Tabela 9 – Tabela com o desempenho no tratamento de água avaliado pela Universidade da Virginia.

<b>Poluente</b>	<b>Quantidade removida (%)</b>
Sólidos suspensos totais	85
N <sub>2</sub> (total)	68
P (total)	74
Metais	82

#### 4.1.4 Poço de infiltração

Segundo (REIS et al., 2008), os poços de infiltração de águas pluviais constituem sistemas de grande potencial quanto à redução do volume escoado superficialmente e quanto ao tratamento da água infiltrada. A Fig. 10 indica as características de um poço de infiltração de água pluvial. Este é revestido de tubos de concreto perfurados, envolvidos por uma manta geotêxtil, as quais estabelecem a interface entre o solo e o tubo. O fundo do poço também é composto por camada geotêxtil, além de agregados graúdos, tipo brita, de modo a viabilizar a infiltração do volume de água reservado em seu interior para o solo. Essa estrutura é semelhante a trincheira de infiltração, porém não se trata de uma estrutura linear, e sim, pontual e vertical, a qual possibilita a infiltração na direção radial (CETE, 1993 apud (AGRA, S. G., 2001)).

Embora no Brasil seja um consenso generalizado de que esse tipo de sistema demande grandes obras, o poço de infiltração pode ser executado em uma pequena área e com volume reduzido, de modo viável para sua existência numa área urbana como, por exemplo, um lote edificado (REIS et al., 2008).

Inicialmente, toda água precipitada, uma vez que captada pela edificação, é destinada primeiramente para o poço de infiltração (Fig. 11). Quando a capacidade de absorção do solo é

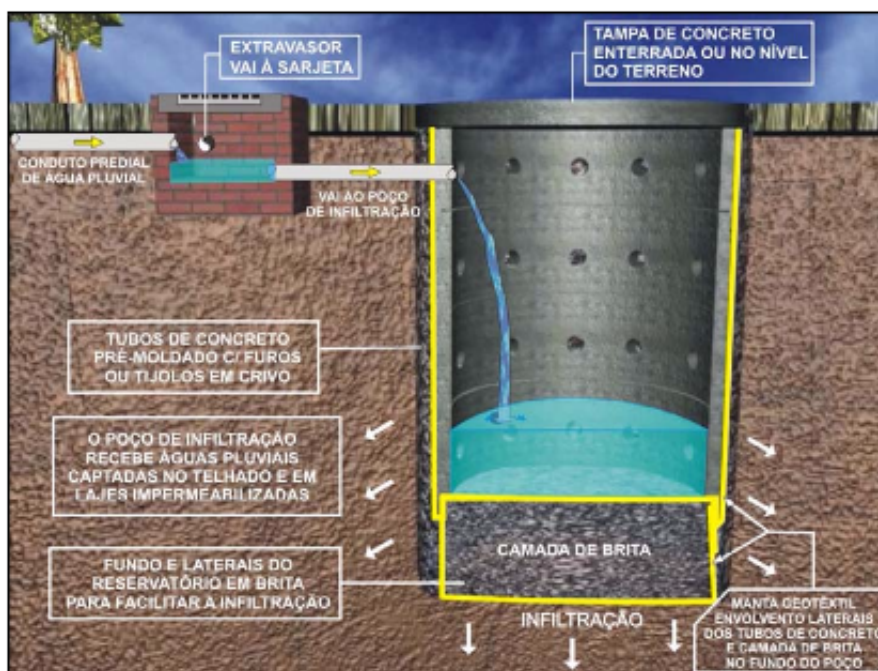


Figura 10 – Imagem ilustrativa dos componentes presentes no poço de infiltração. Extraído de REIS (2005).

reduzida, e o volume do poço de infiltração praticamente quase todo ocupado, a água começa a escoar em sua totalidade para o sistema público de drenagem.

(REIS et al., 2008) sugerem que antes da execução de poços de infiltração, alguns parâmetros do local requisitado devem ser analisados, tais como a caracterização do solo, o índice pluviométrico da área, maior nível alcançado pelo lençol freático e o carreamento da carga poluidora nas águas pluviais superficiais, visando a decisão sobre a implementação deste dispositivo. Outros parâmetros, como o perfil do solo, coeficiente médio de permeabilidade, a taxa média de infiltração do solo, tempo de retorno e tempo de concentração e a vazão de projeto dão subsídios para determinação do diâmetro do poço de infiltração, da profundidade máxima do sistema de drenagem, da capacidade de amortecimento e do tempo de esvaziamento, por exemplo.

Assim como em outros dispositivos de infiltração, a recomendação é de que a distância mínima entre o fundo deste e o nível mais elevado do lençol freático seja de 1,5 metros, necessário para evitar sua contaminação. Além disso, o coeficiente de permeabilidade do terreno deve ter um valor que viabilize a infiltração da vazão de projeto em poucas horas após o fim da precipitação (REIS et al., 2008).

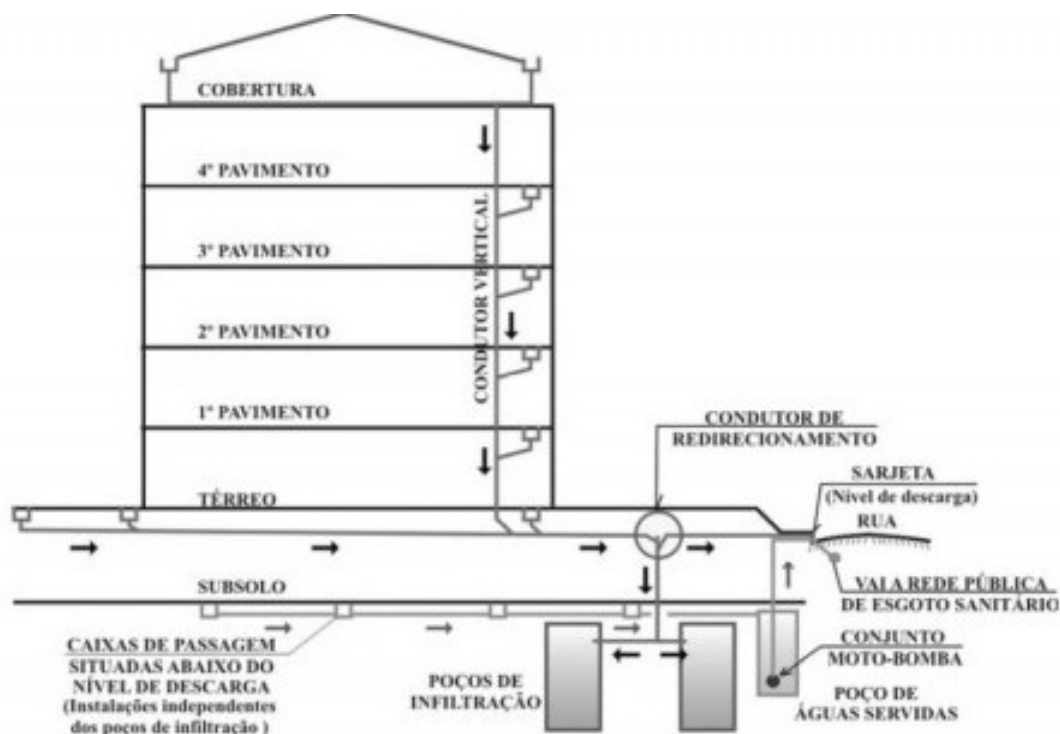


Figura 11 – Esquema de ligação da água captada pela edificação ao poço de infiltração.

Por meio da operação de um poço de infiltração experimental executado na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, pôde-se observar que, durante a realização dos ensaios de permeabilidade, ele apresentou um desempenho na capacidade de infiltração de água de chuva de 4 a 19 vezes maior que a de um poço de comparação sem revestimento e escavado a trado, com a mesma profundidade. Observou-se, também, que, após 10 meses de avaliação, a manta geotêxtil que revestia a camada de britas do fundo do poço de infiltração sofreu um processo de colmatção, acarretando uma diminuição de 31,47% na sua capacidade de vazão. Entretanto, esse processo de colmatção não afetou o desempenho do poço, pois a capacidade de vazão remanescente na manta geotêxtil ainda era superior à capacidade de infiltração do solo na região de instalação do poço de infiltração.

#### 4.1.5 Pavimento Permeável

A cartilha (MARCHIONI e SILVA, 2010) define os pavimentos permeáveis como aqueles que possuem espaços livres na sua estrutura onde a água e o ar podem atravessar. Sendo assim, é um dispositivo de infiltração em que o escoamento superficial é conduzido através de uma

superfície permeável em direção ao interior de um reservatório, presente na camada de base, constituído por pedras localizado sob a superfície do terreno (URBONAS e STAHERE, 1993). A utilização destes dispositivos se faz justa quando o objetivo maior é reduzir ao máximo o percentual de impermeabilização de uma bacia hidrográfica. A Fig. 12 mostra o uso de pavimento permeável em uma área de estacionamento público.



Figura 12 – Imagem do pavimento permeável em uma área de estacionamento.

Segundo SCHUELLER (1987), os pavimentos permeáveis são compostos por duas camadas de agregados (uma de agregado fino ou médio e outra de agregado graúdo) além da camada do pavimento permeável propriamente dito.

O escoamento infiltra rapidamente na capa ou revestimento poroso, passa por um filtro de agregado fino e vai para uma câmara ou reservatório de pedras mais profundo com agregados maiores, passando pela capa de revestimento permeável cujo intuito é conduzir rapidamente o escoamento para o reservatório de pedras. O escoamento, neste reservatório, poderá então ser infiltrado para o subsolo ou coletado por condutos de drenagem e transportado para uma saída, denominado exutório. Desse modo, a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela profundidade do reservatório de pedras subterrâneo somado ao escoamento infiltrado no subsolo.

Os pavimentos permeáveis promovem uma grande redução dos volumes escoados na superfície e dos picos de cheias. Uma vez instalado de forma adequada, pode proporcionar condições similares às de pré-desenvolvimento ou até melhores, dentro de uma bacia.

Possui vantagens em relação ao custo, se comparado à rede pluvial convencional, conforto, devido a capacidade menor de formação de poças de água além de menor risco de aquaplanagem, e, por fim, a melhoria ambiental, visto que há uma maior infiltração, e, conseqüentemente, maior recarga no aquífero. E também, aumento da qualidade da água justificada pela filtração de poluentes leves e sedimentos finos existentes nas águas pluviais.

Segundo a cartilha de melhores práticas MARCHIONI e SILVA (2010), estes pavimentos reduzem o escoamento superficial em até 100%, dependendo da intensidade da chuva, e retardam a chegada da água ao subleito reduzindo a erosão. Além disso, estudos na Alemanha comprovam que metais pesados são retidos no uso de pavimentos porosos, não causando contaminação ao solo. Entretanto, quando a água drenada é fortemente contaminada, inevitavelmente, haverá impacto sobre o lençol freático e também do escoamento subterrâneo.

Todas as vantagens supracitadas serão reais se o pavimento permeável for utilizado racionalmente, respeitando seus limites físicos, e desde que seja conservado periodicamente com uma manutenção preventiva especializada, evitando assim o seu entupimento.

As desvantagens dessa alternativa incluem a colmatagem das camadas permeáveis, o perigo de contaminação do freático e a necessidade de manutenção regular especializada.

Estacionamentos, calçadas, praças e quadras esportivas são as melhores áreas para instalação destes dispositivos, devido ao baixo tráfego de pessoas e veículos.

Quanto ao tipo de material utilizado na composição de um pavimento permeável, (URBONAS e STAHRÉ, 1993) os classificam, basicamente, em três tipos:

1. pavimento de asfalto poroso;
2. pavimento de concreto poroso;
3. pavimento de blocos de concreto vazados preenchido com material granular, como areia ou vegetação rasteira, como grama.

A principal diferença entre (1) e (2) para os revestimentos de concreto e asfalto convencionais é a ausência de areia fina em sua composição e o fato de serem colocados sobre uma base granular, com filtros geotêxteis, evitando a migração de finos para esta base. No mercado europeu há a oferta de blocos alveolares em plástico como alternativa para reservação subterrânea em



substituição à camada porosa com cascalho. O preço é maior, mas há a vantagem de possuir um grau de porosidade maior.

URBONAS e STAHERE (1993) mencionam que não existem limitações para o uso do pavimento permeável, exceto quando a água não pode infiltrar para dentro do subsolo devido a baixa permeabilidade do solo ou se o nível alto do lençol freático for alto, ou ainda se houver uma camada impermeável que não permita a infiltração. Neste caso o pavimento permeável poderá ser utilizado como um poço de detenção, utilizando para isso uma membrana impermeável entre o reservatório e solo existente. O sistema de drenagem com tubos perfurados espaçados deve completar este dispositivo nesta situação. O sistema deverá prever o esgotamento do volume num período de 6 a 12 horas.

Segundo Center for Watershed Protection (1998) apud U.S. Environmental Protection Agency (2000), as instalações com maiores sucessos se encontram em regiões com solos arenosos e declividades baixas. Em relação a atuação deste dispositivo, (AZZOUT et al., 1994) dividem os pavimentos permeáveis ou porosos em quatro tipos (Figura 13):

- a. de infiltração e revestimento permeável
- b. de infiltração e revestimento impermeável
- c. de retenção e revestimento permeável
- d. de retenção e revestimento impermeável

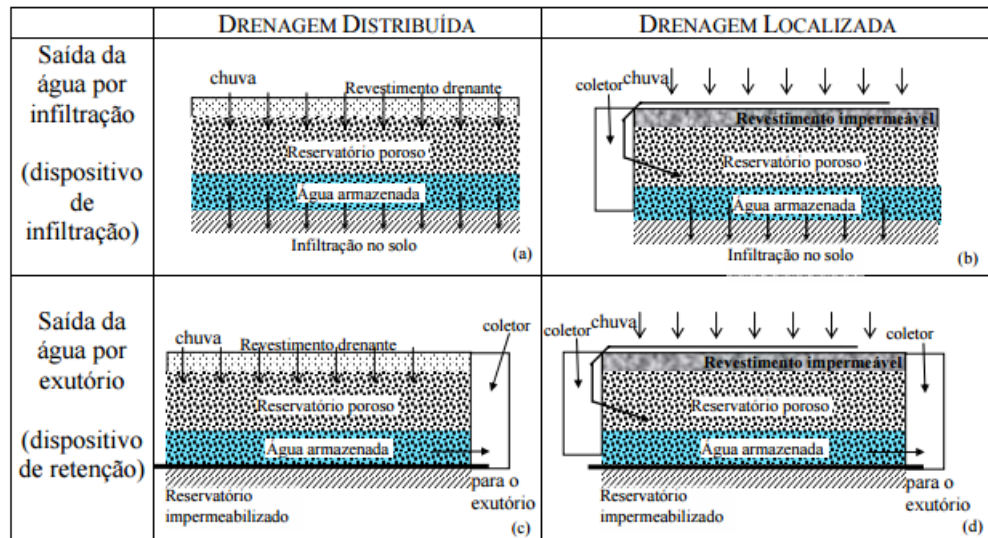


Figura 13 – Divisão dos pavimentos permeáveis, de acordo com Azzout et. al. (1994).

Estes quatro tipos apresentam dois tipos de absorção (injeção) e dois de esvaziamento (evacuação) da camada porosa. Nos pavimentos de infiltração a evacuação é vertical e difusa para dentro do solo enquanto que nos pavimentos de retenção ela é horizontal e direcionada para um exutório, como por exemplo, para a rede pluvial existente. Quanto à absorção, tanto os pavimentos porosos de infiltração quanto de retenção podem ter uma injeção (entrada) difusa, através de um revestimento permeável, ou localizada, através de captações pontuais em um revestimento impermeável. Os pavimentos de retenção são usados sobre solos com pouca permeabilidade ou sensíveis à presença de água.

As principais características do pavimento permeável são resumidas na Tabela 10. Segundo Center for Watershed Protection (1998) apud U.S. Environmental Protection Agency, EPA, as instalações com maiores sucessos se encontram em regiões com solos arenosos e declividades baixas.

O pavimento permeável exige manutenção periódica para a retirada do sedimento fino retido na superfície, isto é, nos espaços entre os blocos, que dificulta ou prejudica a infiltração. Portanto, caso não seja realizada essa manutenção, esse mecanismo não será mais eficiente.

Como estudo de caso, apresento aqui as principais conclusões do experimento que foi desenvolvido na área da Escola Municipal de Ensino Fundamental João Pedro Menna Barreto localizada no município de Santa Maria – RS (MAUS et al., 2007). O esquema do experimento

Tabela 10 – *Parâmetros de projeto para implementação de pavimentos permeáveis.*

<b>Parâmetro</b>	<b>Pavimentos Permeáveis</b>
Área da bacia de contribuição	< 10ha
Capacidade de infiltração do solo	Entre 7 e 200 mm/h
Nível do lençol freático	Até 1 m abaixo do fundo do dispositivo
Risco de contaminação de aquífero	Se o aquífero for muito sensível, não recomendado. Somente com fundo impermeabilizado.
Declividade do terreno	Implantação restrita para altas declividades
Disponibilidade de área	Necessidade de espaços amplos, porém também podem ser implementados em substituição a pavimentação comum em áreas de calçadas, praças, pátios e estacionamentos
Flexibilidade de desenho	Limitados somente à geometria do local

é ilustrado na Fig. 14. Foram instaladas 4 parcelas iguais em tamanho, com diferentes tipos de cobertura para avaliação do escoamento superficial da água pluvial nos mesmos. São eles: paralelepípedo, asfalto, gramado e pavimento permeável. E na parte inferior foram instaladas calhas coletoras para levarem o fluxo de água para as caixas coletoras.



Figura 14 – *Esquema com as parcelas adotadas no experimento com os 4 tipos de cobertura para análise do escoamento superficial urbano. Ao lado, a foto evidenciando o cumprimento do esquema estabelecido. Modificado de (MAUS et al., 2007).*

Na tabela 11, estão evidenciados os resultados obtidos com cada tipo de cobertura. No asfalto houve o menor índice de infiltração, ao passo que no pavimento permeável a infiltração foi total. Em contrapartida, o escoamento superficial no pavimento permeável foi nulo, enquanto no asfalto, foi o maior revelado. Os espaços vazios entre os blocos de rocha que constituem o calçamento do tipo paralelepípedo são os principais contribuintes para o valor de quase 80% de

infiltração.

Tabela 11 – Valores acumulados de escoamento superficial e o volume infiltrado em cada parcela com tipo de cobertura (MAUS et al., 2007).

Pavimento	Precipitação acumulada (mm)	Escoamento superficial (mm)	Infiltração (mm)
Asfalto	236,62	168,00	68,62
Paralelepípedo	236,62	51,34	185,28
Gramado	236,62	5,00	231,62
Pavimento permeável	236,62	0,00	236,62

#### 4.1.6 Telhado Verde

O telhado verde é uma alternativa sustentável para a drenagem urbana caracterizado como toda cobertura ou telhado que agrega em sua composição uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação. Podem ser construídos tanto em telhados de casa como nas lajes dos prédios e outros. A NRCA (*National Roofing Contractor Association*, EUA) define telhado verde como uma vegetação aplicada em um substrato colocado em qualquer nível impermeabilizado da estrutura fabricada.

A EPA (*Environmental Protection Agency*) considera que a principal função do telhado verde é absorver volumes de água de chuva e liberá-los em um ritmo reduzido e controlado. Além disso, é uma importante medida para o desenvolvimento sustentável em centros urbanos através da promoção da qualidade do ar e da água e da redução da necessidade de sistemas de aquecimento e refrigeração nas edificações.

Os telhados verdes são compostos por algumas camadas (ver Fig. 15). A primeira camada, ou seja, a mais inferior, é a própria laje que é a estrutura onde devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais. A camada acima da laje é denominada impermeabilizante, cuja função é proteger o elemento estrutural de possíveis infiltrações. Acima desta, deve ser colocada uma membrana anti-raízes, cuja função é impedir a penetração das raízes na estrutura. A camada acima é denominada drenante e tem como função dar vazão ao excesso de água no solo. Subsequente a última camada, está a filtrante, a qual possui a função de evitar que a água

precipitada arraste as partículas de solo do telhado verde. Para essa camada é bem comum o uso de manta geotêxtil.

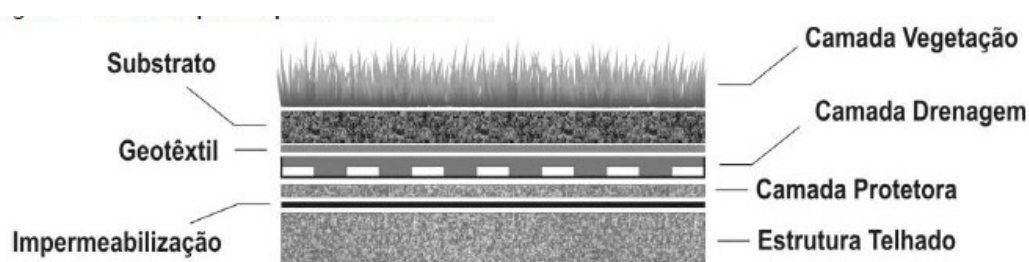


Figura 15 – Ilustração da composição típica dos telhados verdes. Extraído de TASSI et al. (2014).

Para finalizar, penúltima e última camadas são compostas por solo e vegetação. O primeiro deve ser um substrato orgânico com boa capacidade de drenagem e uma boa composição mineral de nutrientes. A espessura varia de acordo com o porte das plantas. Já a escolha da vegetação varia de acordo com o clima local, o tipo de substrato a ser utilizado e o tipo de manutenção que será adotada no telhado verde. No caso de irrigações, o ideal é a escolha de plantas que não são exigentes a umidade, isto é, resistem bem ao estresse hídrico.

Segundo a *International Green Roof Association* (IGRA), os telhados verdes podem ser de três tipos, conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – Características de telhados verdes extensivos, semi-intensivos e intensivos.

Tipo/Característica	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
manutenção	baixa	periódica	alta
irrigação	não	periódica	regularmente
sistema de altura desenvolvida	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm em garagens subterrâneas > 1000 mm
peso	60 - 150 kg/m <sup>2</sup>	120 - 200 kg/m <sup>2</sup>	180 - 500 kg/m <sup>2</sup>
custo	baixo	médio	alto
uso	camada de proteção ecológica	designado à cobertura verde	parque parecido com jardim

Empregado desde muito antigamente, sua função no passado era ecológica e voltada para a agricultura, estética e lazer, apenas. Atualmente, essa alternativa de drenagem sustentável é, principalmente, empregada como um mecanismo de eficiência energética, conforto térmico, redução das “ilhas de calor” nas cidades, filtro para melhoria da qualidade da água e do ar e, retenção e retardo da vazão de água pluvial escoada.

Em sua dissertação, DE OLIVEIRA (2009) objetivou avaliar os impactos da implantação de um telhado verde em relação ao conforto térmico e a retenção de águas pluviais. De natureza experimental, foi implementado um telhado verde em edificação preexistente, mais especificamente numa escola municipal em Vargem Grande. A estratégia utilizada foi dividir o telhado em duas partes simétricas, onde uma permaneceu inalterada, denominada como telhado testemunha, e na outra foi implementada uma cobertura verde. Além disso, um sistema de irrigação por microaspersão foi utilizado para simular uma intensidade pluviométrica mínima de 8,77 mm/h e máxima de 42 mm/h para ambos os telhados. O resultado comparativo para a intensidade pluviométrica de 42 mm/h é ilustrado na Fig. 16.

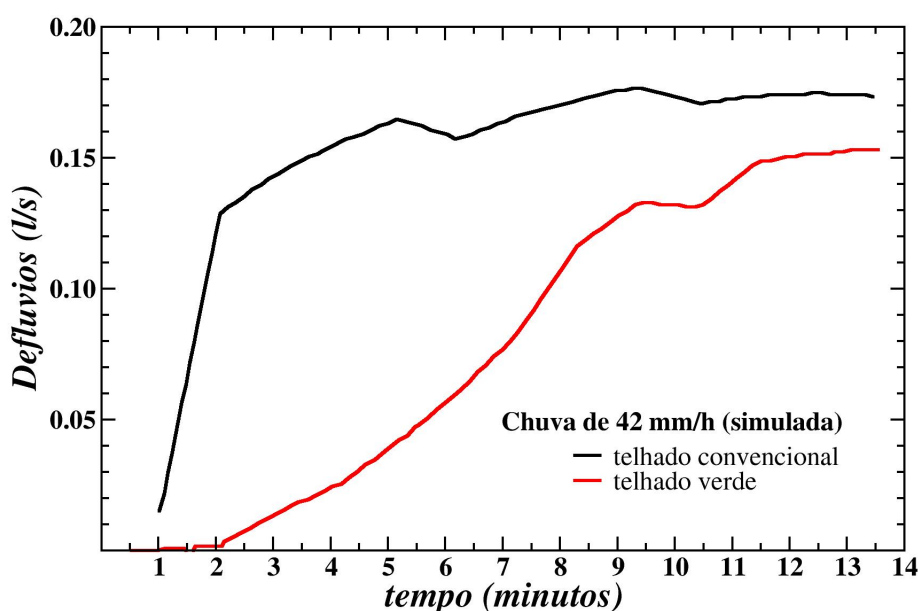


Figura 16 – Comparação do comportamento do telhado verde e do telhado convencional durante simulação de chuva de 42 mm/h durante período de 13 minutos de avaliação. Extraído de (DE OLIVEIRA, 2009).

CATUZZO (2013) analisou, em sua tese, o telhado verde da sede da Prefeitura de São Paulo, Edifício Conde Matarazzo, comparando seus resultados de temperatura e umidade relativa do ar com o telhado de concreto do edifício Mercantil Finasa, localizado 50 metros de distância, aproximadamente. Como exemplo, no caso da temperatura, observou-se que nos dias mais quentes o telhado verde apresentou menor aquecimento e maior umidade relativa do ar. Já durante as mínimas, as temperaturas variam pouco entre os telhados, no entanto, o telhado verde apresenta

temperatura um pouco maior e umidade relativa do ar menor em comparação ao telhado de concreto. Quando comparadas as maiores temperaturas máximas dos dois telhados, o telhado verde apresenta temperatura de 0,6° C a 5,3° C menor. E para as menores temperaturas máximas a diferença é de 0,2° C a 3,1° C. Para as maiores temperaturas mínimas entre os telhados, houve uma variação de 0,3° C a 1,8° C, enquanto que para as menores temperaturas mínimas as variações foram de 0,7 ° C a 1,7 ° C.

Assim, CATUZZO (2013) conclui que o telhado verde é uma estrutura de grande relevância para o caso de uma área central como a do estudo, pois nesses locais ocorrem formação de ilhas de calor e enchentes, os quais são potencializados pelas ações antrópicas. Isso porque essas estruturas absorvem e emitem parte da radiação solar, além de contribuir para o aumento da quantidade de umidade em decorrência da evaporação, evapotranspiração e redução do aquecimento, o que influencia no balanço de radiação e de energia.

## 4.2 Medidas Não-Estruturais

São aquelas em que se procura reduzir os danos ou as consequências das inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, a conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem e o cuidado com o meio ambiente no qual esta está inserida. Envolve ações de cunho social para modificar padrões de comportamento da população, tais como meios legais, sanções econômicas e programas educacionais.

As medidas não-estruturais podem ser eficazes a custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação, quando comparadas às medidas estruturais, conforme afirma (CANHOLI, 2015). Essas medidas procuram disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas. São medidas que alcançam objetivos excelentes quanto à redução dos problemas de drenagem urbana, porém exigem esforços de conscientização popular, legislação apropriada, regulamentação e fiscalização do uso e da ocupação dos espaços urbanos, manutenção regular dos elementos estruturais, dos pátios, jardins, pavimentos e etc.

Em suma, são ações que integram a gestão das águas pluviais nas sub-bacias que compõem

o território urbano de uma cidade, enfocando não somente o problema específico das enchentes, mas, sobretudo, o uso racional do espaço urbano, de forma a se otimizar o bem estar, a qualidade de vida, a estética e as múltiplas possíveis atividades de utilização do ambiente urbano.

Seja em conjunto, ou não, com as medidas estruturais, podem minimizar significativamente ou até mesmo eliminar os prejuízos com um custo inferior, além de evitar a necessidade de implantação de novas obras no futuro, de custos cada vez mais altos.

Sistema de previsão e alerta de inundação, ações de regulamentação do uso e ocupação do solo, educação ambiental além de leis e normas, principalmente regulatórias, constituem as principais medidas não estruturais do tipo preventiva e que serão discutidas nas próximas sub-seções.

#### 4.2.1 Sistema de Previsão e Alerta

Essa medida tem a finalidade de se antecipar à ocorrência de inundação, prevenindo-a e avisando a população sobre a mesma, podendo assim, tomar as devidas medidas para reduzir ao máximo os prejuízos causados pela cheia.

Este sistema possui três fases distintas: prevenção, alerta e mitigação. A fase de prevenção é a fase de medidas preventivas, isto é, antecedentes à ocorrência de enchentes onde o objetivo é minimizar os impactos provocados por esses eventos, quando vierem a ocorrer. Tais medidas podem ser citadas como: treinamento da equipe de Defesa Civil, treinamento da população através de informes, mapa de alerta disponível e de fácil acesso para que todos tenham conhecimento sobre as áreas mais alagadas e planejamento de espaços para receber a população afetada, na ocorrência de acontecimentos mais graves. A fase de alerta é a intermediária e consiste no acompanhamento dos eventos chuvosos. Através de acompanhamentos técnicos, a população recebe informações e instruções da Defesa Civil e de administradores públicos municipais. Ações que devem ser realizadas para a minimização de impactos para a população e estruturas constituem a fase de mitigação. São elas o isolamento de ruas e áreas de risco, remoção de pessoas que ali residem e proteção de locais de interesse público. Alguns sistemas de alerta contra inundação no Brasil podem ser fundamentados em previsões com bases de radar, que são mais sofisticados, enquanto outros, menos sofisticados, são fundamentados através de correlações de



séries históricas. Os diferentes métodos utilizados, obviamente, resultam em tempos de alerta distintos.

O Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), gera a cada cinco minutos boletins sobre as chuvas e suas consequências na cidade de São Paulo.

No município do Rio de Janeiro, o Sistema de Previsão e Alerta atende pelo nome de Alerta Rio, sistema de alerta de chuvas intensas e de deslizamentos em encostas da cidade do Rio de Janeiro. Criado em 1996 através de um Decreto e, desde então gerenciado pela Fundação GEO-RIO, cumpre o objetivo de emitir boletins de alerta, à população sempre que houver previsão de chuvas intensas que possam gerar inundações de vias públicas e/ou acidentes geotécnicos em encostas (deslizamentos).

O Sistema conta com uma rede de 33 estações telemétricas espalhadas por todas as regiões do município do Rio de Janeiro, as quais enviam dados em tempo real, a cada 15 minutos, para a central do Alerta Rio. A equipe do Alerta Rio é composta por Meteorologistas, Engenheiros, Geólogos e Técnicos que realizam monitoramento das condições do tempo e manutenção da rede de equipamentos todo o tempo. Nas situações em que há a previsão de chuvas intensas para o Município do Rio de Janeiro são emitidos avisos para os órgãos da Prefeitura envolvidos na mitigação dos danos causados por chuva forte (como Defesa Civil, RioÁguas e outros). A população é avisada através dos canais do Alerta Rio na Internet e pela Imprensa.

#### 4.2.2 Ações de regulamentação do uso e ocupação do solo

O zoneamento das áreas de inundação é uma medida de controle de enchentes não estrutural, cuja fundamentação é a determinação de critérios rigorosos de uso e ocupação baseados no grau de risco de inundações e enchentes. Segundo afirma DA SILVA (2012), essa avaliação é baseada na análise de eventos extremos para a identificação das áreas mais suscetíveis aos impactos ocasionados pelas inundações. Com base na Constituição Federal de 1988, de acordo com o Artigo 30,

*competete aos Municípios promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano.*

Desse modo, devem ser desenvolvidas políticas urbanas municipais voltadas ao adequado gerenciamento de recursos hídricos e ordenação no processo de urbanização ou o seu rearranjo.

Para (NOCCETTI e CORDEIRO, 2010), o Poder Público deve lançar mão de recursos como o zoneamento, que é um instrumento legal de regulação do uso do solo, variável de acordo com o tipo de uso do solo, a área, a densidade da ocupação desta e as taxas de impermeabilização, além de fiscalizar adequadamente a fim de que suas imposições sejam cumpridas.

#### 4.2.3 Educação Ambiental

Programas de educação ambiental são medidas não estruturais, as quais pretendem, segundo Adams (2012) estimular mudanças nos hábitos culturais, sociais e econômicos objetivando modificar costumes que promovem o consumismo e priorizam o desenvolvimento apenas no âmbito econômico.

De acordo com (SOUZA, 2003), a expressão “Educação Ambiental” foi utilizada de forma primária na “Conferência de Educação” na Universidade de Keele na Grã Bretanha no ano de 1965. No ano de 1968, tem-se o início do Conselho para Educação Ambiental no Reino Unido bem como o surgimento do Clube de Roma, o qual produziu, em 1972, o relatório “Os Limites do Crescimento Econômico”, com estudo de ações para obtenção de equilíbrio global aliado a redução do consumo (SOUZA, 2003).

Foi neste ano de 1972, em Estocolmo na Suécia, que ocorreu a primeira aparição de algo consistente em relação a educação com vertente ambiental, mais especificamente na Conferência Mundial do Meio Ambiente Humano, convocada pela ONU. Em tal evento, a mesma foi determinada como estratégia para resolução de problemas ambientais baseada numa educação voltada para o uso equilibrado dos recursos naturais. Fato marcante na história mundial e fruto de um intenso movimento progressivo acerca das questões ambientais. A partir dessa Conferência, a UNESCO assumiu a organização de discussões regionais e internacionais sobre educação ambiental realizando mais dois eventos de muita relevância histórica: Seminário Internacional sobre Educação Ambiental em Belgrado na Iugoslávia em 1975 e a Conferência Intergovernamental sobre educação ambiental na antiga União Soviética (URSS), em 1977 (Tozoni-Reis, 2004).

Interessante destacar o princípio de número 19 da Declaração da Conferência da ONU no Ambiente Humano que descreve que

*É indispensável um esforço para a educação em questões ambientais, dirigida tanto às gerações jovens como aos adultos e que preste a devida atenção ao setor da população menos privilegiado, para fundamentar as bases de uma opinião pública bem informada, e de uma conduta dos indivíduos, das empresas e das coletividades inspirada no sentido de sua responsabilidade sobre a proteção e melhoramento do meio ambiente em toda sua dimensão humana.*

Para elaboração do documento sobre educação ambiental na Agenda 21, resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida pelo nome Rio-92, o documento gerado na Conferência de 1977 foi consultado.

Para Santos (2000), embora a Agenda 21 não seja um documento jurídico, é o de maior expressividade no embasamento às legislações dos países ligados a ONU, pois nela estão evidenciadas as recomendações e os princípios necessários à implementação de leis além de possuir um capítulo inteiro dedicado à educação ambiental.

No Brasil, o processo de educação ambiental segue a Lei de nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Em seu artigo 1º descreve que entende-se por educação ambiental

*os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.*

A educação ambiental é uma componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal.

Segundo Santos (2000), somente a partir da publicação desta Lei a questão acerca da educação ambiental ganhou força no país, pois a implantação e a aplicação desta como disciplina se tornou obrigatória. Nela são estabelecidos os princípios relativos a educação ambiental que deverão ser seguidos.

Atualmente, se encontra em processo de elaboração o Programa Municipal de Educação Ambiental – ProMEA Rio, que conta com participação de atores sociais de diversos ramos da sociedade e estará de acordo com o Programa Nacional de Educação Ambiental, o Tratado

de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global e a Carta da Terra.

Programas educativos na forma de mesas-redondas, debates e campanhas com distribuição de material informativo são outras formas que visam o aumento do nível de conscientização, estimulando o envolvimento da população nas questões ambientais e modificando padrões de conduta não sustentáveis de uso da água (RIGHETTO, 2009).

A Educação Ambiental, como um enfoque crítico e integrador da educação, constitui-se numa importante variável na busca do desenvolvimento sustentável, baseado na racionalidade ambiental e reconhecendo os limites dos ecossistemas naturais. Deve ser uma compreensão integrada do meio ambiente em suas múltiplas e complexas relações, envolvendo aspectos físicos, biológicos, sociais, políticos, econômicos, culturais, científicos e éticos. Por meio de múltiplas sínteses, almeja recuperar os elementos valiosos do passado e do presente, para a construção de um futuro socialmente justo e ambientalmente sustentável (SOUZA, 2003).

#### 4.2.4 Leis, Normas e incentivos fiscais

Embora não exista no Brasil uma base regulamentar específica e direcionada ao emprego de técnicas compensatórias para o manejo das águas pluviais, a legislação brasileira, nos níveis federal, estadual e municipal, dispõe de ferramentas legais as quais podem conduzir seu uso, com fins de controle de escoamentos, redução da poluição difusa e de seu impacto sobre os corpos receptores (RIGHETTO, 2009).

Diversos municípios brasileiros concedem benefício tributário, aos imóveis residenciais que adotem medidas relacionadas com a proteção do meio ambiente, entre elas aquelas que contribuem para redução da quantidade do escoamento superficial, por exemplo, redução do IPTU. A Tabela 13 apresenta as medidas adotadas em algumas cidades brasileiras. Destaca-se a quantidade de leis ambientais aprovadas no final da década de 90.

Esse tipo de concessão estimula o armazenamento, o reuso das águas pluviais na própria edificação e a manutenção de áreas permeáveis nos lotes urbanos, mitigando os impactos provocados pelo lançamento das águas pluviais em vias públicas e/ou na rede de captação.

Apesar das particularidades de cada lei municipal, as medidas relacionadas com a redução

Tabela 13 – Tabela com legislações municipais adotadas em algumas cidades brasileiras.

<b>cidade</b>	<b>ano</b>	<b>assunto</b>
Belo Horizonte, MG	1996	Plano de desenvolvimento urbano → implantação de reservatórios na proporção de 30 ℓ/m <sup>3</sup> de área impermeabilizada.
Niterói, RJ	1997	A lei nº 1.620/1997 → limite para a taxa de impermeabilização em 90% para a zona urbana.
Federação	1997	Lei nº 9.433 → política nacional de recursos hídricos.
Santo André, SP	1997	Lei municipal nº 7.606/1997 → cobrança de taxa sobre o volume lançado no sistema de coleta pluviais.
Porto Alegre, RS	1999	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) → controle das vazões geradas excedentes à condição de pré-ocupação da área.
Guarulhos, SP	2000	O código de obras de Guarulhos (Lei nº 5.617/1997) prevê a obrigatoriedade do uso de reservatórios de detenção das águas pluviais para imóveis com área superior a 1 ha.
São Paulo, SP	2001	Conselho municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CADES) alterou a Lei nº 11.228/1992 para reservação de águas pluviais.
Curitiba, PR	2003	Programa de Conservação e Uso Racional de Água nas Edificações (PURA).
Federação	2007	Lei nº 11.445/2007. Dispõe sobre a política e Plano de Saneamento Básico.

do escoamento superficial que são utilizadas para concessão de descontos no valor do IPTU são, de maneira geral, as seguintes:

1. possuírem no perímetro de seu terreno áreas efetivamente permeáveis, com cobertura vegetal;
2. instalação de telhado verde,
3. sistema de captação e armazenamento das águas pluviais em reservatório, que funcione para utilização no próprio imóvel.

Pode-se citar como exemplos de municípios que instituíram leis que incentivam a implantação dessas medidas através de descontos no valor do IPTU:

- Município de Guarulhos/SP. Lei nº 6.793, de 28 de dezembro de 2010. CAPÍTULO X Dos Incentivos Ambientais, no artigos 60 e 61, os quais descrevem quando se dará a concessão de desconto do IPTU e concessão de até no máximo 20% de desconto no IPTU para imóveis que adotem duas ou mais medidas enumeradas na lei.

- Município de Uberlândia/MG. Lei nº 10.700, de 09 de março de 2011. Art. 148. que institui que os projetos aprovados com reaproveitamento de águas pluviais poderão ser beneficiados com concessão de desconto no Imposto Territorial Urbano – IPTU.

Em 2002, o município de São Paulo promulgou a LEI Nº 13.276 que tornou obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, sendo edificados ou não, com área impermeabilizada superior a 500m<sup>2</sup>, visando a redução dos prejuízos causados pelas enchentes e inundações.

Em 2012, no município do Rio de Janeiro, o Decreto nº 35.745 criou a qualificação QUALIVERDE e estabeleceu critérios para sua obtenção. QUALIVERDE é um modelo de certificação para edificações criado pela Secretaria Municipal de Urbanismo junto à Prefeitura do Rio de Janeiro, de reconhecimento e premiação das construções que contemplam ações e práticas de cunho sustentável, tanto na fase de planejamento quanto na de execução da obra, e até durante sua operação. Para obtenção deste, a construção precisa ter características específicas relacionadas, principalmente, à eficiência energética e gestão da água. O uso de telhados com cobertura verde, a utilização de pavimentos permeáveis em, pelo menos, 40% da área do passeio e a existência de estrutura para aproveitamento das águas pluviais são exemplos de ações qualificadoras. Além de reduzir os impactos ambientais e estimular práticas de consumo sustentável, os edifícios que possuírem a qualificação terão incentivos fiscais, como redução de valores no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) e Imposto de Transmissão de Bens Imóveis (ITBI).

Sancionada em 2014, a Lei Nº 9.511 tem como objetivo o estabelecimento de normas de controle de captação de água pluvial do Município de Goiânia, visando a retenção e infiltração das águas superficiais, mantendo o hidrograma natural, a recarga do lençol freático, a disposição desta para reuso, adotando de forma sustentável as estruturas de drenagem alternativas ou compensatórias. Em seu artigo de número 7, está descrito que

*os projetos urbanos deverão garantir a condição sustentável de descarga pluvial de sua respectiva área por meio da implantação de estruturas de retenção e/ou detenção e infiltração, mantendo-a o mais próximo possível da vazão de pico natural nos corpos hídricos receptores, de acordo com estudo específico.*

Em 2015, foi publicada no Diário Oficial a Lei Complementar Nº 4724 que define as diretrizes para regulação relativa a controle dos impactos da drenagem urbana de novos empreendimentos e inundações ribeirinhas, na drenagem pluvial pública, e dá outras providências. Esta lei institui

a aprovação pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação - SEMDUH, de projetos de drenagem urbana referentes à cidade de Teresina que tem como objetivo primário o controle do impacto da urbanização no ciclo hidrológico urbano. Além disso, cita inúmeras medidas sustentáveis para a manutenção da vazão de saída do período pré-ocupação, para áreas menores que 100 hectares.

Aderindo a ideia sustentável, recentemente foi sancionada em Recife uma lei que exige que novos prédios residenciais, com mais de 4 pavimentos e com área coberta acima de 400 metros quadrados, implementem telhados verdes. A Lei Municipal 18.112/2015 prevê o plantio de gramas, hortaliças, arbustos e árvores de pequeno porte nas lajes dos edifícios, bem como a construção de reservatórios para armazenamento de água da chuva, em novos imóveis residenciais e comerciais, com área de solo acima de 500 metros quadrados e 25% do terreno impermeabilizado.

Uma componente importante no planejamento de um município é o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). Trata-se de um conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, minimizando o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais. Na elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) deve ser mantida a sua coerência com as outras normas urbanísticas do município, com os instrumentos da Política Urbana e da Política Nacional de Recursos Hídricos (PARKINSON et al., 2003).

Segundo TUCCI (1997), um PDDU deve buscar planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência da ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento com a infraestrutura, afim de evitar prejuízos econômicos e ambientais. Também deve-se controlar ocupação das áreas de risco de inundações através de restrições nas áreas identificadas como de alto risco, bem como a convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

O PDDU deve priorizar as medidas não-estruturais, incluir a participação pública, ser definido por sub-bacias urbanas e ser integrado ao plano diretor de desenvolvimento urbano. Objetiva ser o instrumento orientador do poder executivo não só nas questões pontuais como inundações mas também nas medidas de macrodrenagem como contenções de encostas e cabeceiras (Pinto et al, 2006).

Baseado no estudo de Orientações Básicas para Drenagem Urbana o Plano Diretor de Dre-

nagem Urbana deve ser elaborado fundamentado em conhecimentos prévios como o estudo da bacia hidrográfica no geral, dando ênfase nas inundações ocorridas, preocupando-se no controle de vetores causadores de doenças e no controle de erosão. Também devem ser estabelecidas normas e critérios de projeto uniformes para toda a bacia estudada, além da identificação de áreas que podem e devem ser preservadas ou adquiridas pelo Poder Público. O zoneamento da área deve ser realizado assim como a valorização dos cursos d'água sendo integrados na paisagem urbana e servindo como fontes de lazer. Além disso, devem ser implantadas medidas que recorram a utilização de recursos disponíveis na região. É de suma importância que o Plano seja articulado e pensado em conjunto com outros sistemas como o de abastecimento de água, esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o sistema viário.

Vale ressaltar que a comunidade deve ser envolvida na discussão dos problemas e das soluções propostas, da mesma forma que devem ser adotadas medidas preventivas ao invés de medidas corretivas, como o usual.

NEVES e TUCCI (2003) reconhece que seja fundamental a participação do organismo da prefeitura responsável pelo sistema de drenagem na elaboração dos PDDUs, para que aquele possa alertar sobre as reais necessidades de cada bacia, os principais problemas, bem como orientar a elaboração das ações necessárias. É necessário também que durante a construção do PDDU seja respeitada a opinião da população sobre a intervenção proposta em cada bacia, garantindo assim, que a implementação das medidas de controle sejam implementadas sem resistência, e com agilidade.

O Manual de Drenagem Urbana também é um elemento importante dentro das políticas de incentivo e tem como objetivo orientar os projetistas sobre as restrições e métodos aceitos no dimensionamento da drenagem na cidade TUCCI (1997).



## 5 Conclusão

Exposta ao longo de todo esse trabalho, uma das principais causas das grandes enchentes e inundações é a urbanização: processo que traz consigo dois efeitos primordiais os quais culminam nesses grandes desastres no espaço urbano. São eles a impermeabilização do solo da bacia e a ocupação inapropriada de áreas ribeirinhas, as quais ficam alagadas em épocas de cheia.

Decorrentes dessa relação de causa e efeito, as enchentes e inundações, nas diferentes escalas em que ocorrem, são prejudiciais em todos os âmbitos para o homem, como por exemplo, o ambiental, o social e o econômico.

O sistema convencional de drenagem urbana, evidenciado, principalmente, na fundamentação teórica deste estudo, é baseado em idéias higienistas, cuja finalidade é escoar as águas urbanas rapidamente para jusante. Destacou-se que o mesmo não está sendo mais eficiente de acordo com a sua função primordial de projeto, e, ademais, pode-se dizer que está ultrapassado pois o conceito de drenagem urbana sofreu, e ainda sofre, grande modificação pelo mundo todo. Este sistema se encontra num período transitório da fase higienista para a fase sustentável, nos países em desenvolvimento como o Brasil, isto é, do conceito de canalização para o conceito de reservação.

Conforme evidenciado neste estudo, essas medidas sustentáveis não se resumem a obras, apenas. Uma combinação adequada e harmoniosa de medidas estruturais e não estruturais deve ser planejada de forma consistente objetivando um melhor manejo de águas pluviais. No entanto, não é possível reduzir o controle da drenagem urbana a um receituário de medidas estruturais e não estruturais. Todas as medidas de controle devem integrar-se ao planejamento ambiental do meio urbano, deixando de ser apenas um problema de engenharia e de planejamento administrativo.

Pode-se dizer que a base da mudança ocorre na política, pois é através dela que maiores projetos poderão ocorrer, trazendo simultaneamente uma maior conscientização ambiental, maior investimento na área e incentivos, resultando em maior enfoque para o manejo das águas pluviais. Nesse caso, podemos destacar, sobretudo, as medidas não estruturais que trazem a educação

ambiental como potencial para mudar esse panorama, leis mais restritivas quanto ao uso do solo, por exemplo, e leis de incentivos fiscais na promoção da implantação de medidas estruturais. Considerando os meios legais de ações para controle de enchentes e inundações, três tipos de documentos se encaixam nesse perfil. O Plano Diretor Urbano estabelece as linhas principais a serem seguidas, enquanto as legislações municipais e estaduais regulamentam e, por fim, o Manual de Drenagem, cuja finalidade é orientar sobre esses sistemas.

O papel da educação ambiental é fundamental na sociedade pois efetivará, ao longo do tempo, um cuidado maior em relação às águas urbanas respeitando a ocupação no espaço pois estas fazem parte do cenário urbano. Tratá-las como aliadas ao desenvolvimento urbano e compreender que a poluição das mesmas trará prejuízos cada vez maiores e mais intensos para a sociedade em geral é de suma importância. Embora seja imprescindível, a educação ambiental é um termo muito recente e bem abrangente. Portanto, ainda não existem programas específicos de educação ambiental para certos âmbitos da sociedade, como o manejo de águas pluviais urbanas e as questões a ela associadas como os resíduos sólidos urbanos, o esgotamento sanitário e o abastecimento de água. Será de grande valor para a sociedade e para esses sistemas, a criação de um programa educacional voltado para essas questões as quais constituem o saneamento básico.

Pertinente destacar também o fato da população estar sempre à espera de uma obra hidráulica, o que prejudica, de certo modo, o surgimento de políticos que desejam implementar uma medida não estrutural, como por exemplo o zoneamento que delimita o uso e a ocupação do solo. Essa é uma barreira considerável, a qual deve ser vencida.

Simultaneamente, a drenagem deve ser conjecturada como parte da infra-estrutura urbana, e, portanto, planejada em conjunto de outros sistemas como o esgotamento sanitário, a disposição dos resíduos sólidos urbanos, o tráfego urbano e o abastecimento de água. Essa integração, nada mais é, do que a aplicação da lei de saneamento básico, que trata esses assuntos de forma integrada, e que devem ser ponderados dessa forma.

Importante destacar que nesse estudo foram avaliados, somente, os aspectos técnicos das medidas estruturais. Os aspectos econômicos, apesar de não avaliados, são de bastante relevância para a efetividade e interesse na real implementação do projeto.

Um ganho bastante significativo quanto a utilização de medidas compensatórias na drenagem urbana, é a possibilidade de aproveitamento da água precipitada. Muitos desses sistemas permitem que ocorra este tipo de aproveitamento, cuja prática é essencial, principalmente em épocas e regiões de escassez, ou até mesmo na ocorrência de crise hídrica, evento recente em algumas regiões do Brasil.

Diante de todas as vantagens evidenciadas ao longo deste estudo, aliada ao benefício discutido no parágrafo anterior, atualmente, os sistemas sustentáveis são as principais soluções para mudança no panorama atual, pois essas técnicas tem como um dos principais propósitos o reestabelecimento do equilíbrio do ciclo hidrológico. Além disso, consideram a questão qualitativa das águas pluviais. Desse modo, sugere-se, como forma de gestão do manejo de águas pluviais, que a aplicação de sistemas alternativos de drenagem, entre eles as medidas estruturais analisadas, seja aplicada de forma a impedir que a cada nova intervenção de ocupação de um meio natural ocorra a ampliação do pico de vazão do hidrograma do escoamento superficial, isto é, que as vazões decorrentes da precipitação não sejam majoradas devido as construções nas cidades.

Isto posto, a precipitação se tornará um processo natural positivo para a população, auxiliando na irrigação natural e no preenchimento dos reservatórios e rios, os quais possibilitam o abastecimento humano e o fornecimento de energia, por exemplo.

## Referências

- AGRA, S. G. *Estudo experimental de microrreservatórios para controle do escoamento superficial*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. *Technique alternatives en assainissement pluvial. Technique et documentation*. Lavoisier, 1994.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; VON SPERLING, E. Inserção ambiental de bacias de retenção urbanas. In: *Anais do XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Lima, Perú, 1998.
- BOTELHO, M. H. C. *Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades*. Blucher, 3 edição, 2012.
- BRASIL. Lei federal no 11.445 de 05 de janeiro de 2007. estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União no dia 08 de Janeiro de 2007, seção 1, p. 3.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos, 2015.
- CATUZZO, H. *Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Outubro 2013.
- COSTA, L. M. S. A. *Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras*. Viana & Mosley, 2006.
- COUNTY, P. G. Low-impact development hydrologic analysis. Plano de desenvolvimento da cidade de Prince George's county, Maryland, Estados Unidos da América, Junho 1999. URL <http://www.princegeorgescountymd.gov/DocumentCenter/Home/View/87>.
- CRUZ, M. A. S. *Otimização do controle da drenagem em macrobacias urbanas*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

DA SILVA, J. P. *Estruturas de infiltração com utilização de materiais alternativos no controle de alagamentos, inundações e prevenção de processos erosivos*. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, 2012.

DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL  
SUDERHSA, S. *Plano diretor de drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba. Relatório final. Vol. 2*. Governo do estado do Paraná, Dezembro 2002. URL [http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume2/SUD0102RP\\_WR001\\_FI.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume2/SUD0102RP_WR001_FI.pdf).

DE DESENVOLVIMENTO URBANO, S. M. *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana*. impresso, 2012. 168 p.

DE MELO, T. A. T. *Jardim de chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas*. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Agosto 2011. URL [http://www.repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/5799/arquivo6628\\_1.pdf?sequence=1](http://www.repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/5799/arquivo6628_1.pdf?sequence=1).

DE MOURA, N. C. B. *Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo de águas de chuva*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2014.

DE OLIVEIRA, E. W. N. *Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2009. URL [http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2009/EricWatsonNettodeOliveiraPEAMB\\_2009.pdf](http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2009/EricWatsonNettodeOliveiraPEAMB_2009.pdf).

DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS, S. M. *Plano municipal de saneamento básico da cidade do Rio de Janeiro*, Dezembro 2015. 192 p.

(EPA), U. S. E. P. A. *Protecting water quality from urban runoff*. Informativo, Washington, DC, Estados Unidos da América, Fevereiro 2003. URL [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/nps\\_urban-facts\\_final.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/nps_urban-facts_final.pdf).

- FLETCHER, T.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; MIKKELSEN, P. S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Water Journal*, 12(7):525–542, 2015. doi: 10.1080/1573062X.2014.916314.
- HOBAN, A.; WONG, T.; BREEN, P. Water sensitive urban design for resilience to climate change. In: *1st international Hydropolis Conference*, 2006.
- Instituto Mobilidade Verde. Instituto Mobilidade Verde esta na cidade de Portland, eua, estudando os jardins de chuva. website, Fevereiro 2016.
- JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos avançados*, 25(71):135–158, Abril 2011. doi: 10.1590/S0103-40142011000100010.
- LIMA, H. M.; SILVA, E. S.; RAMINHOS, C. Bacia de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação. *Revista Escola de Minas*, 59(1):97–109, Jan 2006.
- MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Pavimento intertravado permeável: Melhores práticas. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010. URL <http://www.menegotti.net/novo/public/arquivos/esp/midia/midia-19.pdf>.
- MAUS, V. W.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. In: *1 simpósio de recursos hídricos do norte e centro-oeste*, 2007. URL [http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/11669857/i\\_simp\\_rec\\_hidric\\_norte\\_centro\\_oeste25.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1474857232&Signature=61kZrcCbAEsyAbE7FzurkBokD6c%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPAVIMENTOS\\_PERMEAVEIS\\_E\\_ESCOAMENTO\\_SUPER.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/11669857/i_simp_rec_hidric_norte_centro_oeste25.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1474857232&Signature=61kZrcCbAEsyAbE7FzurkBokD6c%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPAVIMENTOS_PERMEAVEIS_E_ESCOAMENTO_SUPER.pdf).
- MELO, T. A. T. D.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, 14(4):147–165, Out/Dez 2014.

- MIGUES, M. G.; VERÓI, A. P.; REZENDE, O. M. *Drenagem urbana: do projeto tradicional a sustentabilidade*. Elsevier, 2015.
- NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; VON SPERLING, E. Problemas de inserção ambiental de bacias de detenção em meio urbano. In: *20 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, pages 2242–2250, 1999.
- NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado em drenagem urbana: quantificação e controle de resíduos sólidos. 2003.
- NOCETTI, T. F.; CORDEIRO, J. S. A visão dos atores no sistema de drenagem urbana: uma análise crítica da gestão dos recursos humanos. *Revista de Ensino de Engenharia*, 29(2): 14–26, 2010.
- OF ENVIRONMENTAL RESOURCES, D. Low-impact development design strategies: An integrated design approach. Manual Técnico, 1999. 150 p.
- PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L. C.; CAMPOS, R. Drenagem urbana sustentável no Brasil. Relatório do workshop em goiânia-GO, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Maio 2003.
- PAZ, A. R. D. Hidrologia aplicada: texto básico. Apostila do curso em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Setembro 2004.
- POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5(1): 15–23, 2000.
- REIS, R. P. A. *Proposição de parâmetros de dimensionamento e avaliação de desempenho de poço de infiltração de água pluvial*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 2005.
- REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H. D.; SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. *Ambiente Construído*, 8(2):99–117, Abr/Jun 2008.

- REZENDE, O. M. Manejo sustentável de águas pluviais: uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2010. 99 p.
- RIGHETTO, A. M. *Manejo de águas pluviais urbanas*, volume 4. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2009.
- SCHUELLER, T. *Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, Estados Unidos da América, 1987.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO, P. D. S. A. P. S. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais, aspectos tecnológicos: fundamentos. São Paulo, 2002. vol. 2.
- SMAR-RJ. *Plano municipal de saneamento básico da cidade do Rio de Janeiro: drenagem e manejo de águas pluviais*. Secretaria municipal de recursos hídricos do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dezembro 2015. URL [http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5302963/4152314/PMSB\\_DRENAGEMEMANEJODEAGUASPLUVIAIS.pdf](http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5302963/4152314/PMSB_DRENAGEMEMANEJODEAGUASPLUVIAIS.pdf).
- SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(2):9–18, 2012.
- SOUZA, R. F. *Uma experiência em educação ambiental: formação de valores sócio-ambientais*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Serviço Social da PUC-Rio, 2003.
- SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. In: *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, volume 1, pages 57–72. 2013.
- TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, 14(1):139–154, Março 2014.



- TAVANTI, D. R. *Desenvolvimento de baixo impacto aplicado ao processo de planejamento urbano*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2009.
- TUCCI, C. E. M. Estimativa do volume para controle da drenagem no lote. In: *Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana*, Curitiba, 1997. ABRH.
- TUCCI, C. E. M. Aspectos institucionais no controle de inundações. In: *I Seminário de recursos hídricos do Centro-oeste, Brasília*, 1999.
- TUCCI, C. E. M. *Gestão de água pluviais urbanas*. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. *USP: Estudo avançados*, 22(6):97–112, 2008.
- URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater best management practices and detention*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- VIRGILIS, A. L. C. *Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009. URL Acessado em 30 de Maio de 2016.
- WALESH, S. G. *Urban surface water management*. John Wiley & sons, Inc., 1 edição, 1989.