



IRAMAYA RODRIGUES SALVADOR

**A INFRAESTRUTURA VERDE COMO FERRAMENTA
SUSTENTÁVEL PARA A DRENAGEM URBANA**

IRAMAYA RODRIGUES SALVADOR

**A INFRAESTRUTURA VERDE COMO FERRAMENTA
SUSTENTÁVEL PARA A DRENAGEM URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade Pitágoras, como requisito parcial
para a obtenção do título de graduado em Curso
de Engenharia Ambiental e Sanitária

Orientador: Danielle Oliveira

IRAMAYA RODRIGUES SALVADOR

**A INFRAESTRUTURA VERDE COMO FERRAMENTA
SUSTENTÁVEL PARA A DRENAGEM URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade Pitágoras, como requisito parcial
para a obtenção do título de graduado em Curso
de Engenharia Ambiental e Sanitária

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Governador Valadares, 17 de dezembro de
2021

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã,
à meu amado e aos amigos queridos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, bem como a todos aqueles próximos a mim que contribuíram para que pudesse sempre continuar avançando em direção aos meus objetivos.

“A questão consiste em saber se alguma civilização pode levar adiante uma guerra sem tréguas contra a vida, sem se destruir a si mesma e sem perder o direito de ser chamada de civilização”. (Rachel Carson)

SALVADOR, Iramaya Rodrigues. **A Infraestrutura Verde como Ferramenta Sustentável para a Drenagem Urbana**. 2021. 40. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade Pitágoras, Governador Valadares, 2021.

RESUMO

O presente trabalho apresenta a Infraestrutura Verde como uma alternativa as soluções tradicionalmente usadas para a drenagem urbana, tratando-a como uma ferramenta a ser usada para reverter aspectos negativos da urbanização, como impermeabilização do solo e aumento do pico de vazão no sistema de drenagem, em razão do excesso de escoamento superficial gerado pela ocupação do solo. Além desse aspecto, a Infraestrutura Verde pode ser utilizada no controle de poluição a partir da utilização de técnicas que permitem a filtragem ou mesmo a fitorremediação da água pluvial. Dessa forma este trabalho possui como objetivo principal demonstrar por meio de revisão bibliográfica que as soluções promovidas pela infraestrutura verde são sustentáveis socio-ambientalmente e economicamente, comparado as técnicas tradicionais. Concluindo-se que em razão dos vários impactos positivos que a integração desses elementos ao gerenciamento de águas pluviais urbano traz, incluindo sobre a qualidade da água e a qualidade de vida da população, essas técnicas alternativas cumprem de forma satisfatória sua função de promover a sustentabilidade das cidades, não apenas do ponto vista do meio ambiente, mas também em relação aos aspectos sociais e econômicos.

Palavras-chave: Infraestrutura Verde. Drenagem Urbana. Sustentabilidade. LID.

SALVADOR, Iramaya Rodrigues. **The Green Infrastructure as a Sustainable Tool for Urban Drainage**. 2021. 40. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade Pitágoras, Governador Valadares, 2021.

ABSTRACT

The present research shows the green infrastructure as an alternative to traditionally used solutions for urban drainage, treating it as a tool to be used to reverse negative aspects of urbanization, such as impervious surface and increased peak flow in the drainage system, due to the excess of surface runoff generated by the soil urban occupation. In addition to this aspect, the green infrastructure can be used for pollution control through the use of techniques that allow the filtration or even the phytoremediation of rainwater. Thus, this research has as its main objective to demonstrate through literature review that the solutions promoted by green infrastructure are sustainable, socio-environmentally and economically, compared to traditional techniques. In conclusion, due to the various positive impacts that the integration of these elements to urban stormwater management brings, even about the quality of water and the population quality of life, these alternative techniques satisfactorily fulfill their function of promoting the sustainability of cities, not only from the environmental point of view, but also in relation to social and economic aspects.

Keywords: Green Infrastructure. Urban Drainage. Sustainability. LID.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comparativo entre o tradicional e soluções alternativas	17
Figura 2 – Interferência da urbanização no ciclo natural da água	23
Figura 3 – Técnicas de infraestrutura aplicadas ao sistema de drenagem.....	25
Figura 4 – Exemplos de técnicas para controle da vazão de escoamento	28
Figura 5 – Exemplo de Fitorremediação aplicado a biovaletas	30
Figura 6 – Opções de meio-fios disponíveis.....	31
Figura 7 – Esquema de biorretenção	32
Figura 8 – Tipos de coletores de água pluvial	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo do histórico da drenagem urbana	15
Tabela 2 – Conceito de Canalização X Conceito de Reservação.....	26
Tabela 3 – Resumo dos dispositivos de infiltração	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Proteção Permanente
NUCASE	Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
LID	<i>Low Impact Development</i> (Desenvolvimento de baixo impacto)
BSD	<i>Better Site Design</i> (Melhor projeto local)
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i> (Projeto Urbano de água adequado)
SUDS	<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i> (Sistemas de drenagem urbana sustentáveis)
UACD	<i>University of Arkansas Community Design Center</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. A DRENAGEM URBANA	14
3. INFRAESTRUTURA VERDE.....	20
4. TÉCNICAS DE INFRAESTRUTURA VERDE.....	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Entende-se que há um movimento em direção ao cuidado com o meio ambiente, até mesmo no que diz respeito a infraestrutura mais básica das cidades. Esta preocupação advém não somente dos problemas enfrentados pelos municípios atualmente, mas também de uma tendência global de sustentabilidade socioambiental.

Considerando as questões ambientais e as necessidades urbanas, surgiu a ideia da infraestrutura verde, que tem o intuito de prover às cidades a qualidade e eficácia necessária para sua drenagem, utilizando os recursos ambientais de forma inteligente, ao mesmo tempo que torna o ambiente urbano ambientalmente mais sustentável.

Tendo isto em vista, este trabalho justifica-se ao trazer uma visão atualizada de uma tendência que deverá ser cada vez mais presente no dia a dia, ao mesmo tempo que aponta quais são os seus usos práticos, sua viabilidade e os benefícios que pode-se obter ao colocar em prática essa opção.

Dessa forma, pretende-se responder ao seguinte questionamento: a infraestrutura verde pode atender, de forma economicamente e ambientalmente viável, a demanda crescente da sociedade por soluções ambientais sustentáveis para os problemas urbanos?

Sendo assim, tem-se como objetivo principal demonstrar por meio de revisão bibliográfica que as soluções promovidas pela infraestrutura verde são sustentáveis socio-ambientalmente e economicamente, comparado as técnicas tradicionais; e especificamente elencar os problemas da área de drenagem e suas soluções mais comuns, fazendo um paralelo entre o tradicionalmente utilizado e as propostas sustentáveis; exemplificar usos da infraestrutura verde aplicados a esses problemas elencados; elucidar sobre os benefícios advindos da infraestrutura verde.

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de Revisão Bibliográfica, pela qual pretende-se consultar livros, artigos científicos e trabalhos acadêmicos por meio das seguintes bases de dados: Scielo, Google Acadêmico e Portal de Periódicos da CAPES. O período dos artigos pesquisados serão os trabalhos publicados nos últimos 20 anos.

2.A DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana envolve todos os aspectos ligados ao escoamento das águas pluviais nas cidades, desde o escoamento no interior dos imóveis até chegar a calha dos rios. Porém acaba por se destacar negativamente quando apresenta problemas à população ao não suportar a vazão que por ventura venha a receber, causando inundações, juntamente com os riscos aos quais a comunidade é exposta na ocorrência desses eventos.

Por se tratar da drenagem de águas pluviais, os elementos ligados ao ciclo hidrológico como a chuva, infiltração de água no solo, evapotranspiração e o próprio escoamento superficial interferem na vazão que o sistema urbano terá que suportar para evitar distúrbios para as pessoas. Dessa forma, a dinâmica aplicada as bacias hidrográficas também tem relevância para a drenagem urbana, como a área total de drenagem, o tempo de concentração, dentre outros fatores.

Collischonn e Tassi (2008, p.12), ao definirem a importância da área delimitada para a bacia hidrográfica no cálculo do potencial hídrico desta, onde o volume de água recebido pela bacia pode ser obtido pela multiplicação da área de drenagem desta pela lâmina de água da precipitação, demonstram como as questões ligadas a bacia de drenagem se conectam ao sistema de drenagem urbana, afinal através desse conceito pode-se estimar as vazões que o sistema receberá.

Ao analisar o descrito por Tucci (2006, p.72) pode-se compreender como a urbanização impacta em cada aspecto do ciclo da água, desde a diminuição da cobertura vegetal, que está ligada a redução do impacto direto da chuva no solo e a evapotranspiração, até aos impactos sobre a infiltração, com destaque neste aspecto ao aumento do escoamento superficial causado pela impermeabilização do solo, que pode atingir uma vazão de seis a sete vezes maior, de acordo com o mesmo autor.

A relação das cidades com a drenagem pluvial não é recente, e de acordo com Tucci (2008, p.100) esse histórico pode ser dividido em fases, que se encontram descritas na Tabela 1. Este mesmo autor destaca que o Brasil ainda encontra-se na fase Higienista que visa apenas afastar os efluentes líquidos e as inundações das pessoas, sem controle sobre os resíduos sólidos, tratamento do esgoto ou conservação ambiental.

Tabela 1 – Resumo do histórico da drenagem urbana

Fase	Características	Consequências
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 das 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.

Fonte: Tucci, 2008

De acordo com Tucci (2012, p.20), a situação brasileira se deve a forma como a drenagem é vista e com a capacidade dos profissionais que atuam na área, que passaram a tratar a macrodrenagem da forma que a microdrenagem já era tratada, que consiste em drenar a água da maneira mais rápida. Segundo o mesmo autor, isso trouxe consequências destrutivas e inviáveis do ponto de vista econômico, uma vez que essa abordagem aumentou a vazão das águas pluviais, bem como a distância para se transportar essa água de forma considerável.

Sobre a microdrenagem e a macrodrenagem, Almeida (2020, p.07) as divide de acordo com as dimensões das galerias que conduzem a água pluvial, seja superficialmente ou pelo subterrâneo. Dentro dessa divisão as pequenas e médias galerias dizem respeito a primeira citada, sendo que a segunda é composta pelas galerias de grande porte, rios e canais. Essa descrição corrobora com a apresentada anteriormente sobre a microdrenagem e a macrodrenagem serem tratadas da mesma forma, ou seja, apenas para escoar a água de maneira eficiente.

Enquanto isso, o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre – RS (2005, p.15), distingue três níveis do sistema de drenagem: na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. Sendo o primeiro referente a uma drenagem localizada, como um

lote ou imóvel; o segundo se trata do sistema de drenagem, com seus condutos e canais que levam até a macrodrenagem; enquanto o terceiro diz respeito ao sistema que coleta a vazão proveniente dos condutos da microdrenagem, envolvendo áreas extensas.

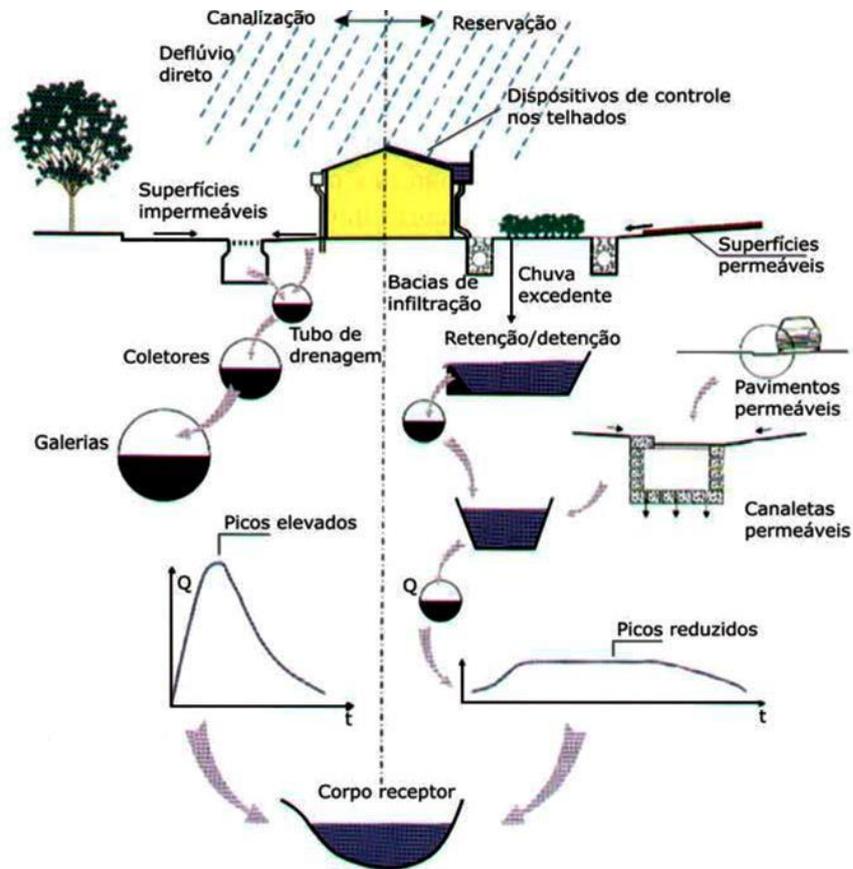
Os níveis de divisão do sistema de drenagem apresentados demonstram como todo ele é interligado e interdependente, porém a segunda descrição que foi apresentada do Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre – RS (2005, p.15) é mais abrangente por não tratar a drenagem apenas como galerias para levar as vazões provenientes das precipitações para locais mais afastados. Essa visão ampliada é importante para identificar, avaliar e tratar os problemas que possam surgir.

Como destaca o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre – RS (2005, p.04) quando se dá prioridade em apenas transferir os volumes de água do escoamento superficial, e ainda sem controle da ocupação das áreas próximas aos rios, é que são criadas as condições para os impactos adversos provenientes do mal planejamento, ou mesmo da má gestão, da drenagem.

Sendo assim, com relação a ocupação do solo é importante destacar que, a forma como o meio urbano é ocupado leva a impermeabilização do solo, o que não permite a infiltração da água pluvial, levando que esta esco superficialmente, conseqüentemente aumentando a vazão a ser drenada. O Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (NUCASE) (2007, p.24) vai além ao destacar que a urbanização gera impactos variados ao ciclo natural da água.

Nucase (2007, p.24) cita como estas alterações causadas pela intervenção antrópica levam ao aumento do escoamento superficial e são intensificadas pela rede de canais tradicionalmente usada, pois esta reduz o tempo que a água levaria naturalmente para atingir os pontos mais baixos do relevo, ou seja, fazendo com que a água se acumule mais rápido. Na Figura 1 é possível ver como os sistemas tradicionais contribuem para aumento nos picos de vazão, e ainda compara com soluções alternativas para a drenagem urbana.

Figura 1– Comparativo entre o tradicional e soluções alternativas



Fonte: Canholi, 2014

A Figura 1 demonstra o processo de drenagem urbana sob duas ópticas diferentes. A esquerda é possível identificar o uso tradicional, onde os condutos guiam as águas até o corpo receptor, sendo que o volume aumenta à medida que o sistema segue como consequência da impermeabilização, já que toda a água coletada pelos telhados e outras superfícies impermeabilizadas (como ruas) é conduzido para o escoamento nas galerias.

Ainda de acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** pode-se perceber que a direita o pico de vazão é amortecido, o que é destacado inclusive no gráfico apresentado na parte inferior da figura. Isso ocorre por que foram usados mecanismos para favorecer a infiltração da água, o que diminui o escoamento superficial, bem como, métodos para aumentar o tempo de detenção da água, diminuindo assim o tempo que leva para alcançar os canais e rios e consequentemente reduzindo o acumulo de água.

Conforme exposto, a drenagem tradicional visa transportar as vazões geradas pelo escoamento superficial de forma rápida e eficiente. Para isso utiliza medidas

estruturais, sendo comum o uso de galerias e canais que aumentam a velocidade do escoamento, diminuindo o tempo de concentração, aumentando assim o pico de vazão e conseqüentemente propiciando o acúmulo da água, principalmente nas regiões de fundo de vale que são as partes mais baixas do relevo, e dessa forma gerando alagamentos e inundações.

Dentro das intervenções existentes na drenagem urbana, Tucci (2012, p.33) distingue duas formas, as medidas não estruturais, que visam a prevenção ou convívio com as questões envolvendo o ambiente, como as inundações; e as medidas estruturais, que exigem investimentos em obras de infraestrutura. Como conclui Almeida (2020, p.27) essa segunda forma citada é inerentemente construtiva, podendo se tratar de obras que visam reter os volumes de água, até mesmo melhorias em canais.

Comumente verifica-se nas zonas urbanas intervenções estruturais como retificações de cursos de água, construção de galerias para escoamento da água pluvial, bem como estruturas contra erosão e assoreamento. Porém existem alternativas que podem ser exploradas, que tem como objetivo reduzir os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos naturais. Como destaca Nucase (2007, p.37) essa outra abordagem começou a ser avaliada nos países desenvolvidos na década de 70.

Sendo assim, essa visão Higienista na qual o Brasil se encontra sobre a drenagem urbana, somada a impermeabilização do solo causada pela urbanização, gera impactos as comunidades urbanas. Sendo que Tucci (2012, p.17) destaca a falta de sustentabilidade do modelo atual através dos efeitos que são produzidos por ele:

(a) aumento da vazão máxima e sua frequência das inundações; (b) aumento da velocidade do escoamento, resultando em erosão do solo e produção de sedimentos para o sistema de drenagem; (c) aumento dos resíduos sólidos que escoam para o sistema de condutos. Os sólidos produzem entupimento e reduzem a capacidade de escoamento de condutos e canais, produzindo maiores inundações; e (d) deteriorização da qualidade da água pluvial devido à lavagem das superfícies urbanas. (TUCCI, 2012, p.17)

Além da questão do aumento das vazões de pico que foi tratada, ao elencar estes efeitos adversos o autor levanta as questões referente a resíduos sólidos, erosão e assoreamento. Estes aspectos são importantes e estão interligados, pois, a erosão aumenta a quantidade de sedimentos a ser carregada para os condutos e galerias, que somado aos resíduos sólidos, acabam por reduzir a seção de

escoamento, ou mesmo inviabiliza-lo em razão dos entupimentos. Isso acaba por exigir uma manutenção constante do sistema de drenagem para mitigar esses efeitos.

Conforme o que foi exposto a maneira como a água pluvial é tratada nas cidades brasileiras gera impactos visíveis, e que atingem diretamente a população de formas variadas. E, uma vez que, a urbanização da forma como se dá atualmente gera os elementos para o aparecimento desses problemas, acaba se criando um ciclo vicioso, no qual ao passo que se intervêm com medidas estruturais tradicionais acaba por aumentar a vazão de pico a jusante, que por sua vez tem significativo aumento dos alagamentos, exigindo novas intervenções para tentar sanar os distúrbios.

Conclui-se assim que é necessário alterar a abordagem dada aos sistemas de drenagem, saindo da forma Higienista e partindo para medidas mais sustentáveis economicamente e ambientalmente. Sendo que estas medidas alternativas já são estudadas em países desenvolvidos desde a década de 70, e hoje estão disponíveis para utilização.

3. INFRAESTRUTURA VERDE

Para desenvolvimento e manutenção de um sistema que seja ambientalmente sustentável é necessário ter uma visão holística, uma vez que no ambiente natural tudo envolve ciclos interligados, onde a alteração em uma de suas partes gera um impacto generalizado no todo. No caso do ciclo hidrológico, os distúrbios gerados no ambiente urbano comumente retornam como problemas a sofrerem intervenções estruturais, com o propósito de reduzir os impactos sobre a população.

Como exposto na Tabela 1 a relação das cidades com a drenagem urbana passou por várias fases antes que a preocupação com a conservação ambiental e melhoria de vida fosse fator de peso ao desenvolver projetos de infraestrutura urbana. Mesmo que Nucase (2007, p.37) destaque que na década de 70 já houvesse estudos de outras abordagens, apenas a partir da década de 90 que projetos com esse novo olhar se consolidaram.

Antes dessa consolidação mencionada, houve várias propostas de aproximar as cidades do “verde”, como destaca Quintas (2004, p.155) ao propor que a origem dessas estruturas remonta à Revolução Industrial, como uma forma de responder às necessidades da população urbana em expansão. Sendo que Herzog (2013, p.43) destaca como pioneiro do “planejamento ecológico da paisagem” o responsável pelos projetos do parque Yosemite, Central Park e o sistema de parques “Colar de Esmeraldas”, todos projetos do século XIX.

Quintas (2004, p.158) informa que no decorrer do século XIX este tipo de projeto se disseminou, não apenas nos Estados Unidos, como também na Europa, dessa forma vários países passaram a adotar estes sistemas de parques, que com o tempo contribuíram para o desenvolvimento do conceito de “Cinturões Verdes”. Porém foi no início do século XX, de acordo com Herzog (2013, p.48), que a exigência de uma melhor qualidade de vida nas cidades, levou a diferentes propostas de planejamento urbano.

Quintas (2004, p.161) destaca que ainda no século XX surgiu a necessidade de integrar espaços abertos a partir da conexão entre eles, que poderia ser realizada de várias formas, desde percursos até corredores verdes. E Herzog (2013, p.107) complementa que no final do século XX “o planejamento ecológico da paisagem ganhou grande impulso quando o paisagista Ian McHarg publicou *Design with nature*”.

Para Tucci (2012, p.14) o crescimento populacional ocorrido no Pós-guerra pressionou o ambiente urbano, principalmente quanto a contaminação dos mananciais em razão da poluição por efluentes, o que levou em 1970 a um marco, que foi a criação do *Clean Water Act* (Lei de Água Limpa) nos EUA, o que refletiu na qualidade das águas neste país. Sendo que Tucci (2012, p.14) ainda descreve que nesse período percebeu-se o quão insustável era continuar a construir obras de drenagem da forma como estava sendo feito até aquele momento.

Porém essa evolução das obras de infraestrutura urbana ainda estava em andamento, sendo que apenas por volta dos anos 1990 é que surgiu o conceito de Infraestrutura Verde de acordo com Quintas (2004, p.161). Como exposto por Herzog (2013, p.109) nos últimos tempos se intensificou a ideia da ecologia urbana, permitindo que se busque a melhor compreensão da relação das pessoas com a natureza.

Como demonstra o breve histórico abordado, a relação das cidades com o meio ambiente evoluiu conforme aumentou a pressão da ocupação humana nos ambientes urbanos, havendo destaque para os períodos da Revolução Industrial e do Pós-guerra, nos quais ocorreram profundas mudanças na sociedade, que por sua vez permitiram que as pessoas que outrora ocupavam os campos passassem a viver nas cidades.

Ao analisar a situação atual, ainda é possível verificar discrepâncias nessas relações quando compara-se países desenvolvidos com os demais. Quanto ao Brasil, Herzog (2013, p.46) e Tucci (2012, p.24) citam exemplos isolados de ações voltadas as questões de sustentabilidade. Ou seja, mesmo que Quintas (2004, p.162) coloque que a Infraestrutura Verde seja imperiosa quando se trata do planejamento urbano de forma sustentável, isso ainda não é uma realidade na maioria dos países, dessa forma ainda há um longo desenvolvimento pela frente.

Tucci (2006, p.109) destaca que soluções que tenham a sustentabilidade ambiental como foco precisam de gerenciamento integrado entre os vários aspectos da infraestrutura urbana, como as características naturais do ciclo hidrológico e a ocupação do solo, sendo que os EUA atribuem a essa gestão o termo LID (*Low Impact Development*). Enquanto Tucci (2012, p.29) ainda destaca outros nomes atribuídos a estas soluções ao redor do mundo, sendo eles BSD (*Better Site Design*), WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) e SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*).

Como mostrado, existem várias nomenclaturas possíveis para esse enfoque sustentável no desenvolvimento das áreas urbanas, bem como no gerenciamento das águas pluviais, sendo que para Nucase (2007, p.37) este conceito pode ser chamado de “tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem”. Essa variedade é justificável frente ao fato desses conceitos serem recentes e terem surgido em vários países diferentes que passaram a buscar por essas técnicas.

Ao avaliar essas nomenclaturas e sua relação entre o ambiente natural e as estruturas desenvolvidas nas cidades para melhora não apenas do meio ambiente, mas também da qualidade de vida da sociedade, pode-se resumir todos esses conceitos como sendo Infraestrutura Verde, que Mascaró e Bonatto (2013, p. 3) tratam como sendo um conceito “emergente baseado nos princípios da ecologia da paisagem de: estrutura, função e mudança, onde a forma da paisagem depende não apenas de seus aspectos geobiofísicos, mas do uso e ocupação ao longo do tempo.”

A Infraestrutura Verde, para Herzog (2013, p.110), exprime todo o conceito de mudança urbana visando a manutenção sustentável dos ciclos naturais urbanos, revertendo a impermeabilização causada pelos métodos tradicionais, e trabalhando de forma multidisciplinar para desenvolver um ambiente multifuncional, que aumente a biodiversidade nas cidades e que suporte os serviços ecossistêmicos necessários a comunidade.

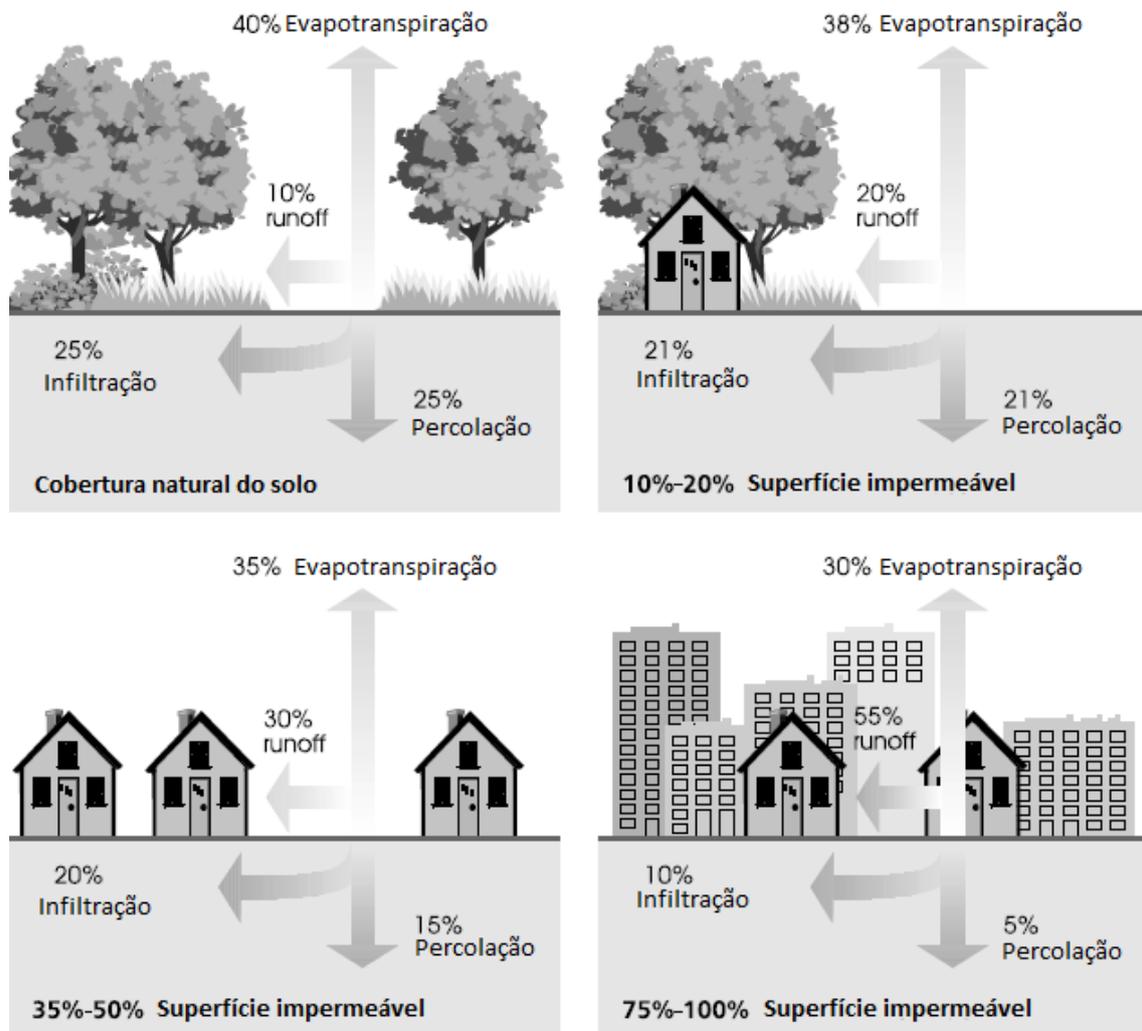
Já o *U.S. Congress* (2019, p. 5) trouxe em 2019 uma definição para Infraestrutura Verde através do *Water Infrastructure Improvement Act*, dessa forma definindo que:

[o] termo "infraestrutura verde" significa a gama de medidas que usam sistemas de vegetais ou de solo, pavimento permeável ou outras superfícies e substratos permeáveis, bem como coleta e reutilização de águas pluviais ou paisagismo com o intuito de armazenar, infiltrar ou contribuir com a evapotranspiração de águas pluviais e assim reduzir fluxos para sistemas de esgoto ou para as águas superficiais. (U.S. CONGRESS, 2019, p. 5)

Como destacado anteriormente, a urbanização afeta o ciclo natural da água, sendo que os pontos críticos dessa interferência recaem sobre a infiltração, percolação, evapotranspiração e escoamento superficial (runoff), como exemplificado no Figura 2. Considerando a definição de Infraestrutura Verde apresentada, podemos verificar que as intervenções estruturais ou não estruturais que seguem esse conceito,

atuam sobre os diferentes aspectos naturais do ciclo hidrológico a serem reestabelecidos.

Figura 2 – Interferência da urbanização no ciclo natural da água



Fonte: Adaptado de *Department of Environmental Resources*, 2000

Analisando a Figura 2 pode-se perceber que à medida que a ocupação do solo nas áreas urbanas é ampliada ocorre o aumento da impermeabilização do solo, que por sua vez reduz a infiltração/percolação da água no solo, reduzindo assim a recarga de lençóis freáticos e aquíferos, além de aumentar o escoamento superficial da água. Este escoamento superficial será direcionado para o sistema drenagem, e como mostrado anteriormente na Figura 1 contribuirá com o aumento no pico de vazão do sistema.

Como as práticas sustentáveis estão sendo cada vez mais exigidas na sociedade atual, é natural que a drenagem urbana busque se enquadrar nessas

exigências. Porém, como destaca Magalhães (2017, p.10), para se alcançar uma gestão sustentável dentro do que diz respeito a drenagem, é necessário avaliar a questão a nível municipal, ou seja, como parte de um todo que envolve os processos da gestão do município.

Já com foco na Infraestrutura Verde, Bonzi (2015, p.19) a classificou em níveis, dividindo-os em três diferentes escalas, sendo elas a macroescala, a escala intermediária e a pequena escala, que respectivamente dizem respeito a escala regional (com controle de cheias), a integração desse aspecto mais amplo com a estrutura interna da cidade, e por fim a escala no nível dos imóveis/lotês.

Tendo em vista o que foi exposto através dos autores citados até aqui, é reforçada a necessidade uma visão holística sobre a drenagem urbana, uma vez que o escoamento da água pluvial envolve vários níveis de organização dentro do ambiente urbano, desde o imóvel, passando pela microdrenagem, e por fim, atingindo a macrodrenagem. Como são interconectados, esses níveis devem ser pensados de acordo com os impactos (positivos ou negativos) que podem gerar no todo.

Dentro desse aspecto que relaciona os vários níveis da drenagem urbana, e conciliando com as definições de Infraestrutura Verde que foram tratadas, pode-se concluir que todas as intervenções, sejam elas dentro do imóvel ou a nível de macroescala, que impactam de forma positiva o ciclo hidrológico ao proporcionar o funcionamento adequado das etapas de infiltração/percolação da água no solo, bem como escoamento superficial e evapotranspiração são consideradas boas práticas para a gestão da drenagem urbana.

Dentre alguns exemplos de medidas estruturais voltadas para a Infraestrutura Verde, pode-se citar:

os jardins-de-chuva, biovaletas, lagoas de infiltração (bacias de retenção) e pluviais (bacias de retenção), tetos e muros verdes, alagados construídos, bioengenharia em taludes e encostas, pisos drenantes, entre outras. As tipologias podem ser combinadas e utilizadas em projetos de “escolas verdes”, “ruas verdes” e “ruas completas” (ou de múltiplo uso), de estacionamentos drenantes, parques lineares (corredores verdes), renaturalização de corpos d’água (HERZOG; ROSA, 2010, p.100)

Normalmente, dentro do percurso natural da água ocorre a infiltração e a percolação no solo, permitindo a recarga dos lençóis freáticos e aquíferos, além da evapotranspiração que forma vapor de água. Desse modo o objetivo dessas intervenções é permitir que o ciclo hidrológico ocorra de forma mais natural,

diminuindo assim o escoamento superficial que poderia vir a pressionar o sistema de drenagem, ao mesmo tempo também que ajuda a reabastecer o lençol freático e cria espaços de recreação para a população.

A Figura 3 elenca uma série de técnicas que podem ser utilizadas dentro desse conceito e as dispõe de acordo com o tipo de intervenção (do mais estrutural ao com maior associação com meio biótico) e conforme a capacidade de volume que pode ser retido, sendo que ainda as divide entre detenção, retenção, filtragem, infiltração e tratamento. Dessa forma é possível ter uma visão da variedade que está disponível para implantação nas obras urbanas, permitindo que se escolha a que melhor se adequa aquilo que foi proposto no projeto.

Figura 3 – Técnicas de infraestrutura aplicadas ao sistema de drenagem



Fonte: Guerra, 2020

Dentre as várias técnicas disponíveis existem aquelas que se enquadram no conceito de reservação das águas pluviais, que conforme Tabela 2, envolve a contenção com o objetivo de aumentar o tempo de concentração dessa forma reduzindo o pico de vazão, permitindo assim ao sistema de drenagem não exaurir sua capacidade de escoamento. Além disso, dependendo da técnica utilizada, pode ainda contribuir com a infiltração/percolação da água no solo e com a evapotranspiração.

Tabela 2 – Conceito de Canalização X Conceito de Reservação

Característica	Canalização	Reservação
Função	Remoção rápida dos escoamentos	Contenção temporária para subsequente liberação
Componentes principais	Canais abertos/galerias	Reservatórios a superfície livre Reservatórios subterrâneos Retenção subsuperficial
Aplicabilidade	Instalações em áreas novas Construção por fases Ampliação de capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos)	Áreas novas (em implantação) Construção por fases Áreas existentes (à superfície ou subterrâneas)
Impacto nos trechos de jusante (quantidade)	Aumenta significativamente os picos de enchente das enchentes em relação à condição anterior Maiores obras nos sistemas de jusante	Áreas novas: podem ser dimensionadas para impacto zero (Legislação EUA) Reabilitação de sistemas: podem tornar vazões a jusante compatíveis com capacidade disponível
Impacto nos trechos de jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda carga poluente afluente	Facilita remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação
Manutenção/operação	Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo) Manutenção nas galerias é difícil (condições de acesso)	Necessária limpeza periódica Necessária fiscalização Sistemas de bombeamento requerem operação/manutenção Desinfecção eventual (insetos)
Estudos hidrológicos/hidráulicos	Requer definição dos picos de enchente	Requer definição dos hidrogramas (volumes das enchentes)

Fonte: Canholi, 2014

Ainda de acordo com a Tabela 2 pode-se verificar que essa técnica pode ser utilizada não apenas em novas áreas, como em áreas já existentes, e ainda reduz os impactos a jusante, seja quanto a qualidade, seja quanto a quantidade de água que passa a integrar o sistema de drenagem. Apesar da manutenção/operação do conceito de reservação exigir mais que o conceito tradicional de canalização, os benefícios trazidos por essa técnica a tornam viável.

Sendo assim, a Infraestrutura Verde quando aplicada a drenagem urbana possibilita o desenvolvimento das cidades, enquanto contribui para a qualidade de vida da população, ao mesmo tempo que busca evitar os impactos negativos ocasionados pela urbanização sobre o ciclo hidrológico e a bacia de drenagem. Sendo que também contribui com a qualidade das águas e a recarga dos lençóis freáticos.

4. TÉCNICAS DE INFRAESTRUTURA VERDE

Foram abordadas as características gerais da Infraestrutura Verde, que atua sobre os aspectos do ciclo hidrológico que sofrem impactos com a urbanização e consequente impermeabilização do solo, visto que essa atuação se dá ao recuperar as funções naturais que envolvem o escoamento da água, como a infiltração e a evapotranspiração. Outro ponto importante destacado foi o desenvolvimento histórico desse conceito, o que permite compreender a sua abrangência e como sua definição se aplica na prática.

Dessa forma, pretende-se mostrar aspectos mais específicos da Infraestrutura Verde, demonstrando sua aplicabilidade a partir da exemplificação das técnicas disponíveis atualmente. Ressaltando que segundo Guerra (2020, p.29) ao se executar esse tipo de intervenção deve-se atentar a aspectos como disponibilidade locacional, características do solo, topografia, percurso e destinação das águas pluviais, redes públicas existentes no subsolo, dentre outros aspectos.

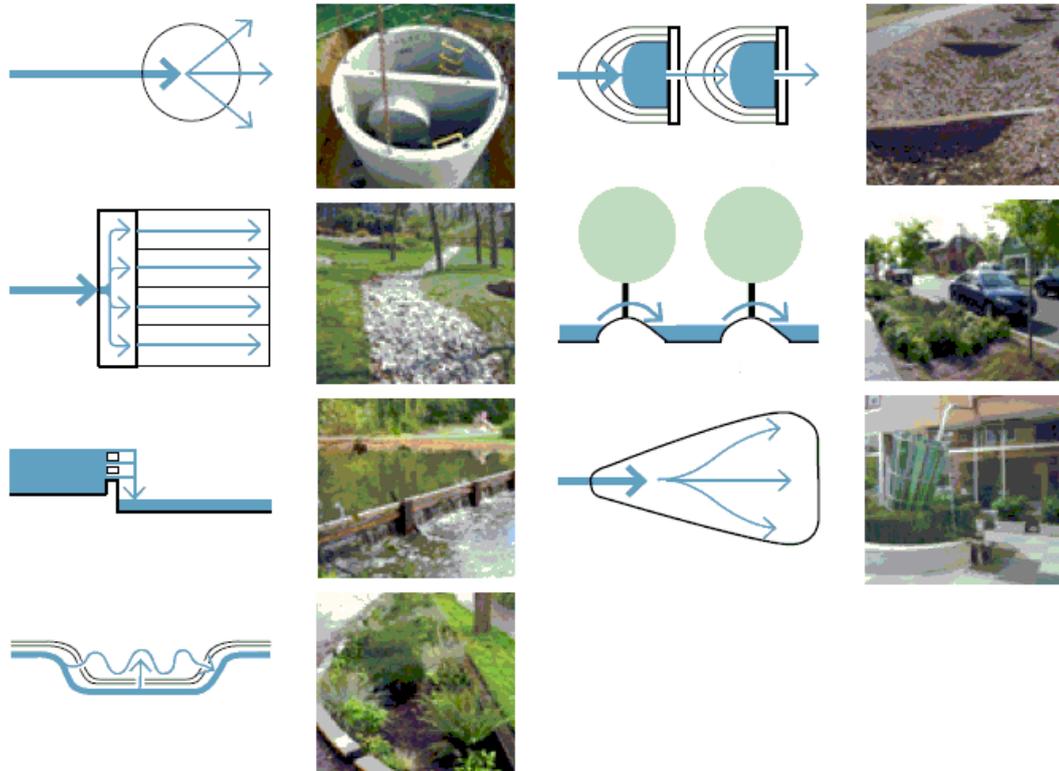
Estas técnicas compensatórias podem ser classificadas de diversas formas, quanto as características estruturais (intervenções estruturais, ou não estruturais), quanto ao nível de intervenção (local, na microdrenagem, e na macrodrenagem) ou mesmo de acordo com o impacto que ela gera sobre a bacia de drenagem. Quanto a este último aspecto a *University of Arkansas Community Design Center (UACD)* (2010, p.20) traz a seguinte classificação: Controle de escoamento; Detenção; Retenção; Filtração; Infiltração; e Tratamento.

O Controle de escoamento mencionado, como o nome sugere, refere-se as técnicas que contribuem para o controle da vazão do escoamento. De acordo com *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.148) esses dispositivos destinam-se a áreas que possuam concentração de escoamento, condutos ou canais, com o objetivo de amortecer a vazão do escoamento superficial antes que ele atinja o sistema de drenagem urbana, sendo que ao reduzir a velocidade de escoamento permite a deposição de sedimentos e detritos.

A Figura 4 ilustra algumas opções para controle da vazão de escoamento, sendo elas, respectivamente, divisor de fluxo, pequenas barragens, plano de dissipação e vala seca, biovaletas, açude permeável, dissipador de energia, e meio fio permeável. Ao fazer a análise a Figura 4 é possível verificar que esses dispositivos

reduzem o tempo de concentração ao aumentaram o tempo de detenção, sendo que para isso podem combinar o uso de estruturas com a utilização de espécies vegetais.

Figura 4 – Exemplos de técnicas para controle da vazão de escoamento



Fonte: Adaptado de *University of Arkansas Community Design Center*, 2010

Com relação a classificação de Detenção e Retenção, Tucci (2006, p.84) trata a ambos como sendo tipos de reservatórios, que quanto ao seu efeito sobre a bacia de drenagem seriam classificados como dispositivos de armazenamento. Esses dispositivos tem a função de amortecer a vazão ao reter parte do volume de escoamento superficial. Sendo que Tucci (2006, p.95) os distingui em razão da manutenção constante de uma lâmina d'água (retenção), ou por se manterem secos fora do período de chuvas (detenção).

Sobre os dispositivos de detenção a *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.20) os descreve como sendo um armazenamento temporário da água pluvial, podendo ocorrer esse armazenamento em lagoas, depressões ou mesmo no subterrâneo. Quanto aos dispositivos de retenção a UACD (2010, p.20) os apresenta como armazenamento do escoamento de águas pluviais a fim de permitir a sedimentação de sólidos em suspensão.

Quanto aos dispositivos de filtragem, à medida que a água atravessa uma camada porosa, seja ela de areia, sistema radicular ou mesmo filtros, os sedimentos

são removidos. A Figura 3 mostra alguns exemplos desses dispositivos, dentre eles o filtro de grama, filtro de areia, filtro de areia enterrado, telhado verde e parede verde. Uma vez que os sólidos são removidos evita-se que estes possam ser carregados para o sistema de drenagem ou mesmo para a calha dos rios, evitando assim entupimento de galerias ou assoreamento.

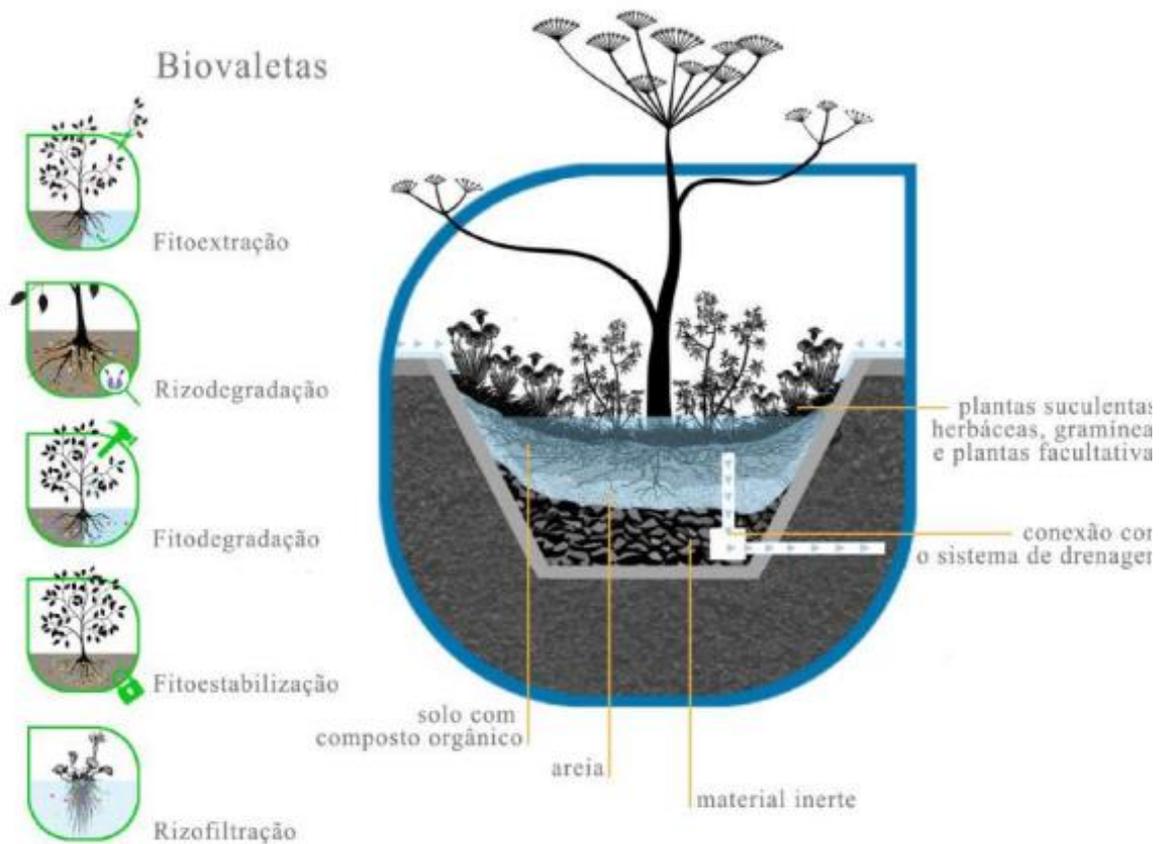
Em relação aos dispositivos de infiltração, Tucci (2006, p.95) afirma que eles buscam recuperar as características naturais que a área possuía antes da impermeabilização causada pela urbanização. Nesse tipo de dispositivo se cria as condições para que a água possa infiltrar, ou mesmo permitir a percolação dela no solo. Tucci (2006, p.85) destaca duas restrições para utilização dessas técnicas que seria a profundidade do lençol freático, e o nível de contaminação da água da chuva.

Quanto a infiltração, a *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.21) a define como sendo o movimento vertical do escoamento pluvial através do solo que permite a recarga do lençol freático. A Figura 3 elenca alguns tipos técnicas que podem ser utilizadas com o intuito de aumentar a superfície de infiltração, sendo que Tucci (2006, p.86) destaca os planos de infiltração, valos de infiltração, bacias de percolação, entradas permeáveis na rede de drenagem, trincheira ou vala permeável, meio fco permeável e pavimentos permeáveis.

Como destacado na Tabela 2 um dos efeitos negativos da abordagem tradicional na drenagem urbana é a questão dos poluentes carregados pela água chuva. Ao descrever os dispositivos de filtragem, foi destacado a importância da remoção de sedimentos em relação a entupimentos e assoreamento, mas para a questão dos poluentes a *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.21) traz os dispositivos de tratamento, eles visam a remoção da poluição através de fitorremediação e da ação de microrganismos.

A Figura 5 utiliza o esquema de uma biovaleta para demonstrar os mecanismos que permitem o tratamento de poluentes através de aplicações de técnicas de infraestrutura verde. Sendo destacado na Figura 5 o uso de plantas suculentas, herbáceas, gramíneas e plantas facultativas, que combinadas com a estrutura do dispositivo podem promover fitoextratação, rizodegradação, fitodegradação, fitoestabilização e rizofiltração.

Figura 5 – Exemplo de Fitorremediação aplicado a biovaletas



Fonte: Pinheiro, 2017

De acordo com Pinheiro (2017, p.98), ao usar o modelo ilustrado na Figura 5 é possível remover uma série de poluentes como nitrogênio, pesticidas solventes clorados e petróleo. Quanto a poluição por metais, poluentes orgânicos persistentes e fósforo, Pinheiro (2017, p.98) afirma que eles ficam presos ao solo ou mesmo a biomassa. Sendo assim, é possível realizar o tratamento de uma série poluentes, permitindo que a água seja entregue a jusante com melhor qualidade.

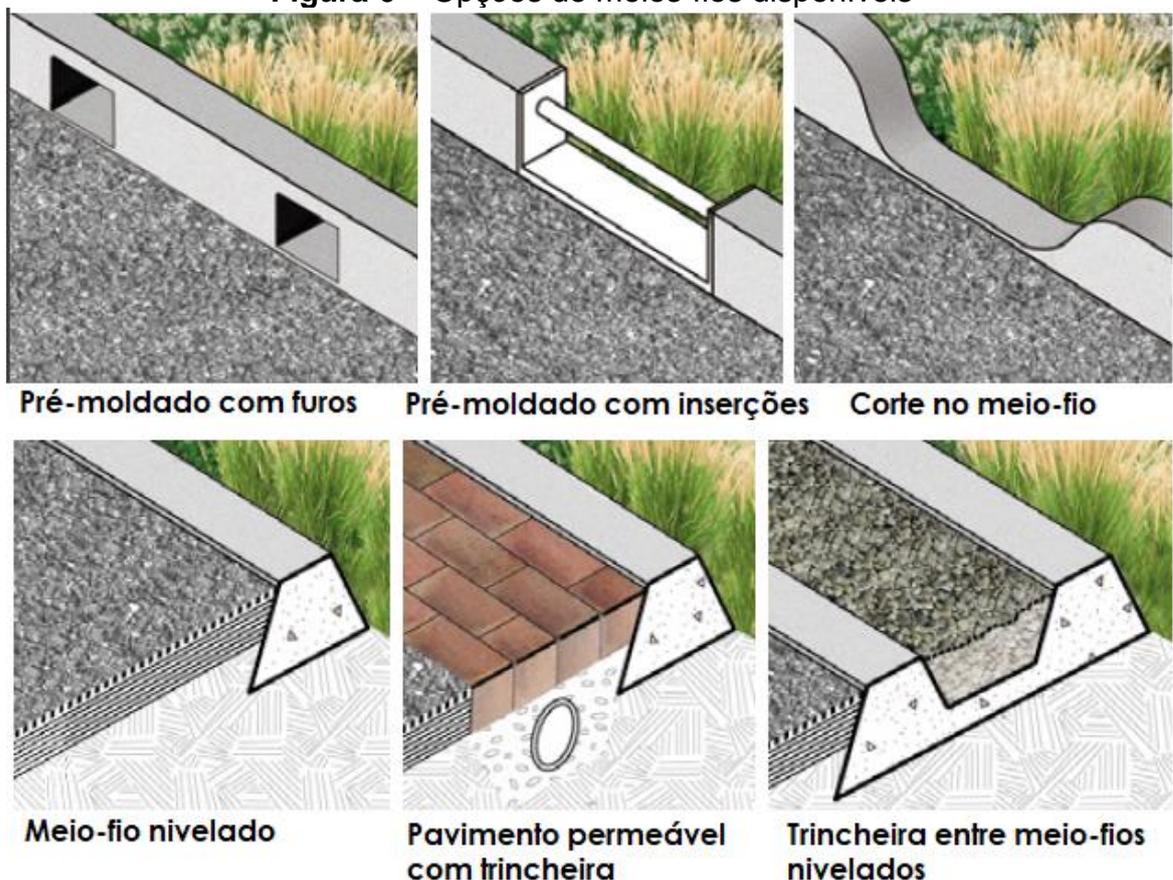
Dentro dessa classificação apresentada quanto ao impacto sobre a bacia de drenagem que cada técnica LID pode possuir, pode-se a seguir classificar as principais intervenções ligadas a infraestrutura verde, enquanto o funcionamento destas é descrito. Sendo assim, a seguir serão mostrados esses dispositivos, juntamente com sua classificação, dessa forma indicando os principais benefícios de cada um.

A Figura 4 trouxe alguns exemplos de técnicas de controle de vazão, dentre as quais será destacado as diferentes alternativas de meio fio aplicáveis a Infraestrutura Verde, dentre as quais o meio fio permeável. A escolha do melhor tipo meio fio

dependerá do tipo de uso e ocupação do solo e do volume de chuva a ser interceptado, sendo que o principal objetivo desse dispositivo é conduzir o escoamento pluvial, de preferência para outras estruturas de gestão do sistema de drenagem.

Conforme mostra a Figura 6 existem modelos variados de meio-fio aplicáveis as técnicas de Infraestrutura Verde, com destaque para as duas últimas opções que, de acordo com UACD (2010, p.96) permitem integrar a função de filtragem de sedimentos ao meio-fio, dessa forma direcionando o fluxo de água com um tratamento prévio para a intervenção LID integrada a ela. As demais opções são utilizadas dentro do seu princípio básico de condução do fluxo, sendo que o meio-fio nivelado maximiza a distribuição uniforme do escoamento da água pluvial.

Figura 6 – Opções de meios-fios disponíveis



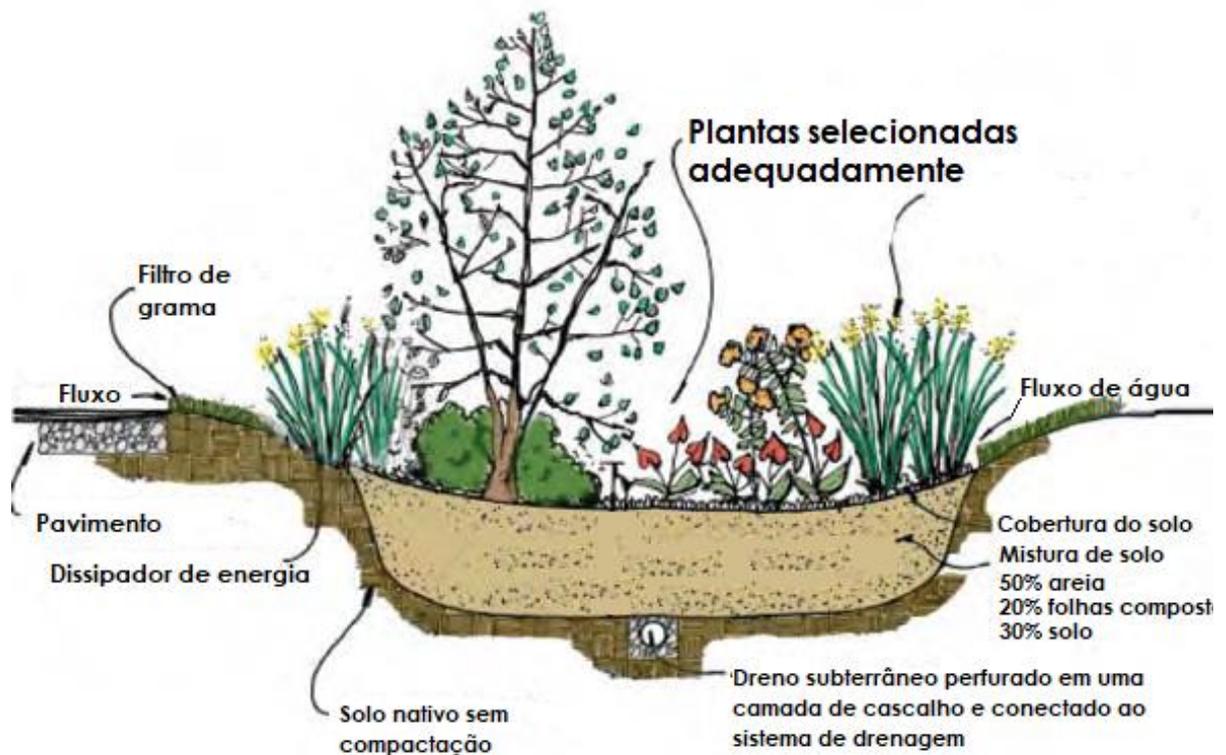
Fonte: Adaptado de *University of Arkansas Community Design Center*, 2010

Conforme abordado, os dispositivos de controle de vazão, dentre eles os meios-fios exemplificados pela Figura 6, irão direcionar o fluxo de água para alguma instalação implantada do sistema de drenagem, preferencialmente que esta seja uma intervenção LID, como por exemplo as estruturas de biorretenção, que de acordo com

University of Arkansas Community Design Center (2010, p.214) são depressões projetadas para mitigar poluentes carreados pelo escoamento superficial através da utilização do solo e da vegetação, sendo os exemplos mais comuns dessa técnica os jardins de chuva, biovaletas e bacias de biorretenção.

Como nome sugere são dispositivos de detenção, dessa forma amortecem o pico de vazão ao reter parte do volume de água, porém também possuem características de dispositivos de tratamento em razão da associação com espécies vegetais devidamente selecionadas, o que permite não apenas a remoção de sedimentos, como também de alguns poluentes. A Figura 5 traz um esquema de biovaleta e a Figura 7 esquematiza o conceito geral de biorretenção.

Figura 7 – Esquema de biorretenção



Fonte: Adaptado de *Southeast Michigan Council of Governments*, 2008

Na Figura 7 é possível verificar que além dos componentes de detenção e tratamento citados, esse tipo de técnica permite ainda a infiltração de água no solo em razão da permanência da água em contato com o solo permeável. Dessa forma esse tipo de intervenção contribui não apenas com o controle de alagamentos em razão do controle do pico de vazão, mas permite ir além contribuindo com a recarga de água no solo e com o controle da poluição difusa.

Há também técnicas para coleta de água da chuva com o intuito de fazer o reuso da mesma para outros fins, como a irrigação de jardins. A Figura 8 exemplifica algumas formas de realizar essa coleta, onde a água é coletada dos telhados e direcionada para o local no qual será armazenada, ficando disponível assim para o uso geral. De acordo com a retenção a UACD (2010, p.158) essas intervenções tem um alcance pontual, como o interior de lotes, e possui sua principal ação como sendo de retenção de parte do volume de água escoado.

Figura 8 – Tipos de coletores de água pluvial



Barril de chuva



Tanque séptico de ferrocimento pré-moldado



Tanque slim



Cisterna



Tanque flexível

Fonte: Adaptado de *Southeast Michigan Council of Governments*, 2008

Outra forma de reter as águas pluviais são as lagoas de retenção (retenção superficial) e os reservatórios subterrâneos, sendo que quanto a este último, seu custo é mais elevado que o das lagoas. Tucci (2006, p. 97) descreve que reservatórios fechados, além da dificuldade de manutenção, podem possuir um custo até sete vezes superior do que os reservatórios abertos. Quanto as lagoas de retenção a *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.160) destaca seu potencial para ser usado como tratamento desde que bem gerida e seguidas as especificações técnicas.

Dentro da classificação de dispositivos de armazenamento que foi descrita, além da retenção existem aqueles destinados a detenção do fluxo e que conseqüentemente aumentam o tempo de concentração da vazão de escoamento. O *Southeast Michigan Council of Governments* (2008, p.169) destaca o caráter temporário do armazenamento desses dispositivos que gera o amortecimento do pico de vazão, e admite como variações dessa técnica os alagados construídos (*wetlands*), as lagoas secas (bacias de detenção) e as técnicas de biorretenção.

Outro tipo importante de dispositivo, que pode vir associado as demais técnicas, são os filtros. O *Southeast Michigan Council of Governments* (2008, p.157) descreve que eles podem ser sistemas de filtração manufaturados, ou mesmo áreas escavadas compostas por camadas de matérias filtrantes, como areia, compostos orgânicos, dentre outros elementos capazes de filtrar sedimentos ou outros poluentes. Os filtros são variados podendo possuir vegetação ou não, e ainda podem contribuir com a infiltração.

Destaca-se o filtro de grama que compõe outras instalações LID, conforme ilustrado na Figura 7. Essa associação se deve a essa estrutura agir reduzindo a velocidade de escoamento e ajudar na remoção de alguns sedimentos e detritos. A *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.162) destaca que este tipo de medida previne o entupimento do sistema de drenagem pluvial, enquanto o *Southeast Michigan Council of Governments* (2008, p.289) destaca seu custo baixo e a qualidade da água ao ser conduzida através dele.

Ao analisar as técnicas de Infraestrutura Verde percebe-se que a maioria possui algum mecanismo que permite a infiltração de água no solo em maior ou menor quantidade. Porém existem aquelas que se destacam por esta característica, como os poços infiltração, planos de infiltração, valos de infiltração, bacias de percolação, vala ou trincheira de infiltração e pavimentos permeáveis. A Tabela 3 contém um resumo relacionado aos dispositivos citados.

Ao se analisar as desvantagens citadas da Tabela 3 verifica-se que, conhecendo bem seu projeto e a localidade para a escolha da técnica que melhor se adapta ao empreendimento, pode-se minimizar consideravelmente essas limitações. Dessa forma, considerando os benefícios relacionados ao amortecimento da vazão a jusante e aumento da recarga do lençol freático, verifica-se que essas técnicas possuem um bom custo-benefício.

Tabela 3 – Resumo dos dispositivos de infiltração

Dispositivo	Característica	Vantagens	Desvantagens
Planos e valos de infiltração com drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração de parte da água para o subsolo	Planos com declividade > 0,1% não devem ser usados; o material sólido para a área de infiltração pode reduzir sua capacidade de infiltração
Planos e valos de infiltração sem drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração da água para o subsolo	O acúmulo de água no plano durante o período chuvoso não permite trânsito sobre a área. Planos com declividade que permita escoamento.
Pavimentos permeáveis	Concreto, asfalto ou bloco vazado com alta capacidade de infiltração	Permite infiltração da água	Não deve ser utilizado para ruas com tráfego intenso e/ou de carga pesada, pois a sua eficiência pode diminuir
Poços de infiltração, trincheiras de infiltração e bacias de percolação	Volume gerado no interior do solo que permite armazenar a água e infiltrar	Redução do escoamento superficial e amortecimento em função do armazenamento	Pode reduzir a eficiência ao longo do tempo, dependendo da quantidade de material sólido que drena para a área

Fonte: Adaptado de Tucci, 2006

Além das variedades já citadas, deve-se destacar os telhados verdes, que são amplamente divulgados, e as paredes verdes. A *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.168) os classifica como sendo estruturas de filtragem, porém Brumley et al. (2018, p.8) alerta sobre a possibilidade do uso de telhados verdes contribuir com a poluição em razão do tipo de substrato usado, de deposições atmosféricas, ou mesmo devido aos nutrientes dos fertilizantes usados.

Por fim destaca-se a manutenção das áreas de APP, como elencado na Figura 3, uma vez que de acordo com a Lei nº12.651 de 2012, Art. 3º, inciso II, estas áreas tem a função de “preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012, [s.p.]). Elas compõem a

Infraestrutura Verde uma vez sua manutenção adequada exerce inúmeros efeitos positivos no equilíbrio dos ecossistemas dos quais fazem parte.

A *University of Arkansas Community Design Center* (2010, p.180) não traz o termo APP, uma vez que este é característico do Brasil, porém destaca a importância das matas ripárias tanto para filtração, infiltração e tratamento. A universidade ainda destaca que ao estabilizar as margens evita erosão e desmoronamento, além de fornecer sombra que ajuda a manter a temperatura da água constante o que interfere na troca de nutrientes e na sobrevivência da vida aquática.

Percebe-se que o uso das técnicas descritas requer planejamento e gestão para que possam atingir o seu potencial de forma plena, e uma vez que se possui estes dois componentes adquire-se ferramentas capazes de reduzir, ou mesmo eliminar, os impactos causados pela urbanização. No entanto é importante ressaltar que medidas isoladas não geram impactos a nível da macrodrenagem, sendo assim é importante uma gestão integrada sobre o tema e que aqueles que participam dessa administração possuam uma visão holística sobre o sistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer do trabalho buscou-se demonstrar que a utilização de alternativas ao tradicionalmente usado na drenagem urbana é viável sobre vários aspectos, sejam eles ambiental, social ou econômico. Isso se deu com a contextualização sobre o histórico do desenvolvimento dessas novas técnicas, a exposição sobre algumas alternativas disponíveis, além de indicar as principais consequências do modelo atual. Destacando que essas novas alternativas partem do princípio de reestruturar o ciclo natural da água, de forma a beneficiar o ambiente urbano.

Com esse processo de trazer para as cidades elementos que permitam que todos os mecanismos do ciclo hidrológico possam ocorrer o mais naturalmente possível, se cria um ambiente favorável a infiltração e percolação da água no solo, que pode vir a ajudar na recarga dos lençóis freáticos, além de reduzir o escoamento superficial que seria direcionado para os condutos, as galerias e cursos de águas, carreando sedimentos e contaminantes, bem como aumentando o pico de vazão.

Além disso, ao integrar os espécimes vegetais a essas medidas alternativas se contribui com a evapotranspiração, sendo que elas ainda podem ser usadas para fitorremediação de poluentes. Portanto com a adoção desses novos dispositivos é possível reduzir pontos de poluição, melhorando a qualidade da água a jusante, além de evitar sobrecarga do sistema em relação a vazão recebida por ele.

A partir desses benefícios citados pode-se concluir que a Infraestrutura Verde, como são tratadas essas alternativas, pode reduzir alagamentos e inundações, melhorar a qualidade da água, bem como contribuir com a disponibilidade da mesma ao contribuir com a recarga da água subterrânea. Estes são pontos sensíveis em várias cidades e que afetam a população de várias formas, e que podem ser tratados com a mudança de perspectiva sobre como abordar a drenagem urbana.

Conclui-se assim que a Infraestrutura Verde cumpre com seu papel ambiental, uma vez que seus benefícios abrangem vários aspectos ligados aos problemas enfrentados com a água, além de exercer um papel social ao contribuir com a qualidade de vida, já que propicia a melhoria da qualidade e disponibilidade de água, bem como reduz problemas com inundações e alagamentos, além de todos os retornos econômicos que advêm desses impactos positivos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Jean Carlos B. **Drenagem Urbana**. 1. ed. Curitiba: Contentus, 2020. 54 p. ISBN 978-65-5745-139-7. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/184465/pdf/0?code=rK78I2yJcV6rJIAC36pbCu3A9jM8JgR5d/3+dYGOM0bZu74ePJUCo2eEu32SYzNaPBj84bEvtiL6I2hEVdMfg==>. Acesso em: 8 out. 2021.
- BONZI, Ramón Stock. **Andar sobre Água Preta: a aplicação da infraestrutura verde em áreas densamente urbanizadas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. doi:10.11606/D.16.2015.tde-29102015-111924. Acesso em: 2021-04-03.
- BRASIL. Lei n.12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: out. 2021.
- BRUMLEY, Jessica *et al.* The Influence of Green Infrastructure Practices on Groundwater Quality: The State of the Science. **National Service Center for Environmental Publications**, [s. l.], n. EPA/600/R-18/227, August 2018. Disponível em: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=342610&Lab=NRML&subject=Water+Research&showcriteria=0&sortby=revisionDate&searchall=green+infrastructure+stormwater+management. Acesso em: 31 out. 2021.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p. ISBN 978-85-7975-160-8. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=BPAAtCQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 8 out. 2021.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia**. [S. l.]: IPH UFRGS, 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/34594967-Introduzindo-hidrologia.html>. Acesso em: 8 out. 2021.
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES (Prince George's County, Maryland). Programs and Planning Division. Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach. Maryland: [s. n.], 2000. 150 p. Disponível em: <https://permanent.fdlp.gov/websites/epagov/www.epa.gov/OWOW/nps/lid/lidnatl.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.
- GUERRA, Rodrigo Augusto. **Águas pluviais urbanas: integração da drenagem sustentável ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDU) em Guararapes/SP**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de

São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13658>.

HERZOG, Cecília Polacow. **Cidades Para Todos: (re)aprendendo a conviver com a Natureza**. 1. ed. rev. Rio de Janeiro - RJ: MAUAD Editora Ltda, 2013. 311 p. ISBN 978-85-7478-525-7. DOI <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i6p266-266>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61924>. Acesso em: 3 abr. 2021.

HERZOG, Cecília Polacow; ROSA, Lourdes Zunino. **Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana**. Revista LABVERDE, [S. l.], n. 1, p. 92-115, 2010. DOI: 10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281>. Acesso em: 3 abr. 2021.

MAGALHÃES, Mayara Danciger Vallin de. **Infraestrutura verde urbana como solução para áreas vitimadas por alagamentos**. Maringá - PR: [s. n.], 2017. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/419>. Acesso em: 3 abr. 2021.

MASCARÓ, Juan José; BONATTO, Daniella do Amaral Mello. **Infraestrutura Verde como Estratégia de Desenvolvimento Sustentável e Qualificação Urbana: Estudo de Caso da Cidade de Passo Fundo-RS**. Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, Curitiba - PR, 2013. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/ELECS2013/978-85-89478-40-3-a071.pdf>. Acesso em: 29 out. 2021.

NÚCLEO SUDESTE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL (NUCASE). **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte: ReCESA, 2007. 52 p. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/tecnic ascompensatoriasparacontroledечеiasurbanas-nivel2e3.pdf. Acesso em: 8 out. 2021.

PINHEIRO, Maitê Bueno. **Plantas para Infraestrutura Verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo**: Identificação de critérios para seleção de espécies. 2017. 367 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-27062017-141958/publico/MaiteBuenoPinheiro_REV.pdf. Acesso em: 31 out. 2021.

QUINTAS, Andreia V. **Gênese e evolução dos modelos de Estrutura Verde Urbana na estratégia de desenvolvimento das cidades**. A Obra Nasce: revista de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Fernando Pessoa, Porto - Portugal, n. 8, p. 153-167, dez 2014. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/4540/1/ART.153-167.pdf>. Acesso em: 26 out.

2021.

SOUTHEAST MICHIGAN COUNCIL OF GOVERNMENTS (Michigan). **Low Impact Development Manual for Michigan: A Design Guide for Implementors and Reviewers**. Michigan: [s. n.], 2008. 512 p. Disponível em: https://www.in.gov/idem/nps/files/nps_bmps_urban_low_impact_development_manual.pdf. Acesso em: 31 out. 2021.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília :Ministério das Cidades, 2006. v. 4. ISBN 978-85-60133-35-2. Disponível em: <https://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/06906898a257ceb3ec8687675e9e36c8.pdf>. Acesso em: 8 out. 2021.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 3 abr. 2021.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Textos para Discussão - CEPAL/IPEA: Gestão da drenagem urbana**. Brasília - DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012- . ISSN 2179-5495. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/38004>. Acesso em: 3 abr. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (Porto Alegre - RS). Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (Porto Alegre - RS). Departamento de Esgotos Pluviais. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana. Porto Alegre - RS: [s. n.], Setembro 2005. 159 p. v. vi. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf. Acesso em: 3 abr. 2021.

UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER - UACD (Arkansas). **LID Lower Impact Development: A Design Manual for Urban Areas**. [S. l.]: University of Arkansas Press, 2010. 213 p. ISBN 13: 978-0-9799706-1-0. Disponível em: http://www.bwdh2o.org/wp-content/uploads/2012/03/Low_Impact_Development_Manual-2010.pdf. Acesso em: 31 out. 2021.

U.S. CONGRESS. Public Law 115-436, 14 January 2019. An act to amend the Federal Water Pollution Control Act to provide for an integrated planning process, to promote green infrastructure, and for other purposes. **Water Infrastructure Improvement Act. 33 USC 1251**, Congress: Washington, DC, 14 Jan. 2019. Disponível em: <https://www.congress.gov/115/plaws/publ436/PLAW-115publ436.pdf>. Acesso em: 27 out. 2021.