

DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Pós Graduação em Paisagismo Ecológico: Planejamento e Projeto

Guia de Soluções baseadas na Natureza para o manejo das águas  
pluviais: Aplicado à realidade das cidades brasileiras

Luiza Nogueira Cavalcanti

Orientador: Pierre André Alexandre Henri Paul Martin

Co-orientador: Osvaldo Moura Rezende



Luiza Nogueira Cavalcanti

**Guia de Soluções baseadas na Natureza  
para o manejo das águas pluviais:  
Aplicado à realidade das cidades brasileiras**

Monografia apresentada ao Programa de Pós Graduação de  
Especialização em Paisagismo Ecológico: Planejamento e Projeto da  
Paisagem da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro para  
obtenção do título de Especialista em Paisagismo Ecológico.

Orientador: Pierre André Alexandre Henri Paul Martin

Co-orientador: Osvaldo Moura Rezende

Rio de Janeiro

Outubro de 2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

CAVALCANTI, Luiza Nogueira. **Guia de Soluções baseadas na Natureza para o manejo das águas pluviais: Aplicado à realidade das cidades brasileiras.** Monografia de Pós Graduação (Especialização) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2022.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos que me incentivaram a seguir nessa jornada, especialmente minha avó Ana Maria, grande admiradora e incentivadora do meu trabalho, e que acredita no meu potencial como paisagista para curar a cidade e de resgatar a natureza.



## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores orientadores Pierre-André Martin e Osvaldo Moura Rezende que mesmo com contratempos me acompanharam e contribuíram para a elaboração deste trabalho, dando todo o auxílio necessário. E que acreditaram que este guia seria possível em tão pouco tempo disponível.

Aos meus grandes mestres Cecília Polacow Herzog e, novamente, Pierre-André Martin, que acenderam essa fagulha do paisagismo em 2017 em mim na época da graduação.

Aos professores do curso da pós-graduação que através dos seus ensinamentos permitiram que eu pudesse estar concluindo este trabalho.

Aos meus pais, avós e avôs (in memoriam), que me incentivaram a todo momento e acreditaram em mim.

À minha irmã Bianca e à minha grande amiga Luísa Pimenta, pelas conversas extensas tarde da noite mesmo sem entender muito bem do assunto, me dando conselhos e sugestões. Obrigada pelas dicas de estruturação do texto, que sempre acreditou na minha vocação em Arquitetura e Paisagismo e sempre me incentivou até nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, pela compreensão das ausências e pelo afastamento temporário. Em especial à Júlia Ardións, pela ajuda com a formatação do trabalho. À Beatriz Saboia pelo seu olhar gráfico que possibilitou a montagem gráfica do guia. À Bianca Dragoni, minha grande amiga que a graduação me deu, obrigada pela ajuda com os materiais gráficos.

Aos meus colegas do curso, pelas grandes trocas que tivemos ao longo desses 2 anos. Obrigada pela grande aprendizagem que cada um trouxe para tornar esse curso mais enriquecedor.

Por fim, agradeço à Universidade por ter sido meu lar acadêmico nos últimos anos, onde pude crescer academicamente nessa área tão importante para o urbanismo, o paisagismo.

## **RESUMO**

O cenário atual de mudanças climáticas aceleradas agrava a relação da cidade com a água. Esta relação impacta diretamente o funcionamento do ciclo hidrológico, a dinâmica do meio urbano e, conseqüentemente, o cotidiano dos usuários. Para permitir a regeneração do espaço urbano, é preciso pensar em novas abordagens sustentáveis que amenizem tais impactos e possibilitem uma nova interação entre os seres humanos e a natureza. A partir de uma revisão bibliográfica sobre Soluções baseadas na Natureza, este guia apresenta de forma detalhada as infraestruturas voltadas para o manejo das águas pluviais urbanas frente às mudanças climáticas e os altos níveis de poluição na escala do lote e da quadra, apresentando sua técnica construtiva e noções de pré-dimensionamento de implantação.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana, Águas pluviais, Solução baseada na Natureza, Infraestrutura verde, Multifuncional, Enchentes urbanas

## **ABSTRACT**

The current scenario of accelerated climate change worsens the relationship between the city and the water. This relationship directly impacts the function of the hydrological cycle, affecting the daily life of the residents. To allow the regeneration of urban space and a new approach in this relationship, it is important to rethink sustainable solutions to minimize these impacts. From a brief bibliographic review of Nature based Solutions, this guidebook presents infrastructures of urban rainwater management in the face of climate change and the high levels of pollution, detailing each typology of blue-green infrastructure in scales of the properties and the streets, presenting their constructive technique and sizing.

**Keywords:** Urban Drainage, Rainwater, Nature based Solution, Green infrastructure, Multifunctional, Urban Floods

## SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. Dinâmica da água urbana	16
2.1. Relação Cidade-Água	16
2.2. Mudanças climáticas	17
2.3. Urbanização	17
2.4. Drenagem urbana	19
2.5. Segurança hídrica	20
3. Noções básicas de Hidrologia	22
3.1. Ciclo Hidrológico	22
3.2. Bacia Hidrográfica x Bacia Urbana	23
3.3. Impermeabilização	26
3.4. Processos hídricos urbanos	28
4. Orientações para pré-dimensionamento	29
4.1. Chuva de projeto	30
4.2. Pré-Dimensionamento simplificado	33
4.3. Método das Chuvas	39
4.4. Método PULS Simplificado	44
5. Manejo sustentável das águas urbanas	55
5.1. Ecologia da paisagem	55
5.2. Solução baseada na Natureza X Infraestrutura Verde	56
5.3. Manejo das águas urbanas	60
6. Soluções baseadas na Natureza	64
6.1. Escala	64
6.2. Funções	65
6.3. Fitorremediação	66
6.4. Tipologias	68
6.4.1. Teto verde	69
6.4.2. Jardim de chuva	72
6.4.3. Canteiro pluvial	76
6.4.4. Biovaleta	81
6.4.5. Lagoa seca	85

6.4.6. Lagoa pluvial	89
6.5. Planejamento urbano e suas barreiras	93
6.6. A legislação brasileira	94
6.7. Custo-benefício	95
7. Exemplos teóricos	97
7.1. Exercício 01 – Rua	97
7.2. Exercício 02 – Quadra	108
8. Considerações finais	123
9. Referências Bibliográficas	124

## LISTA DE FIGURAS

01	Comparativo do total de desastres por tipo de evento entre os anos 1980 a 1999 e 2000 a 2019.	13
02	Porcentagem da ocorrência de desastres por tipo entre 2000 e 2019.	14
03	Evolução da relação da cidade com a água urbana.	18
04	Tipos de drenagem urbana – sistema combinado e separador absoluto.	20
05	Esquema Ciclo Hidrológico.	22
06	Bacia Hidrográfica em planta.	23
07	Exemplo de bacia urbana com ortofoto indicando releve e os sistema de drenagem.	24
08	Elementos da microdrenagem urbana.	24
09	Esquema dos efeitos da urbanização.	25
10	Efeito da urbanização no hidrograma da bacia hidrográfica.	26
11	Processo de impermeabilização do solo.	27
12	Variação do limite de inundação antes e depois da urbanização.	28
13	Exemplo de Hietograma de Projeto, com distribuição temporal.	33
14	Traçado para projeto de microdrenagem urbana.	34
15	Hidrograma de cheia de uma bacia hidrográfica antes e depois da implantação de estrutura de retenção.	37

16	Fluxograma do passo-a-passo para dimensionamento das Infraestruturas Verde na escala do lote/rua.	38
17	Fluxograma do passo-a-passo para dimensionamento das Infraestruturas Verde na escala da quadra.	39
18	Gráfico do Método das Chuvas.	40 e 42
19	Representação esquemática de funcionamento das vazões de um reservatório.	45
20	Hidrograma Unitário Sintético.	45
21	Tabela com as vazões da chuva efetiva e Hidrograma Unitário Sintético.	47
22	Hidrograma Unitário Sintético.	48
23	- Relação do Hietograma de Projeto com o Hidrograma Unitário Sintético para encontrar as vazões da Chuva de Projeto.	49
24	Quadro com corte esquemático do reservatório e parâmetros do orifício de descarga.	51
25	Evolução da gestão da drenagem urbana.	55
26	Ilustração temática da abrangência dos conceitos SBN, AbE, IV e Serviços ecossistêmicos.	57
27	Índice dos fatores socioecológicos nos espaços urbanos.	60
28	Corte esquemático da dinâmica hídrica urbana com a implantação de Infraestrutura Verde.	61

29	Ilustração temática da abrangência dos conceitos de manejo das águas pluviais urbanas.	62
30	Comparativo estrutural do sistema tradicional de drenagem e da Infraestrutura Verde baseada no LID.	64
31	Classificação de escala urbana da Infraestrutura Verde.	65
32	Comparativo da dinâmica hídrica entre engenharia rígida e flexível.	67
33	Dinâmica hídrica do Teto verde.	69
34	Implantação do Teto verde.	71
35	Comparativo de benefícios e limitações do Teto verde.	71
36	Evolução do telhado verde: 01 - Março de 2013; 02 - Outubro de 2013; 03 - Março de 2016.	72
37	Dinâmica hídrica do Jardim de chuva.	73
38	Implantação jardim de chuva.	74
39	Comparativo de benefícios e limitações do Jardim de chuva.	75
40	Processo de construção do Largo das Araucárias.	76
41	Dinâmica hídrica do canteiro pluvial.	77
42	Implantação do canteiro pluvial viário com infiltração.	78
43	Implantação do canteiro pluvial viário sem infiltração.	79
44	Implantação do canteiro pluvial predial sem infiltração.	79



45	Comparativo de benefícios e limitações do Canteiro pluvial.	80
46	Fotos 01 e 02: Construção do canteiro pluvial na Rua das Fiandeiras em 2018. Fotos 03, 04 e 05: Canteiro pluvial em 2019.	81
47	Dinâmica hídrica do biovaleta.	82
48	Implantação da biovaleta com infiltração.	83
49	Implantação da biovaleta sem infiltração.	83
50	Comparativo de benefícios e limitações da Biovaleta.	84
51	Biovaleta na Avenida Yale em Seattle, Washington.	85
52	Dinâmica hídrica da Lagoa seca.	86
53	Implantação da Lagoa seca com infiltração.	87
54	Implantação da Lagoa seca sem infiltração.	87
55	Comparativo de benefícios e limitações da Lagoa seca.	88
56	Antes x Depois da Lagoa seca no W.W. Ashley District Park.	89
57	Dinâmica hídrica da Lagoa pluvial.	90
58	Implantação da Lagoa pluvial.	91
59	Comparativo de benefícios e limitações da Lagoa pluvial.	92
60	Foto 01 e 02: Tanner Springs Park; Foto 03: Esquema de escoamento da água pluvial.	92

61	Mapa da rua hipotética com 05 canteiros pluviais propostos.	97
62	Seção esquemática da sarjeta existente.	98
63	Quadro de memória de cálculo da Área do Triângulo e do Raio Hidráulico.	99
64	Quadro de memória de cálculo da declividade longitudinal.	99
65	Quadro de memória de cálculo da vazão máxima da sarjeta.	99
66	Quadro de memória de cálculo do Método Racional.	100
67	Corte transversal da rua.	101
68	Quadro de memória de cálculo do intervalo entre canteiros.	101
69	Área de contribuição de cada canteiro pluvial proposto.	102
70	Quadro de memória de cálculo do Método das Chuvas.	103
71	Gráfico da Curva envelope.	105
72	Quadro de memória de cálculo da Profundidade útil das camadas e Profundidade total.	106
73	Corte do canteiro pluvial proposto.	107
74	Perspectiva da implantação do canteiro pluvial proposto.	107
75	Mapa de quadra hipotética com projeto de 01 Lagoa seca.	108
76	Fluxograma do exercício da Quadra.	110

77	Quadro de memória de cálculo do tempo de concentração no cenário pré-urbanização e pós-urbanização.	111
78	Hietograma de projeto no cenário de pré-urbanização.	112
79	Hietograma de projeto no cenário de pós-urbanização.	113
80	Quadro de memória de cálculo para Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pré-urbanização.	113
81	Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pré-urbanização.	114
82	Quadro de memória de cálculo para Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pós-urbanização.	114
83	Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pós-urbanização.	115
84	Hidrograma de Projeto no cenário de pré-urbanização.	116
85	Hidrograma de Projeto no cenário de pós-urbanização.	117
86	Vazões atenuadas no cenário pré e pós-urbanização.	117
87	Corte da Lagoa seca proposta.	121

## LISTA DE TABELAS

01	Desastres naturais no Brasil no período de 1900 a 2020.	21
02	Parâmetros das principais cidades brasileiras para equação IDF.	32
03	Chuva de Projeto.	33
04	Fórmulas para estimar o tempo de concentração.	36
05	Condutividade Hidráulica dos solos.	41
06	Fator de segurança das estruturas de infiltração.	41
07	Curva envelope.	43
08	Porosidade efetiva para materiais típicos.	43
09	Planilha de cálculo da altura do reservatório em cada instante.	53
10	Sistemas Naturais e Antrópicos.	59
11	Classificação das funções dos dispositivos de Infraestrutura Verde.	66
12	Espécies vegetais nativas.	68
13	Desafios urbanos para implantação de Soluções baseadas na Natureza.	93
14	Valores pré-definidos e Equação IDF Clássica.	100
15	Valores pré-definidos, Parâmetros e Equação IDF Clássica.	103
16	Chuva de projeto.	104
17	Curva Envelope.	104

18	Valores pré-definidos, Parâmetros e Equação IDF Clássica.	111
19	Chuva de projeto no cenário de pré-urbanização.	112
20	Chuva de projeto no cenário de pós-urbanização.	112
21	Método do Retardo para 10 minutos no cenário de pré-urbanização.	115
22	Método do Retardo para 10 minutos no cenário de pós-urbanização.	116
23	Relação Área-Cota-Profundidade do reservatório.	118
24	Equação de Manning para vazão do orifício de saída do reservatório.	119
25	Parâmetros definidos para o orifício de saída.	119
26	Equações para elaboração do Método PULS Simplificado.	120
27	Método PULS Simplificado.	120

## LISTA DE EQUAÇÕES

01	Equação IDF clássica.	31
02	Vazão pelo método Racional.	37
03	Vazão afluente ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	40
04	Vazão específica de saída ( $\text{m}/\text{h}$ ).	41
05	Área de contribuição efetiva.	42
06	Volume máximo a ser armazenado ( $\text{m}^3$ ).	43
07	Profundidade útil.	43
08	Profundidade total.	44
09	Duração da chuva efetiva.	46
10	Tempo de ascensão.	46
11	Tempo de pico.	46
12	Tempo de recessão.	46
13	Tempo de base.	46
14	Vazão máxima de pico.	46
15	Vazão em função do tempo.	47
16	Vazão em função do tempo.	47
17	Coeficiente de redução da chuva.	49

18	Vazão atenuada.	50
19	Vazão efluente.	50
20	Simplificação da equação da continuidade de massa.	51
21	Capacidade de Amortecimento.	53
22	Capacidade de Mitigação.	53
23	Vazão escoada pela sarjeta.	98
24	Tempo de concentração segundo George Ribeiro.	111
25	Coeficiente de redução da chuva.	117
26	Capacidade de Amortecimento.	121
27	Capacidade de Mitigação.	122

“Isto é para os loucos. Os desajustados. Os rebeldes. Os criadores de caso. Os que são peças redondas nos buracos quadrados. Os que veem as coisas de forma diferente. Eles não gostam de regras. E eles não têm nenhum respeito pelo status quo. Você pode citá-los, discordar deles, glorificá-los ou difamá-los. Mas a única coisa que você não pode fazer é ignorá-los. Porque eles mudam as coisas. Eles empurram a raça humana para frente. Enquanto alguns os veem como loucos, nós vemos gênios. Porque as pessoas que são loucas o suficiente para achar que podem mudar o mundo são as que, de fato, mudam.” (JOBS, 1997)

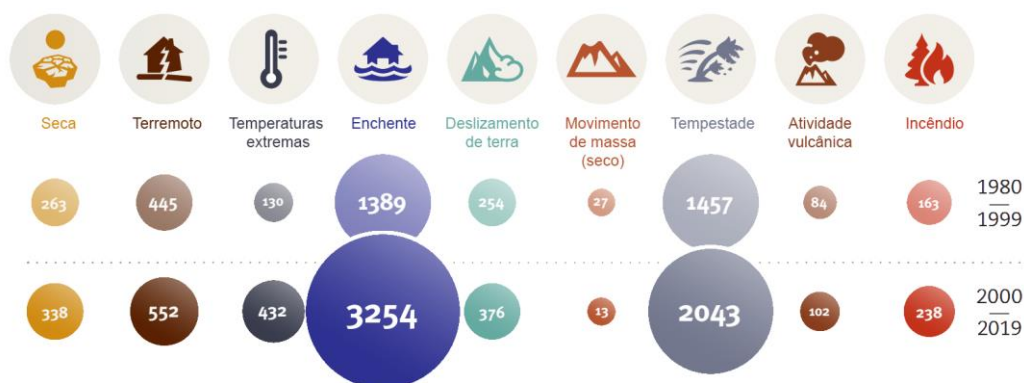


# 1. INTRODUÇÃO

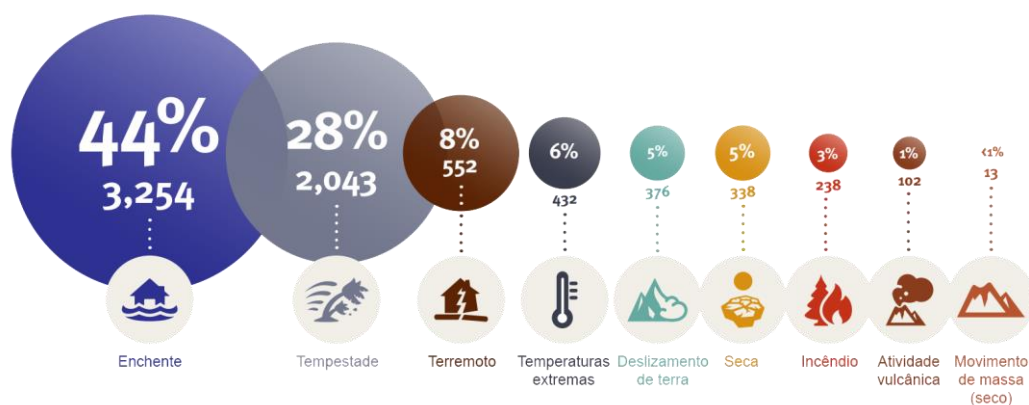
Desde os primórdios da civilização, a água é um fator fundamental para a sobrevivência do ser humano. Voltada para o abastecimento, o consumo e a irrigação, a água permitiu o crescimento acelerado de cidades próximas a corpos hídricos (AQUAFLUXUS, s/d; MIGUEZ et al., 2012). Atualmente, mais de 50% da população mundial vive em cidades e, no caso do Brasil, 85% dos brasileiros (HERZOG, 2013).

Com a rápida urbanização, e sem planejamento, a relação da cidade com a água não é harmônica. Essa expansão provocou diversos surtos de doenças que foram associadas às áreas alagáveis e aos corpos d'água. A impermeabilização dessas áreas, a retificação e canalização de rios e córregos interferiu diretamente no ciclo hidrológico. Como consequência da degradação ambiental, o regime das chuvas foi alterado, provocando eventos extremos de precipitação, grandes secas, alagamentos, enchentes e deslizamentos.

Além disso, as mudanças climáticas foram aceleradas com as ações antrópicas intensas, intensificando o processo de alteração de temperatura e clima no planeta. Episódios decorrentes das mudanças climáticas estão se tornando cada vez mais recorrentes, mais agressivos e com grande poder de destruição. O relatório Human Cost of Disasters: an overview of the last 20 years, divulgado pela ONU em 2020, aponta que nos últimos 20 anos as enchentes aumentaram em 234% afetando aproximadamente 1,65 bilhão de pessoas em todo o mundo (41% do total de pessoas afetadas por desastres naturais) em comparação com os anos de 1980 a 1999 (Figura 01). Além disso, é o desastre natural que mais afeta as cidades no mundo (ONU, 2020) (Figura 02).



**Figura 01** – Comparativo do total de desastres por tipo de evento entre os anos 1980 a 1999 e 2000 a 2019. (ONU, 2020)



**Figura 02** – Porcentagem da ocorrência de desastres por tipo entre 2000 e 2019. (ONU, 2020)

A situação brasileira frente às mudanças não é diferente do resto do mundo. Segundo a ONU (2020), o Brasil está entre os 10 países mais afetados por desastres naturais em número absoluto de pessoas. Dados do Perfil dos Municípios Brasileiros (Munic) de 2017 apontam que as áreas urbanas foram as mais atingidas por desastres naturais. O IBGE (2014) contabiliza que “Dos municípios com mais de 500 mil habitantes, 93% foram atingidos por alagamentos (...)”. Isso ocorre, em especial, devido à construção de habitações e demais infraestruturas em áreas alagadiças, interferindo na drenagem da água (IBGE, 2014).

As cidades precisam adotar novas estratégias para combater os efeitos das alterações climáticas, visando trazer qualidade de vida e segurança para seus moradores uma vez que as inundações e alagamentos corresponderam a 32,7% dos eventos que apresentaram maior mortalidade e morbidade no Brasil no período de 1991 a 2010, com quase de 39 milhões de pessoas afetadas por tais eventos (OPAS, 2014).

Cabe aos grandes líderes adotarem soluções que reduzam a pegada ecológica e evitem o planejamento urbano de forma monofuncional centrada apenas no veículo, que emite grande quantidade de poluentes na atmosfera e acelera o processo de aquecimento do planeta. A cidade precisa criar espaços pensados para as pessoas de forma multifuncional, promovendo a interação social e cultural com o meio ambiente, que sejam seguros e convidativos. Esse planejamento aliado com a Infraestrutura Verde e suas diversas técnicas de adaptação busca recuperar o ecossistema dentro da cidade e tornar o meio urbano mais resiliente.

Visando promover um novo olhar para o planejamento urbano, este trabalho busca apresentar um conteúdo adequado para a realidade brasileira de forma a servir de base para órgãos e entidades públicas e privadas como referência para a implantação de projetos no âmbito do manejo das águas pluviais. Aliado a isso, será possível trazer uma integração entre homem e natureza, promovendo a conservação e regeneração do ecossistema e a proteção da biodiversidade, através de espaços multifuncionais que desempenhem diversos serviços ecossistêmicos.

Esse guia é uma pesquisa bibliográfica. Através do levantamento de artigos, livros e outros materiais de autores de referência na área do paisagismo, foi possível consolidar as informações mais relevantes a este guia cujo foco é em infraestruturas verdes para o manejo das águas pluviais aplicadas à realidade das cidades brasileiras. Ele se divide em 8 capítulos que permeiam desde o funcionamento do ciclo hidrológico, como ele foi afetado com a intensa urbanização do planeta, o impacto do crescimento urbano nos ecossistemas, o funcionamento da drenagem urbana até a segurança hídrica.

O trabalho apresenta a Infraestrutura Verde como uma solução para o novo planejamento urbano, com seu breve histórico e as diversas técnicas hoje utilizadas para o manejo das águas urbanas de forma sustentável. Detalha as ferramentas da Infraestrutura Verde na escala do lote e da quadra para a construção de um meio urbano com mais qualidade e com múltiplas funções. Além de apresentar os benefícios ecossistêmicos, as técnicas construtivas e o dimensionamento de cada tipologia com base nos Método das Chuvas e no Método da Simulação Simplificado que irão permitir uma análise preliminar de dimensão do projeto. Por fim, apresentar exercícios teóricos que aplicam os métodos apresentados neste trabalho em situações hipotéticas.

## **2. DINÂMICA DA ÁGUA**

O ser humano necessita da água para viver além de desenvolver e manter seus meios de produção (abastecimento, irrigação etc.), desta forma, as cidades cresceram próximas a corpos hídricos (MIGUEZ et al., 2012). O planejamento urbano no decorrer dos anos foi voltado para o embelezamento e higienização da cidade, além de focar no uso veículo automotores. Como consequência, as cidades passaram a retificar e canalizar rios, além de impermeabilizar os espaços urbanos.

### **2.1 Relação Cidade-Água**

Na Antiguidade, as cidades se desenvolveram próximas a cursos d'água mantendo suas calhas principais e secundárias preservadas devido à dificuldade de ocupação desses espaços e à falta de tecnologia. Porém, com o avanço tecnológico, e devido à necessidade de expansão e à pressão imobiliária, as cidades que se desenvolveram próximas a rios e lagos acabaram por ocupar o espaço originalmente voltado para a acomodação natural das águas.

Historicamente, 80% da civilização humana vivia no campo trabalhando no cultivo de alimentos (HERZOG, 2013). Com a mecanização da lavoura e os saltos tecnológicos, no início do século XIX, houve um grande movimento de migração para as cidades em busca de melhores condições de vida. As cidades passaram a se expandir ainda mais rapidamente com o advento dos veículos e da telecomunicação, uma vez que tais inovações facilitaram a mobilidade de pessoas e produtos.

Com o adensamento intenso e sem um planejamento sustentável, o esgoto corria a céu aberto no meio das ruas estreitas sem ventilação e limpeza, provocando sérias epidemias. Desta forma, a água foi associada nesse período à disseminação de doenças. Diante da crise sanitária e das péssimas condições de salubridade, a partir do século XX, as cidades passaram por reformas urbanas que visavam melhorar a qualidade do meio urbano e da vida da população. Demolições de construções, alargamento de ruas, eliminação de áreas úmidas e alagáveis, canalização de rios ditaram o movimento. O processo visava o melhoramento dos índices de salubridade e o embelezamento da cidade. Com isso, a drenagem urbana passou a direcionar e escoar as águas para o mais longe dos centros urbanos, da forma mais rápida possível. Herzog descreveu o efeito dessa relação sociedade-natureza com o passar dos anos da seguinte forma:

A economia industrial e as novas técnicas ocasionaram mudanças profundas nas formas das cidades e em suas relações com o ambiente, de maneira rápida e tremendamente impactante, com reflexões ambientais e sociais que são sentidas até os dias atuais. (2013)

Atualmente, a ONU aponta que mais de 85% dos brasileiros vivem em cidades que ainda utilizam estas técnicas para esconder e direcionar a água para longe (VICK, 2022). Esse tipo de infraestrutura convencional não trata a problemática da ocupação de áreas alagáveis de forma sustentável a longo prazo, ignorando as consequências de aterramentos, das canalizações e da poluição das águas, entre outras interferências.

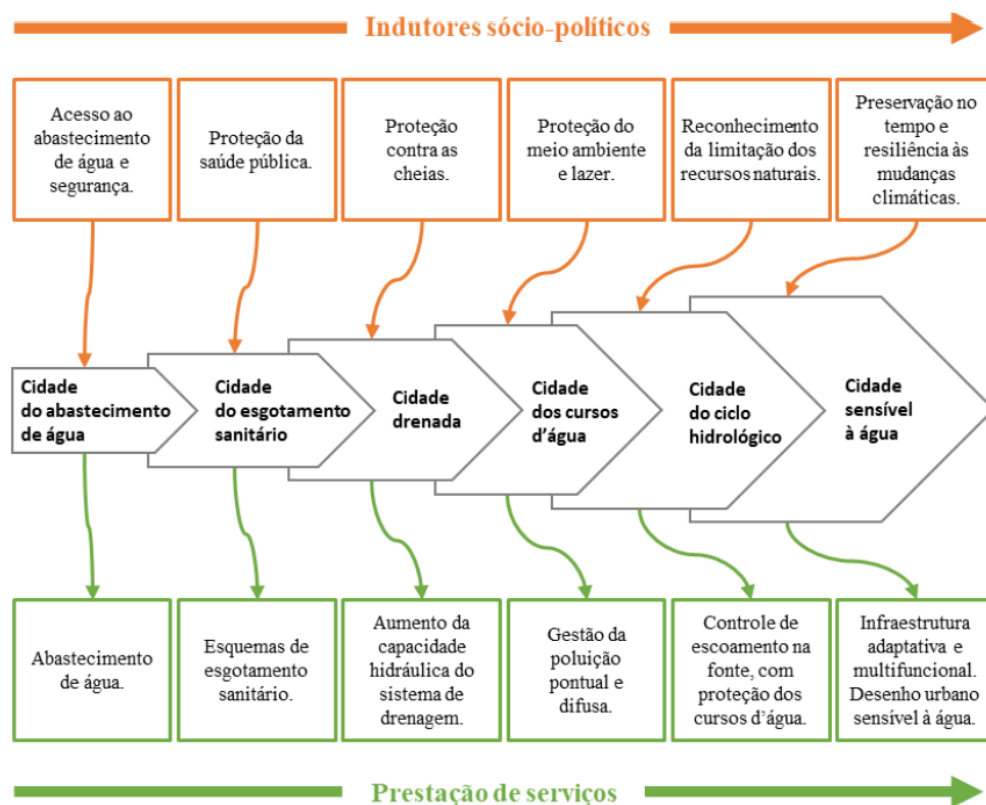
## 2.2 Mudanças climáticas

As mudanças climáticas são um processo natural que vem sendo intensificado e acelerado devido às emissões antrópicas contínuas desde a era industrial, provocando transformações intensas no sistema climático (MCTIC, 2019). Segundo o The World Bank Group (2021), nas últimas três décadas, o aumento na frequência e na intensidade das precipitações provocou intenso escoamento das águas superficiais, enchentes e deslizamentos devido à degradação ambiental. O 6º relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU, divulgado no início de 2022, aponta que já estamos vivendo as mudanças climáticas e que, devido às intervenções antrópicas, as previsões são preocupantes (PRIZIBISCZKI, 2022). Hoje 3,6 bilhões de pessoas estão altamente vulneráveis a estas alterações (VICK, 2022).

O documento alerta que o Brasil sofrerá com aumento das temperaturas, ondas de calor, secas, estiagens, enchentes e redução na produção de alimentos. Tais alterações afetarão não só a economia do país, mas a disponibilidade de recursos hídricos, o cotidiano das populações urbanas e as infraestruturas das cidades, além de acelerar a degradação dos ecossistemas, levando à redução da biodiversidade. O aumento dos eventos meteorológicos como enchentes, alagamentos e inundações se tornarão mais intensos e recorrentes, afetando o dobro ou o triplo de pessoas até o final do século (PRIZIBISCZKI, 2022).

## 2.3 Urbanização

Desde o início da formação da civilização urbana, as cidades já possuíam técnicas de drenagem da água. Brown et al. (2008 apud VERÓL, 2015 apud REZENDE, 2018) aponta que a relação da cidade com a água sofreu diversas alterações no decorrer dos anos na esfera sócio-política (Figura 03). A evolução da drenagem urbana passou por 04 marcos de desenvolvimento temporal: pré-higienista, higienista, corretiva e desenvolvimento sustentável (AQUAFLUXUS, s/d; SILVA, 2014).



**Figura 03** – Evolução da relação da cidade com a água urbana. (REZENDE, 2018)

O período pré-higienista dispunha do esgoto sendo lançado no meio das ruas sem coleta ou tratamento, deixando as ruas propícias para proliferação de epidemias. Em decorrência da insalubridade, ocorreram diversos surtos de doenças, aumentando os índices de mortalidade nas cidades. Percebeu-se que tal cenário era causado pela falta de tratamento do esgoto e a partir disso, começa uma reforma urbana que visa limpar e embelezar a cidade (AQUAFLUXUS, s/d; SILVA, J. C. A., 2014).

A partir do século XX, a técnica higienista focou em drenar o esgoto para longe da cidade através da canalização. Rios e córregos também foram associados com as doenças, uma vez que eram utilizados para transportar o esgoto rapidamente para longe da cidade (AQUAFLUXUS, s/d; SILVA, J. C. A., 2014). Além disso, as áreas úmidas como pântanos e brejos, também foram associadas como foco de disseminação de doenças e acabaram também por sofrer com aterramentos (ARAÚJO, 2019).

Então, entre as décadas de 1970 a 1990, é perceptível que houve uma queda na qualidade das fontes de abastecimento das cidades, devido a contaminação das águas do lençol freático. Com isso, foram implementadas técnicas corretivas que visavam um sistema que separa a água da chuva do sistema de esgotamento sanitário, que passou a receber o devido tratamento antes de ser despejado. A partir de tais medidas sanitárias foi possível notar uma melhora na qualidade das águas de rios e lagoas (AQUAFLUXUS, s/d; SILVA, J. C. A., 2014).

Apesar de tais esforços, ainda era notável a poluição dos corpos hídricos por causa da água da chuva. Por causa da poluição do ar e da superfície urbana, as primeiras chuvas lavam tais impurezas e carregam os poluentes da cidade para

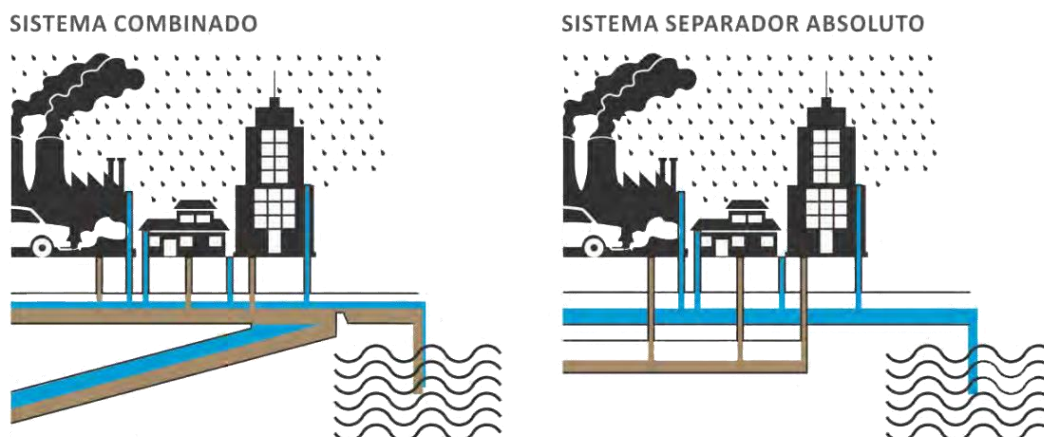
os corpos hídricos. Em decorrência da mudança de pensamento, visando a preservação do sistema hídrico natural, por volta de 1990, surge uma nova mentalidade voltada para o desenvolvimento sustentável. É preciso tratar a água da chuva antes de chegar nos corpos hídricos urbanos, aumentando a conservação ambiental, melhoria na qualidade da água e da vida humana, assim como a maior eficiência no controle de inundações (AQUAFLUXUS, s/d).

## **2.4 Drenagem Urbana**

O Brasil, por causa do seu tamanho continental, apresenta diversas formas de drenagem urbana, influenciadas pelo clima, pela questão hídrica e pelo recorte econômico de cada região. Em sua maioria, o país apresenta um processo higienista e corretivo até hoje (SILVA, J. C. A., 2014; TOMINAGA, 2013). Como consequência, é possível ver que diversos rios e córregos canalizados são altamente poluídos devido às ligações irregulares de esgoto na rede de drenagem pluvial que despeja nos corpos hídricos. Além disso, o processo de urbanização acelerado e desordenado que o país sofreu nos últimos 30 anos, provocou nas cidades uma intensa impermeabilização do solo e uma ocupação inadequada das margens dos cursos d'água, aumentando a frequência e os picos das cheias, desencadeando intensas enchentes (AQUAFLUXUS, s/d).

O sistema de drenagem e de esgoto das cidades são inter-relacionados, desde o início das civilizações. O país foi diretamente influenciado pelo sistema combinado implantado nos países europeus, que conduzia a água pluvial e o esgoto pela mesma rede de coleta (VOLSCHAN et al., 2009). Porém isso trouxe diversos problemas, uma vez que o Brasil apresenta um regime pluviométrico muito diferente do europeu, “que apresenta baixas intensidades pluviométricas, e o tropical do Brasil, caracterizado por chuvas intensas e de baixa frequência” como apresenta Neto et al. (2019).

Por isso, o país adotou um “sistema separador parcial” que direcionava a chuva proveniente dos telhados e pátios das construções para a rede de esgotamento, enquanto as demais águas pluviais que vinham das vias públicas e dos jardins não eram transportadas (VOLSCHAN et al., 2009). Posteriormente, o sistema separador absoluto passou a ser norma nas cidades brasileiras no qual o esgoto urbano possui um sistema independente das águas pluviais. Segundo IBGE (2002 apud SILVEIRA, 2002 apud NETO et al., 2019) “Em 2000, cerca de 82% dos municípios brasileiros com redes subterrâneas tinham sistemas separadores.” (Figura 04).



**Figura 04** – Tipos de drenagem urbana – sistema combinado e separador absoluto. (MOURA, 2013)

Apesar da evolução na dinâmica da drenagem urbana, para Pezente (2018) “As águas urbanas foram, e ainda vêm sendo, vistas de modo excluyente do cotidiano citadino. O processo de urbanização promoveu alterações radicais no sistema ambiental, deixando marcas em seus corpos hídricos.”.

## 2.5 Segurança hídrica

A degradação dos ecossistemas acentua os eventos hídricos extremos que estão cada vez mais crescentes com as mudanças climáticas. É perceptível que a urbanização, da forma que se deu, provoca uma série de problemas para a população das cidades como a insegurança hídrica, problemas na saúde humana, seca e perda de serviços ecossistêmicos (ar, água e solo limpos) no meio urbano. Essa vulnerabilidade deixa as cidades suscetíveis a desastres naturais que afetam a saúde da população a curto e médio prazo (MCTI, 2020).

Para o The World Bank Group (2021),

“A alta vulnerabilidade do país a tais desastres naturais provoca uma perda econômica significativa anual estimada em 3,9 bilhões de dólares. A urbanização rápida, descontrolada e não planejada que se desenrolou dos anos 1960 até hoje provocou a expansão das cidades em locais como planícies de inundação e encostas consideradas áreas suscetíveis a risco deixando a população e a infraestrutura urbana vulnerável.” (traduzido pela autora)

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas da UFRJ ressalta que as médias e grandes cidades tendem a sofrer mais com tais desastres. Isto ocorre devido à forma acelerada e desordenada que se expandiram em direção a fundos de vale, calhas de rios e encostas - consideradas áreas de risco - alterando o ambiente natural com bairros altamente adensados e a ausência de espaços verdes (VICK, 2022).



Por causa disso, as cidades ficam mais vulneráveis a desastres como enchentes, deslizamentos e erosão, gerando prejuízos para a infraestrutura urbana. Vick (2022) aponta que no país, entre 1991 e 2010, as inundações corresponderam a 65% dos desastres naturais e as enchentes e deslizamentos provocaram 74% das mortes relatadas (THE WORLD BANK GROUP, 2021) (Tabela 01). As regiões mais afetadas pelas chuvas intensas são as regiões Sul e Sudeste (LICCO, 2015), onde concentra 56,5% da população brasileira, segundo o IBGE (BRASIL, 2019).

**Tabela 01** – Desastres naturais no Brasil no período de 1900 a 2020.

Perigo Natural 1900-2020	Subtipo	Quantidade de eventos	Total de mortes	Total de afetados	Total de danos ('000USD)
<b>Seca</b>	Seca	18	20	78.812.000	111.831.100
<b>Terremoto</b>	Movimentação de terra	2	2	23.286	5.000
<b>Epidemia</b>	Doença bacteriana	5	1.696	45.893	0
	Doença viral	11	633	1.937.335	0
<b>Temperaturas extremas</b>	Onda de frio	5	154	600	1.075.000
	Onda de calor	3	201	0	0
<b>Enchente</b>	Enxurrada	11	658	325.931	275.770
	Enchente ribeirinha	69	3.106	11.418.683	6.158.670
<b>Infestação de insetos</b>	Infestação	1	0	2.000	0
<b>Deslizamentos</b>	Deslizamento de terra	15	1.262	4.004.045	27
	Deslizamento de lama	10	483	234.569	231.000
<b>Tempestades</b>	Tempestade convectiva	10	70	36.257	183.000
	Tempestade extra-tropical	1	3	1.600	350.000
	Ciclone tropical	1	4	150.060	350.000
	Incêndio florestal	2	0	0	0
<b>Incêndio</b>	Incêndio terrestre (mato, pasto)	2	1	12.000	36.000

Fonte: THE WORLD BANK GROUP (2021) - tradução da autora.

O Emergency Data Base, em 2021, apontou que nos últimos 20 anos, as enchentes foram o segundo desastre que mais gerou prejuízo econômico de aproximadamente 651 bilhões de dólares. Grandes centros urbanos, como São Paulo e Rio de Janeiro, sofrem constantemente com estas questões, provocando danos à infraestrutura e à população. Só no Rio de Janeiro, em 2011, o estado teve uma perda econômica de 1,35% do PIB devido às enchentes e deslizamentos que provocaram a morte de mais de 1.000 pessoas (THE WORLD BANK GROUP, 2021).

Frente a tal problema, em 2015, a ONU propôs um plano de ação para compor uma nova agenda de desenvolvimento sustentável que deve ser alcançada até 2030. O compromisso foi firmado pelos seus 193 Estados-membros e possui 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e 169 metas para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir às pessoas paz e prosperidade (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ONU). Estes objetivos e metas permeiam 3 dimensões de desenvolvimento: social, ambiental e econômica. Dentre os ODS a segurança hídrica, a proteção da biodiversidade, a recuperação dos ecossistemas e a adaptação das cidades para serem mais resilientes são alguns dos pontos que os países acordados precisam enfocar.

### 3. NOÇÕES BÁSICAS DE HIDROLOGIA

Para Miguez et al. (2015), as ações antrópicas provocam impactos ambientais devido à alteração original do uso do solo, remoção da cobertura vegetal, aumento da impermeabilização, canalização de rios e ocupação de áreas de inundação e margens de corpos hídricos agravando as enchentes urbanas. A extensa impermeabilização do solo, aliado ao aterramento das planícies baixas dos vales, da ocupação das encostas e da alteração do fluxo original dos corpos hídricos altera o ciclo hidrológico e a dinâmica hídrica.

#### 3.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é um processo natural fechado que foi drasticamente afetado pelas cidades. É ele que movimenta e recicla a água pelo planeta. O ciclo é composto dos seguintes processos: evaporação dos corpos hídricos, evaporação da água do solo, transpiração dos seres vivos (os dois últimos conhecidos conjuntamente como evapotranspiração), precipitação, interceptação vegetal, retenção em pontos baixos dos terrenos, infiltração e escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos (Figura 05). O escoamento superficial acontece quando o solo satura e o excedente da água precipitada corre pela superfície em direção aos talvegues (linhas mais baixas do relevo) chegando nos corpos d'água (MIGUEZ et al., 2015).

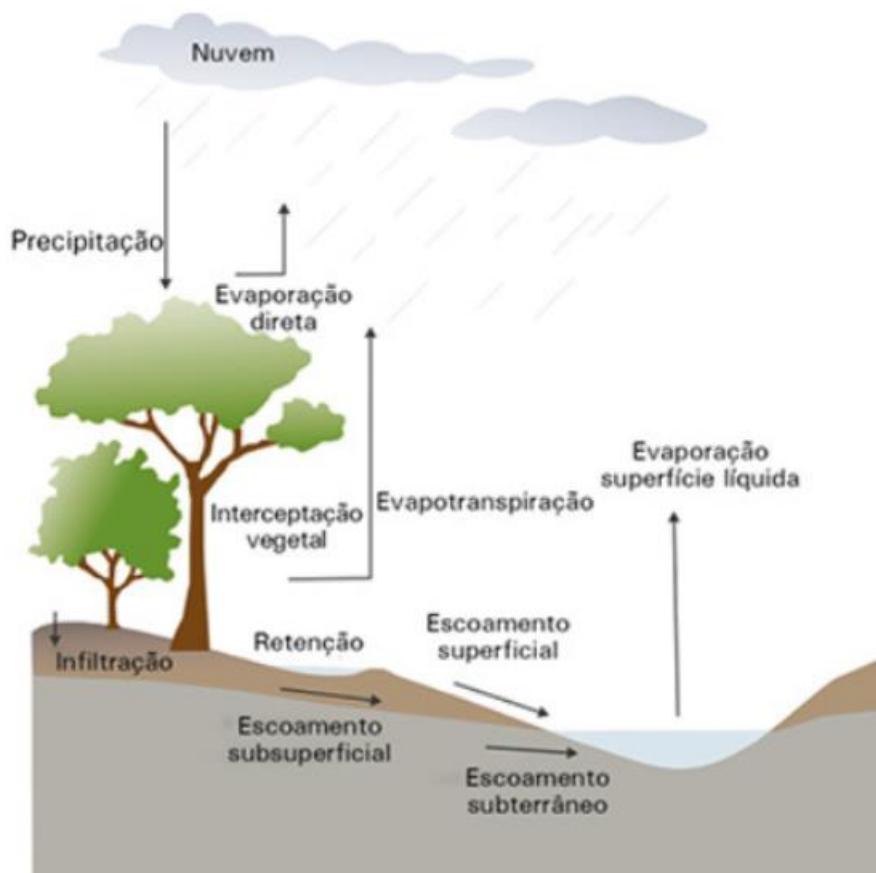
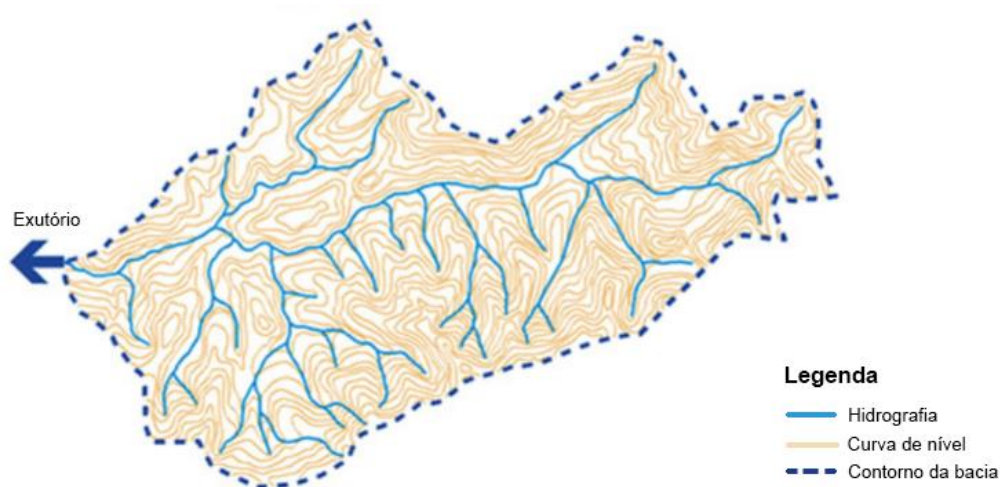


Figura 05 – Esquema Ciclo Hidrológico. (MIGUEZ et al., 2015)

### 3.2 Bacia Hidrográfica X Bacia Urbana

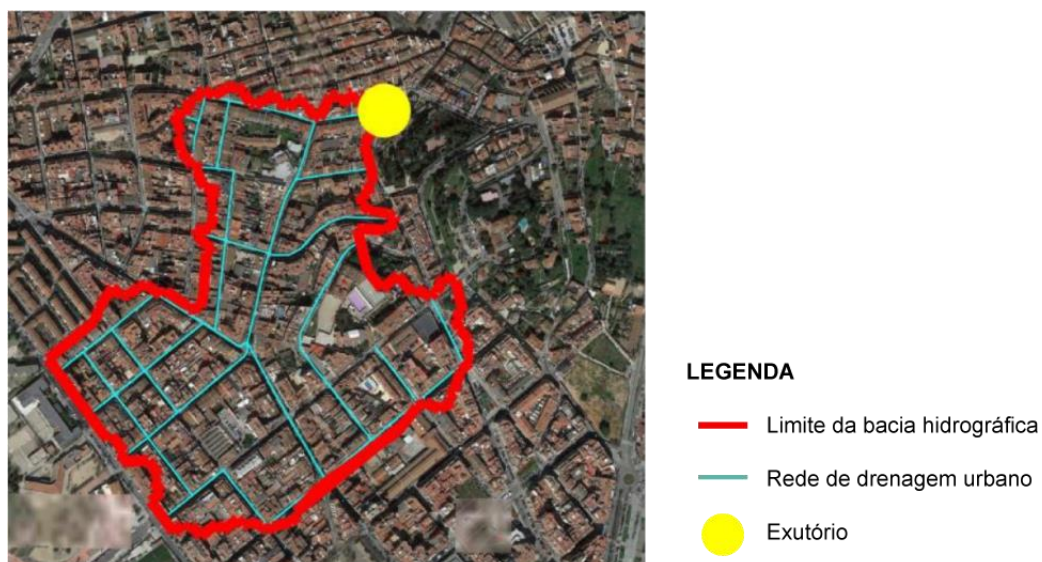
O ciclo hidrológico depende das características da bacia hidrográfica natural (Figura 06) que, através da vegetação, protege as encostas do escoamento, as margens dos rios da erosão e do assoreamento, além de permitir a infiltração, favorecendo a recarga dos lençóis freáticos (MIGUEZ et al., 2015) Segundo Miguez et al. (2015) a bacia hidrográfica

“é uma unidade fisiográfica limitada por divisores topográficos; desse modo, a área de drenagem em seu interior recebe a água precipitada, conduzindo-a até o ponto considerado, chamado de exutório. Tal área de drenagem pode ser medida diretamente em planta, pela identificação dos divisores de água que limitam externamente a bacia.” (p.20)



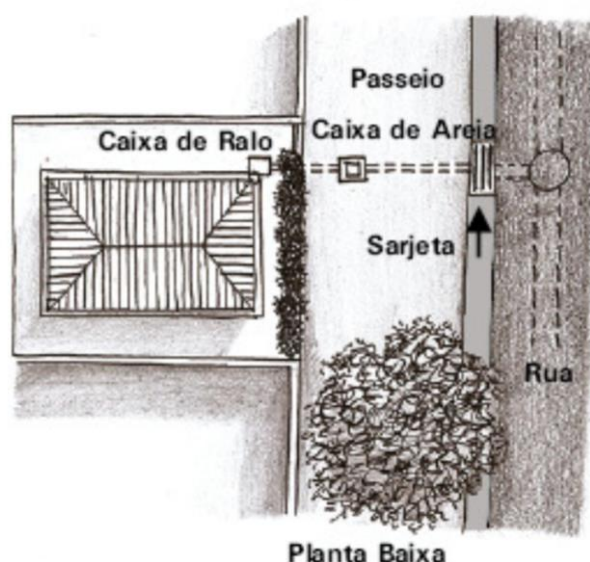
**Figura 06** – Bacia Hidrográfica em planta. (MIGUEZ et al., 2015)

A urbanização altera as bacias hidrográficas onde estão assentadas as cidades e, consequentemente, desequilibra o ciclo hidrológico e as dinâmicas fluviais naturais. Uma bacia urbanizada precisa considerar os traçados de relevo-topografia, mas também o sistema de drenagem urbano implementado (Figura 07). O processo de ocupação do solo tende a acentuar a degradação da paisagem e dos ciclos naturais. A dinâmica da bacia hidrográfica foi ignorada para dar lugar a ruas e construções, aterrando áreas alagadas e retificando e canalizando rios.



**Figura 07** – Exemplo de bacia urbana com ortofoto indicando releve e os sistema de drenagem. (REZENDE, 2020)

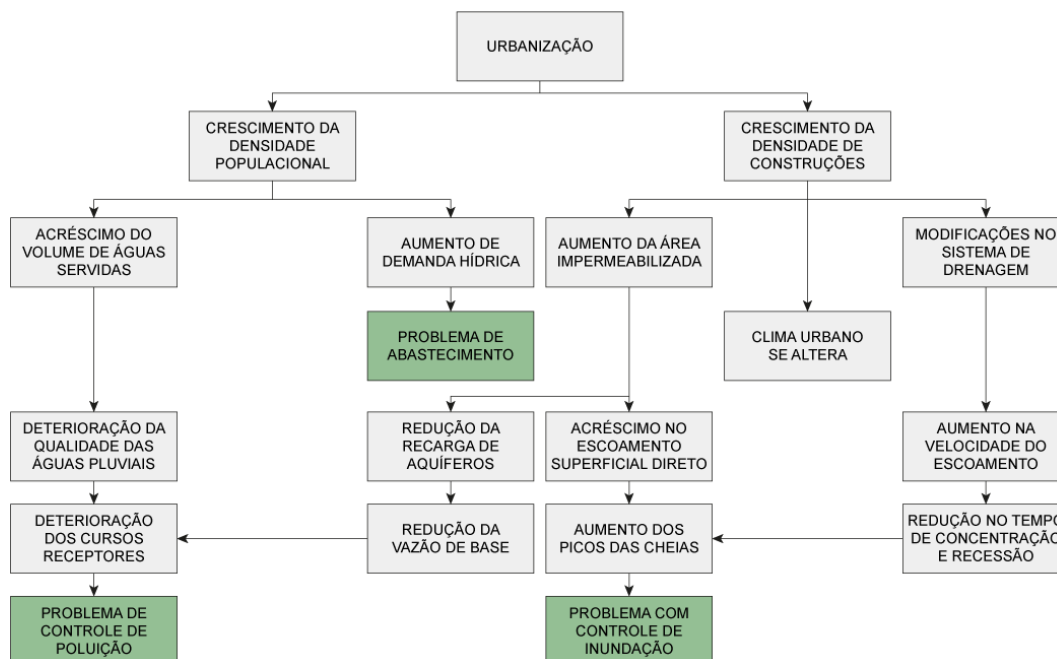
O sistema de drenagem urbana foca na drenagem do escoamento superficial. Ele é composto de 02 subsistemas, a macrodrenagem, que é composta pela hidrografia natural da bacia e seus canais artificiais e naturais, e a microdrenagem, que é responsável pela captação inicial do escoamento superficial e pela drenagem dos loteamentos urbanos e áreas públicas (como galerias, sarjetas, bocas de lobo), conduzindo a água para o sistema de macrodrenagem (MIGUEZ et al., 2015).



**Figura 08** – Elementos da microdrenagem urbana. (MIGUEZ et al., 2015)

A drenagem urbana foi desenvolvida de acordo com a demanda que a cidade apresentava. Com o rápido crescimento populacional houve a necessidade de expansão dessa infraestrutura, necessitando cada vez mais investimentos para

manter o funcionamento adequado do sistema de drenagem. Os projetos de drenagem urbana precisam de espaço para acomodar o volume de água excedente (Figura 09).



**Figura 09** – Esquema dos efeitos da urbanização. (MIGUEZ et al., 2015)

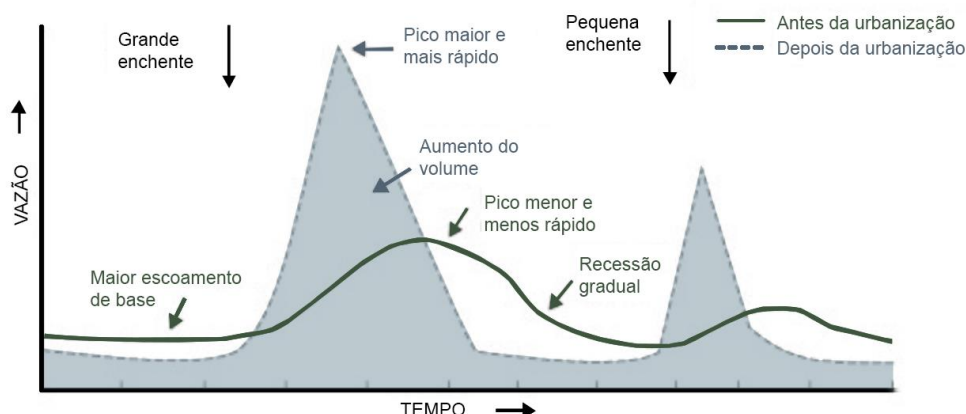
Logo, obras de drenagem foram necessárias para redirecionar a água excedente que antes se acomodava naturalmente em locais atualmente ocupados e impermeabilizados (ARAÚJO, 2019). Herzog (2013) relata que para os problemas das enchentes e dos alagamentos, obras de engenharia rígida tradicional como os reservatórios de retenção, popularmente conhecidos como “piscinões”, passaram a ser implementados. Porém essas soluções são pontuais e monofuncionais, que apenas servem para atender a uma determinada função (ARAÚJO, 2019; INEA, 2022). Travassos (2014) alerta que,

Do ponto de vista hidráulico, os córregos canalizados têm o objetivo de escoar rapidamente a água precipitada a jusante. (...) O resultado foi a construção de um espaço urbano de paisagens com bacias e várzeas totalmente ocupadas, com poucas áreas verdes, e crescentemente afetado por eventos extremos de chuva. (...) A implantação de piscinões nas periferias urbanas contribui para a desqualificação e desvalorização do espaço urbano, pela ausência de tratamento integrado. Assim, pontuam o território de determinadas bacias, configurando-se como grandes “buracos” gradeados e insalubres, que tampouco dão solução definitiva às inundações (apud PEZENTE, 2018).

Miguez e Magalhães (2010 apud MIGUEZ et al., 2015), apontam que as primeiras áreas a serem ocupadas são as áreas planas próximas a rios pela facilidade de construção. Somente posteriormente a expansão urbana se dá em direção às encostas. Tais intervenções alteram o equilíbrio hídrico da bacia, a remoção da cobertura vegetal e impermeabilização do solo, podendo aumentar em 6 vezes o valor do escoamento natural (MIGUEZ et al., 2015). Devido a este fenômeno, ocorre uma resposta mais rápida do escoamento superficial, chamado de *runoff*, e menos infiltração, agravando as inundações urbanas já que este processo aumenta e antecipa os picos das cheias, sobrecarregando o sistema de



drenagem tradicional que não estava dimensionado para tal volume, provocando inundações no meio urbano (MIGUEZ et al., 2015; ARAÚJO, 2019) (Figura 10).



**Figura 10** – Efeito da urbanização no hidrográfico da bacia hidrográfica. (MIGUEZ et al., 2015)

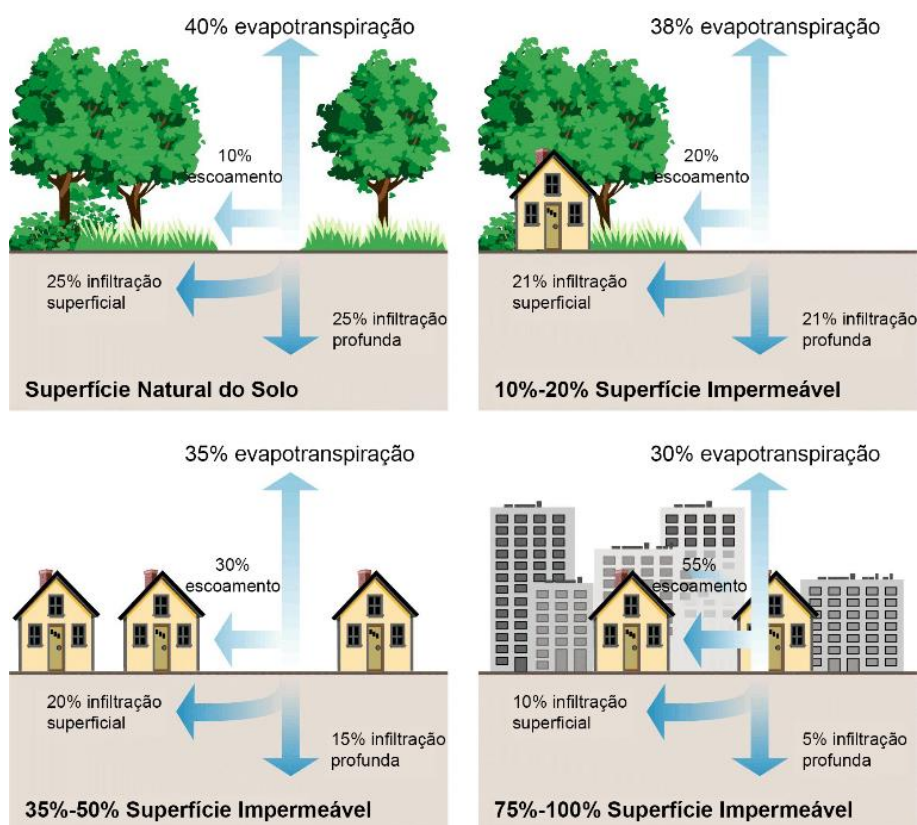
Pompêo (2000 apud MIGUEZ et al., 2015) ressalta a importância do pensamento preventivo para evitar futuros desastres. Atualmente a mentalidade é que esses projetos precisam ser pensados dentro das cidades ao longo da extensão da bacia (tanto a montante quanto a jusante), analisando os problemas de cada trecho a fim de mitigar os problemas a jusante.

Para Holz e Tassi (2007 apud MIGUEZ et al., 2015), a bacia urbanizada precisa da combinação e integração da estrutura de drenagem tradicional com a infraestrutura não convencional para permitir o melhor funcionamento do sistema. Uma vez que a cidade se encontra cada vez mais adensada e sem espaços livres, as soluções para mitigar os problemas de inundação e alagamento precisam adquirir uma abordagem ecossistêmica e multifuncional otimizando o espaço com diversas funções ecológicas, hidrológicas, biológicas, sociais, econômicas, culturais e estéticas, a fim de trazer melhores índices de infiltração e armazenamento similares a bacia pré-urbanizada. Além disso buscam criar espaços para a população e trazem um melhor custo-benefício para as prefeituras uma vez que possuem menos custos de implantação e manutenção em comparação com as infraestruturas tradicionais.

### 3.3 Impermeabilização

Miguez et al. (2015) apontam que em um ambiente natural, que não foi urbanizado, o volume do escoamento superficial é menor e melhor distribuído já que diversos componentes naturais como a vegetação, relevo e o solo ajudam a interceptar, distribuir, deter e infiltrar a água de forma mais lenta por toda a extensão da bacia hidrográfica (ARAÚJO, 2019). Um dos principais efeitos da urbanização que provoca o aumento do escoamento superficial é a impermeabilização. A cidade provocou o desmatamento, remoção da cobertura vegetal e sua substituição por pavimentos impermeáveis que geram a redução drástica da infiltração do solo, o aumento do escoamento superficial e o aumento da velocidade de tal escoamento. Tais efeitos prejudicam a recarga dos aquíferos, reduz a vazão de base da bacia, aumenta a vazão média de cheias e reduz o

tempo de pico (AQUAFLUXUS, s/d; HERZOG, 2021; MIGUEZ et al., 2015) (Figura 11).



**Figura 11** – Processo de impermeabilização do solo. (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998, p.23 - tradução da autora)

Isso impreterivelmente não só dificulta a infiltração da água no solo, como contribui para o carregamento de sedimentos e da poluição difusa para os corpos hídricos. Essa poluição acontece a partir das primeiras chuvas, conhecidas como “first flush”, que carregam a poluição presente no ar e na superfície urbana, como calçadas e vias, resultado da circulação de veículos e das diversas atividades que emitem resíduos na atmosfera e no meio urbano (ARAÚJO, 2019).

O crescimento exacerbado em cima das calhas dos rios e das margens de corpos hídricos fragiliza o espaço. Os rios foram canalizados e margens concretadas, tornando o espaço mais suscetível a enchentes e inundações, uma vez que estes espaços serviam para acomodar a água da chuva e as cheias dos rios. Além disso, o subdimensionamento dos sistemas de drenagem urbanos também acentua o processo de transbordamento das águas para a superfície. A rede de drenagem da cidade não comporta o volume de água escoado, transbordando para as vias urbanas provocando alagamentos e inundações. Assim, as cheias e as chuvas que antes eram previsíveis se tornam problemas para a cidade provocando inundações em locais que não sofriam com tais problemas (AQUAFLUXUS, s/d).

### 3.4 Processos hídricos urbanos

Os espaços urbanos, uma vez que interromperam os fluxos naturais da paisagem e aceleraram as alterações climáticas, estão mais sujeitos a eventos climáticos extremos intensificando os processos de formação das **enchentes** que são o processo de subida do nível d'água (ARAÚJO, 2019). Esta pode ser segmentada em 3 processos: inundação, enxurrada e alagamento.

As **inundações** são processos fluviais naturais que podem acometer o meio urbano (ARAÚJO, 2019). Elas estão associadas à falha da macrodrenagem, isto é, o transbordamento de rios e canais de maneira gradual atingindo os sistemas antrópicos. No meio natural, as águas excedentes não comportadas no leito maior do rio transbordam nas planícies de inundação. Devido a ocupação antrópica nas calhas secundárias, a remoção das matas ciliares das margens e a impermeabilização do solo, as enchentes tendem a ser mais intensas, recorrentes e acabam por afetar a dinâmica do meio urbano (ARAÚJO, 2019; CAMPOS, s/d; HERZOG, 2021; MIGUEZ et al., 2015) (Figura 12).



**Figura 12** – Variação do limite de inundação antes e depois da urbanização. (MIGUEZ et al., 2015)

Já os **alagamentos** ocorrem pela existência de escoamentos e/ou acúmulo de água sobre a superfície urbanizada, associados à falha do sistema de microdrenagem. O sistema de drenagem não suporta o volume de água pluvial e transborda para a malha urbana (HERZOG, 2021; MIGUEZ et al., 2015).

Por fim, as **enxurradas** são processos de extravasamento do rio de forma rápida, com escoamentos de alta velocidade. Está associada a geografias de vales encaixados e com muita declividade, típico de áreas montanhosas e topos de serra. Pode ocorrer associado a escorregamentos de terra e corrida de detritos, potencializando ainda mais os impactos (MIGUEZ et al., 2015).



## 4. ORIENTAÇÕES PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A nova abordagem diante do projeto de drenagem urbana enfoca na análise da bacia hidrográfica como um todo e não apenas um trecho, uma rua ou uma quadra uma vez que é preciso reter a água onde cai a chuva para evitar a transferência das águas excedentes, produzidas pelo processo de urbanização, para as regiões mais a jusante (HERZOG, 2013). Para isso, é preciso levar em conta as seguintes características da bacia: área de drenagem, principais linhas de escoamento concentrado, diferença de nível na linha de escoamento, usos do solo e tipo de cobertura vegetal.

A **área de drenagem** é a área que recebe água de chuva da bacia, delimitada pelos divisores geomorfológicos que definem a bacia. O volume de água que a bacia recebe é considerado a partir da área da bacia multiplicada pela lâmina precipitada num intervalo de tempo (MIGUEZ et al., 2015).

O **comprimento do rio principal** é aquele que drena a maior área da bacia hidrográfica, relacionando-se com o tempo de concentração da água ao longo de todo o sistema. Enquanto a declividade do curso d'água principal interfere diretamente na velocidade dos escoamentos, quanto maior a declividade do curso d'água, maior a velocidade do escoamento (MIGUEZ et al., 2015).

Para MIGUEZ et al. (2015), o **Tempo de Concentração** ( $t_c$ ) pode ser definido como “o intervalo de tempo decorrido a partir do início da precipitação, de forma que toda a bacia hidrográfica considerada passe a contribuir para a vazão na seção definida como referência para o estudo”. Pode ser entendida como o tempo que leva uma gota de água da chuva para percorrer do ponto mais extremo da bacia até seu exutório.

A **precipitação** é o principal fator dos modelos hidrológicos para o desenvolvimento de projetos hidráulicos. A chuva é o principal fenômeno que provoca as cheias urbanas. Por isso é de extrema importância a definição da chuva de projeto para a elaboração dos projetos de drenagem. A duração da chuva crítica se relaciona diretamente com o tempo de resposta de uma bacia (MIGUEZ et al., 2015).

Já a **infiltração**, se refere à passagem da água da superfície para o interior do solo. É um fator determinante para o volume final de água disponível para o escoamento superficial. Ela depende da capacidade do solo de percolar água entre os poros (MIGUEZ et al., 2015).

A **interceptação** representa toda a parcela da água precipita que é retida na vegetação, acima do solo. Tal fenômeno varia dependendo do tipo de cobertura vegetal, seu estágio de crescimento, da intensidade da chuva, entre outros. Manning (1992 apud MIGUEZ et al., 2015) ressalta que as copas das árvores de uma floresta são capazes de reter de 10 a 20% da precipitação total anual. Além disso, a serapilheira ajuda a evitar a erosão e a perda de umidade do solo por evaporação.

Porém, a ausência de cobertura vegetal e a intensa impermeabilização do solo contribuem para o aumento do volume de escoamento superficial. Este acaba por escoar pela superfície da cidade até os talvegues, rios e pontos mais baixos dando origem às cheias da bacia hidrográfica (MIGUEZ et al., 2015).

As cheias nas bacias hidrográficas se comportam de maneira diferente dependendo do seu tamanho. Diversos fatores influenciam para classificar uma bacia como de grande, médio ou pequeno porte. De maneira geral, podemos perceber que os problemas da drenagem urbana estão associados a pequenas bacias. Nestas as cheias de curta duração, na escala das horas, provocam problemas de enchentes. Seu principal fator é o escoamento superficial. Nelas podemos descartar, em muitos casos, a variação da descarga de base e a evapotranspiração, adotando assim modelos hidrológicos mais simples. Já as cheias das grandes bacias, que alagam cidades inteiras, são classificadas como inundações graduais que possuem aspectos particulares e diferentes dos problemas gerados pela falha no sistema de microdrenagem urbana. As enchentes são causadas por cheias que duram meses que são influenciadas pelo escoamento de base e pela evapotranspiração. E os modelos hidrológicos adotados são mais complexos uma vez que abarcam um maior número de processos hidrológicos (MIGUEZ et al., 2015).

O objetivo deste trabalho é, principalmente, dimensionar reservatórios de detenção e retenção de água para reduzir e retardar o volume de escoamento superficial no sistema de rede de drenagem tradicional da cidade. Desta forma, os cálculos serão simplificados para um pré-dimensionamento inicial dos dispositivos focando apenas nos cálculos de reservatórios e descartando os índices de infiltração. O entendimento de cálculo e dimensionamento foi baseado na literatura específica de Miguez et al. (2015) e Baptista et al. (2015).

#### 4.1 Chuva de projeto<sup>1</sup>

Para projetos de sistema de microdrenagem urbana é preciso dimensionar o excedente das águas pluviais conhecido como escoamento superficial. As chuvas possuem grande variedade de intensidade, tempo e incidência no espaço. A partir de uma precipitação de referência - chamada de **Chuva de Projeto** - é possível quantificar o escoamento superficial. Este escoamento será norteador para o dimensionamento dos dispositivos de infiltração, retenção e acomodação de água (MIGUEZ et al., 2015).

Os pontos principais para a definição de uma Chuva de Projeto são a área de drenagem, tempo de duração da chuva e o tempo de recorrência. O **tempo de duração** (td) está associado a uma condição crítica da bacia. Normalmente adota-se o td igual ou maior que o tempo de concentração (tc) da bacia, de forma que toda sua área de drenagem esteja contribuindo para a seção de interesse, onde se dá a entrada do dispositivo proposto. Já o **Tempo de Recorrência** (TR) define o período de repetição de tal evento. Ele é inversamente proporcional a frequência, ou seja, quanto maior o TR, menor será a sua probabilidade de ocorrência em um determinado ano. A escolha do TR está associada ao nível de segurança que se quer adotar na obra hidráulica e quanto maior o TR, maior será o porte da obra e, assim, o seu custo de implantação.

---

<sup>1</sup> baseado e adaptado a partir da leitura de AQUAFLUXUS, s/d; BAPTISTA et al., 2015; MIGUEZ et al., 2015; REZENDE, 2020.

O comportamento da chuva em uma região se dá a partir dos seguintes princípios:

- A intensidade é diretamente proporcional ao Tempo de Recorrência. Uma chuva de grande intensidade tende a ter um Tempo de Recorrência maior.
- A intensidade é inversamente proporcional à duração da chuva. Ela tende a diminuir conforme o tempo de duração aumenta. De forma geral, as chuvas não apresentam uma intensidade constante ao longo do tempo.
- A intensidade decai exponencialmente conforme aumenta a área de incidência da chuva. Ela varia no espaço, não é uniforme nem constante sobre toda a bacia.

A partir de estudos estatísticos aplicados a séries históricas de precipitação registrada, considerando as premissas apresentadas acima, é determinada a **Equação de Chuvas Intensas**, conhecida como **Equação IDF clássica** (equação 01), que será usada para o cálculo da Chuva de Projeto. As informações hidrológicas necessárias para aplicação desta equação são retiradas de postos de medição espalhadas na bacia, logo o tamanho da área de drenagem interfere na confiabilidade dos cálculos (MIGUEZ et al., 2015). Bacias com área de drenagem maiores que 25 km<sup>2</sup>, aplica-se um fator de redução da precipitação pontual que pode ser consultado na bibliografia apresentada.

$$i = \frac{a \cdot TR^n}{(td + b)^m}$$

Onde:

a, b, m, n - Parâmetros

TR - Tempo de Recorrência (anos)

td - tempo de duração da chuva (minutos)

i - intensidade de chuva (mm)

**Equação 01** – Equação IDF clássica. (MIGUEZ et al., 2015)

Os parâmetros da equação acima devem ser ajustados de acordo com o local a ser estudado. Eles são estimados a partir de informações hidrológicas existentes (séries históricas de precipitação), com a aplicação de ferramentas estatísticas. Tais parâmetros normalmente estão disponíveis em planos de saneamento, manuais de drenagem, entre outros documentos relacionados à drenagem urbana nas prefeituras e/ou órgãos públicos como a Agência Nacional de Águas (ANA) (Tabela 02).

**Tabela 02** – Parâmetros das principais cidades brasileiras para equação IDF clássica.

CIDADE	PARÂMETROS EQUAÇÃO IDF			
	a	b	m	n
Aracaju (SE)	834,21	15	0,726	0,179
Belém (PA)	1085,51	12	0,758	0,156
Belo Horizonte (MG)	1447,87	20	0,840	0,100
Brasília (DF)	1574,70	8	0,884	0,207
Cuiabá (MT)	1016,45	7,50	0,739	0,133
Curitiba (PR)	5726,64	41	1,041	0,159
Florianópolis (SC)	222,00	0	0,384	0,165
Fortaleza (CE)	2345,29	28,31	0,904	0,173
Goiânia (GO)	920,45	12	0,760	0,142
Manaus (AM)	1136,50	10	0,764	0,158
Porto Alegre (RS)	509,86	10	0,720	0,196
Porto Velho (RO)	1181,37	11	0,757	0,159
Rio Branco (AC)	1419,35	18	0,795	0,162
Rio de Janeiro (RJ)	1239,00	20	0,740	0,150
Salvador (BA)	1066,00	24	0,743	0,163
São Luiz (MA)	1519,37	28	0,777	0,161
São Paulo (SP)	3462,60	22	1,025	0,172
Teresina (PI)	1248,86	10	0,769	0,177

Fonte: elaborado pela Autora, adaptado de SCHUSTER (2014)

Para cidades brasileiras que não possuem os parâmetros nem estudos publicados, o programa PLÚVIO, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, permite estimar os parâmetros das cidades brasileiras, de acordo com cruzamento de dados das cidades do entorno. Porém vale ressaltar que o software, muitas vezes, apresenta problemas de eficácia e precisão na definição dos parâmetros, mas é uma ferramenta interessante e pertinente caso não se tenha nenhum dado.

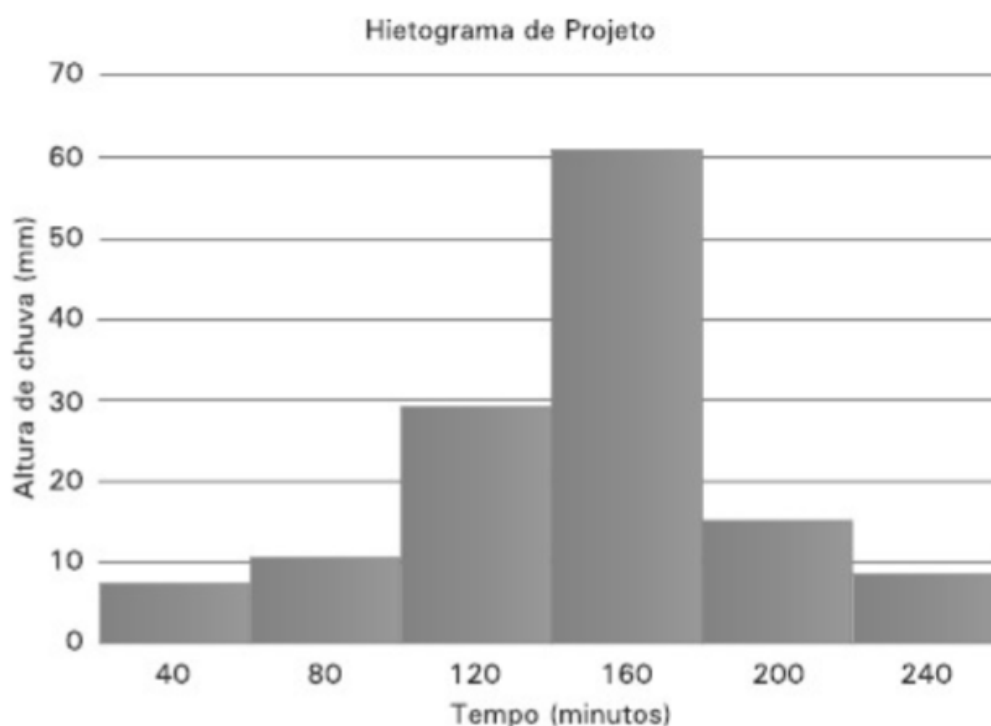
A aplicação da equação IDF resulta em uma precipitação com intensidade constante no tempo de duração determinado. Como o objetivo é apresentar a dinâmica de chuva real é preciso representar a precipitação com variação temporal. Diversos métodos podem ser aplicados, entre eles, o Método dos Blocos Alternados, que possibilita a construção de uma Chuva de Projeto com intensidades variadas ao longo do tempo de duração do evento total. Aplica-se a equação IDF nos tempos de duração escolhidos e a partir da intensidade encontrada para cada período encontra-se a altura da chuva acumulada e de cada intervalo. Reorganizando a lâmina precipitada em cada intervalo de tempo escolhido obtêm-se uma chuva com uma dinâmica mais real (Tabela 03).

**Tabela 03** – Chuva de Projeto.

t (min)	i (mm/h)	P acum (mm)	P int (mm)	P proj (mm)
40	EQUAÇÃO IDF	TOTAL PRECIPITADO NO INTERVALO DE TEMPO (t)	LÂMINA PRECIPITADA EM CADA INTERVALO DE TEMPO	VALORES (P int) REORDENADOS COM MAIOR ALTURA NO CENTRO DA CHUVA
80				
120				
160				
200				
240				

Fonte: elaborado pela Autora, adaptado REZENDE (2020)

O uso desse método resulta no Hietograma de projeto a partir do tempo da duração da chuva e a altura da chuva de projeto. (Figura 13)

**Figura 13** – Exemplo de Hietograma de Projeto, com distribuição temporal (MIGUEZ et al. 2015)

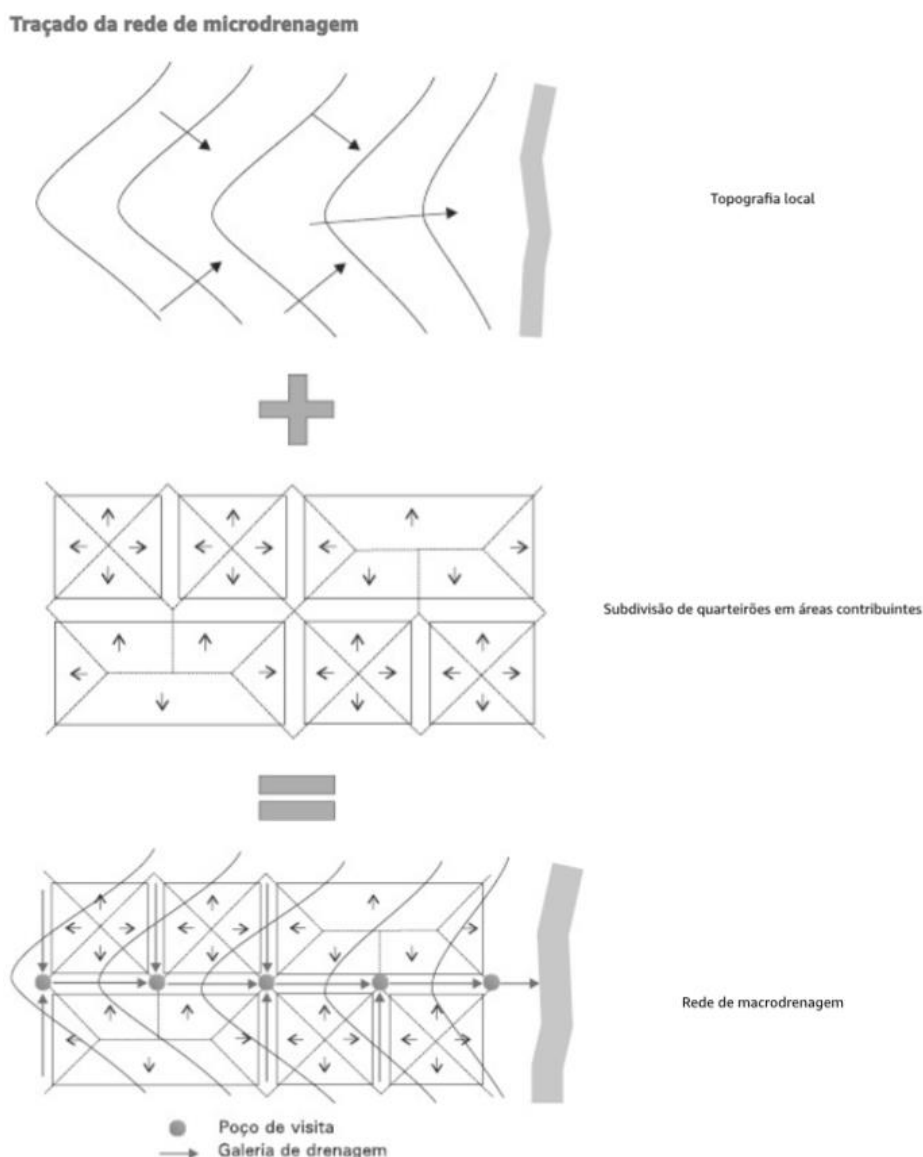
## 4.2 Pré-Dimensionamento Simplificado

Para desenvolver um projeto de microdrenagem urbana, é preciso levantar 03 informações básicas:

- **Topografia:** Identificar as principais bacias da região com suas linhas de drenagem definindo o escoamento da água;

- **Traçado Urbano:** O traçado urbano e o sistema de drenagem implantada combinam e modificam a topografia original, dando características particulares para a região estudada;
- **Pluviometria:** Identificar os parâmetros da equação IDF para elaborar a Chuva de Projeto.

Aliando a topografia e o traçado urbano consegue-se definir a bacia urbana a ser estudada, sua área de drenagem e seus caminhos de escoamento da água da chuva (Figura 14).



**Figura 14** – Traçado para projeto de microdrenagem urbana (MIGUEZ et al. 2015)

Após delimitar o traçado da bacia, deverá elaborar os cálculos para se ter uma estimativa de dimensionamento hidráulico. O dimensionamento para um projeto executivo deverá ser feito por um profissional ou técnico especializado e capacitado em hidráulica aplicada. Em termos de estudo preliminar pode-se seguir as seguintes etapas para obter um pré-dimensionamento da estrutura a ser projetada:

- Definição da área de implantação do projeto;
- Dimensionamento da área de contribuição (área de drenagem) do projeto;
- Definição do Tempo de Recorrência da Chuva de Projeto;
- Definição do tempo de concentração;
- Definição do tempo de duração da chuva;
- Aplicação da equação IDF de acordo com a região de estudo e o TR escolhido para encontrar a Chuva de Projeto.

Para o dimensionamento dos projetos de microdrenagem urbana, as prefeituras nas cidades brasileiras têm adotado um **Tempo de Recorrência de 10 anos**. Os projetos de microdrenagem são sempre dimensionados para o tempo de concentração da bacia de contribuição, pois estão preocupados com a capacidade hidráulica de escoamento das estruturas. A adoção de tempos de duração maiores que o tempo de concentração é realizada para dimensionamento de estruturas de retenção/detenção dos escoamentos, pois a sua operação depende também do volume precipitado e não apenas da intensidade máxima. Para o **tempo de duração** da chuva dos projetos de microdrenagem, os estudos usualmente adotam um tempo de **3 a 5 vezes maior que o tempo de concentração**. É comum adotar o tempo de duração de 60 minutos para bacias com tc de até 20 minutos, que permite dimensionar o sistema de drenagem para uma condição crítica da bacia. Chuvas de curta duração provocam maiores picos de vazão na rede de drenagem, o que possibilita o dimensionamento mínimo de canais e galerias para conduzir o pico da vazão da cheia da chuva de projeto. Em comparação, as chuvas de longa duração promovem maiores volumes de água no sistema, facilitando o dimensionamento de dispositivos de retenção e detenção de água pluvial.

Já o **tempo de concentração** deve ser estudado caso a caso dependendo da fisiografia da bacia de contribuição e dos manuais de drenagem da cidade analisada. Existem diversas fórmulas empíricas que foram desenvolvidas a partir de estudos e análises de diversas bacias que utilizam das características da bacia para encontrar o tempo de concentração (Tabela 04). Cabe ressaltar que é preciso entender os limites da aplicabilidade de cada fórmula e para que tipo de bacia elas foram desenvolvidas. Normalmente para um projeto de microdrenagem de uma rua urbana, sem bacia contribuinte a montante, adota-se um tempo de 5 a 15 minutos, dependendo das características locais, como distância até a primeira boca-de-lobo do sistema, porcentagem de área impermeabilizada e área total de contribuição. Já para projetos de maior escala, a fórmula mais indicada será indicada pelo manual de drenagem da cidade.

**Tabela 04** – Fórmulas para estimar o tempo de concentração.

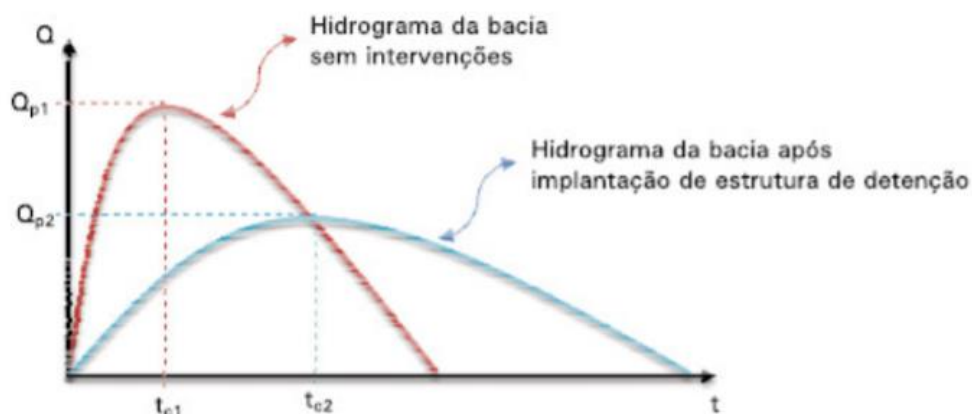
Nome	Equação
Cinemática	$t_c = \sum \frac{L}{v}$
Califórnia Culverts Practice	$t_c = 57. \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$
Dooge	$t_c = 21,88. \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}}$
NRCS Número da curva – 1989	$t_c = L^{0,8} \cdot \frac{(2540 - 22,86.CN)^{0,7}}{(14,104.CN^{0,7} \cdot S^{0,5})}$
Kirpich	$t_c = 3,989. \frac{L^{0,77}}{H^{0,385}}$
Kirpich - Tennessee	$t_c = 0,019. \frac{L^{0,77}}{H^{0,385}}$
George Ribeiro	$t_c = \frac{16.L}{(1,05 - 0,2.p) \cdot (100.S)^{0,04}}$
Federal Aviation Agency (FAA,1970)	$t_c = 0,69(1,1 - Runoof) \cdot L^{0,5} \cdot S^{-0,33}$

Fonte: AQUAFLUXUS (2017)

O Tempo de Recorrência vem sendo questionado devido à crise climática que tem acentuado a ocorrência de eventos hidrológicos cada vez mais intensos. Porém cabe ressaltar que os valores seguem o padrão pré-definido nos manuais e planos de drenagem urbana da cidade estudada. É indicado seguir o padrão adotado pelos estudos acadêmicos e as modelagens que se baseiam nas séries históricas de precipitação e nos padrões definidos pelos órgãos municipais. No entanto, sabe-se que cada vez mais tais parâmetros para dimensionamento precisam ser revistos e é interessante adotar coeficientes de segurança para tentar corrigir os efeitos da defasagem que os estudos hidrológicos venham apresentar devido estas alterações climáticas. Uma alternativa para trazer maior segurança aos projetos de drenagem, é a adoção da análise de risco residual, que considera a ocorrência de cenários futuros adversos, incorporando, assim, não apenas um fator de resistência, mas também o direcionamento a uma avaliação sobre a resiliência do sistema.

O enfoque da pesquisa é, através da implementação de Infraestruturas Verdes, reduzir a vazão de pico aumentando o tempo de concentração da água pluvial na bacia de forma a evitar o colapso da infraestrutura cinza tradicional através de dispositivos de retenção, detenção e infiltração (Figura 15).





**Figura 15** – Hidrograma de cheia de uma bacia hidrográfica antes e depois da implantação de estrutura de retenção (MIGUEZ et al. 2015)

Por ser voltado para o dimensionamento de dispositivos para a microdrenagem urbana, o **Tempo de Recorrência** adotado será de 10 anos. É preciso propor uma Chuva de Projeto com **tempo de duração** maior que o **tempo de concentração** da bacia, produzindo um volume de água maior. Depois de encontrada as intensidades da Chuva de Projeto, é preciso determinar as vazões de entrada e saída aumentando assim o tempo de concentração da bacia e reduzindo o pico da cheia no sistema de drenagem urbano. Para isso, é preciso converter a altura da Chuva de Projeto em vazão.

Para os **dispositivos de lote/rua**, a vazão de entrada deverá ser definida em função de onde vem a água da chuva. No caso de projetos de rua, a vazão será dada pela capacidade hidráulica máxima da sarjeta, que a partir do **Método Racional** (equação 02), consegue-se definir a área de contribuição que será drenada para o dispositivo evitando o transbordamento da sarjeta. Depois, para quantificar o volume a ser armazenado no dispositivo sugere-se a aplicação do **Método das Chuvas** (ou Curva Envelope) para dimensionar a capacidade de armazenamento e a profundidade das Infraestruturas Verdes na escala de lote (Figura 16).

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Onde:

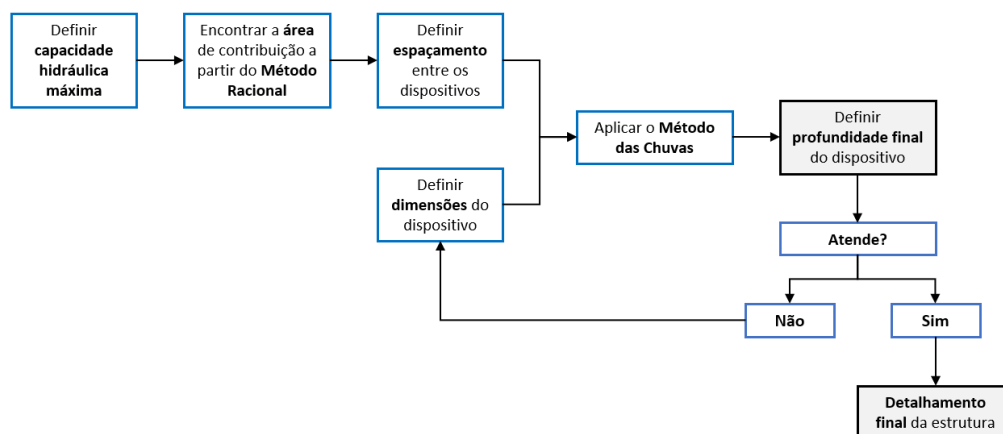
Q - Vazão (m³/h);

C - Coeficiente do escoamento superficial (runoff);

i - Intensidade da chuva de projeto (equação IDF) (mm/h);

A - Área da bacia de contribuição (km²).

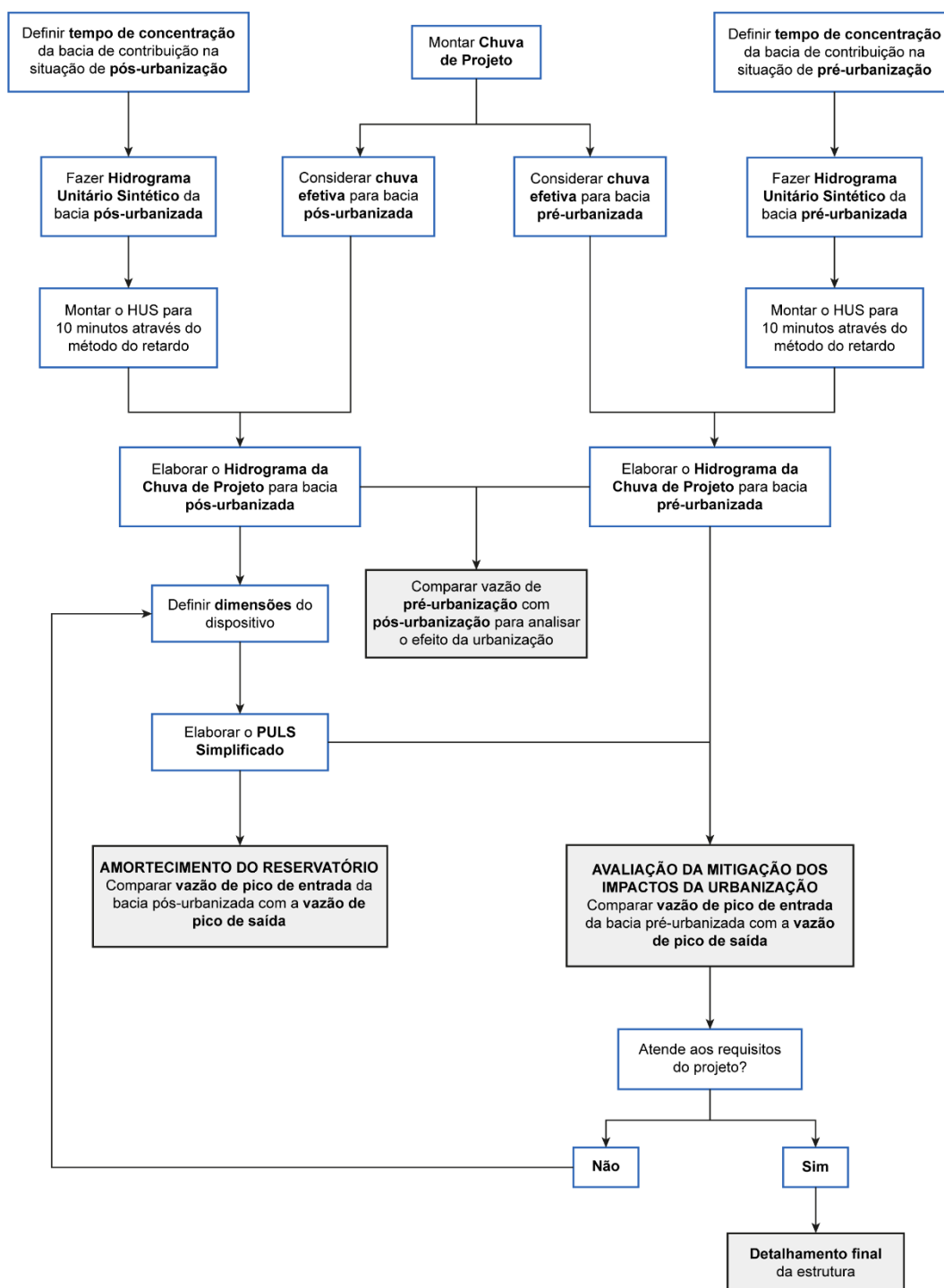
**Equação 02** – Vazão pelo método Racional. (AQUAFLUXUS, s/d)



**Figura 16** – Fluxograma do passo-a-passo para dimensionamento das Infraestruturas Verde na escala do lote/rua.

Já para dispositivos na escala da quadra ou do bairro é preciso identificar a bacia de drenagem até o ponto de entrada da água no projeto, considerando o reservatório o exutório da bacia. Para encontrar as vazões de entrada adota-se o método **Hidrograma Unitário Sintético**. Com a Chuva de Projeto definida é preciso encontrar a **Chuva efetiva**, isto é, a precipitação que resta após todos os processos naturais de retenção de água como a interceptação vegetal e a infiltração. Com isso será preciso elaborar o **Hidrograma de Projeto** com base no Hietograma de Projeto encontrado.

Depois recomenda-se a utilização do **Método PULS Simplificado**, para encontrar a vazão de saída de acordo com as dimensões já pré-estabelecidas do dispositivo proposto. Assim através da comparação de vazão de entrada no cenário pré-urbanização e pós-urbanização é possível relacionar com a vazão de saída e quantificar a capacidade de amortecimento e mitigação do dispositivo no entorno. Este método é voltado para dispositivos que visam a detenção da água, no qual são pré-definidas as suas dimensões (área em planta, profundidades, volume total), diante do espaço disponível na cidade e as diretrizes dos dispositivos, a área e a profundidade do reservatório. Na Figura 17 é apresentado um fluxograma com as etapas necessárias para o dimensionamento da estrutura de detenção das águas pluviais.

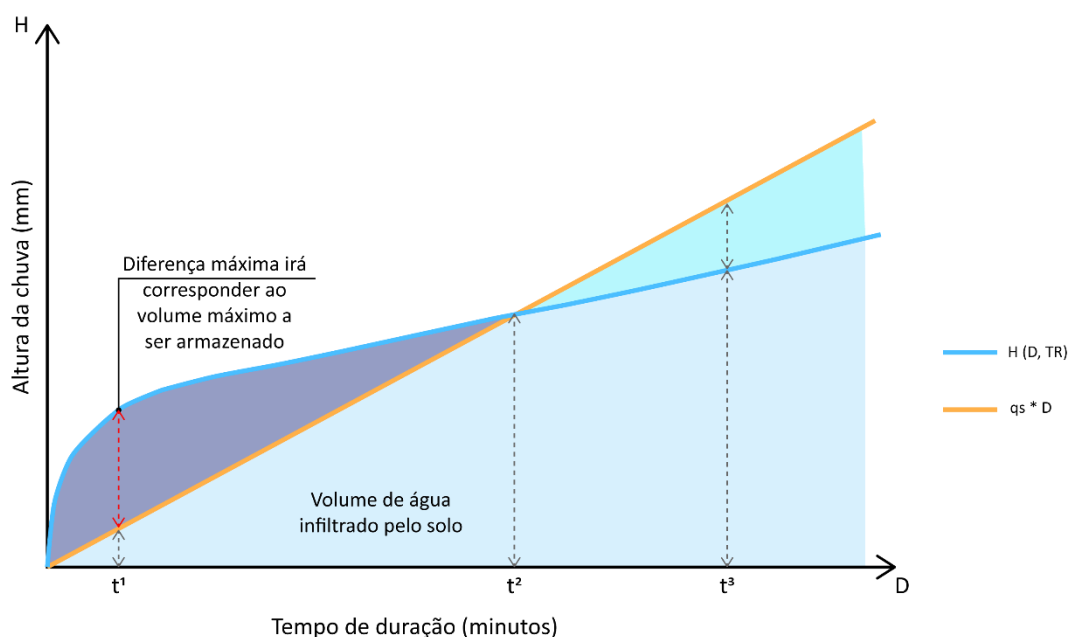


**Figura 17** – Fluxograma do passo-a-passo para dimensionamento das Infraestruturas Verde na escala da quadra.

### 4.3 Método das Chuvas

O Método das Chuvas, conhecido também como Curva Envelope, visa desenvolver um gráfico no qual uma curva indica o volume de água que entra no dispositivo para uma determinada chuva e a outra curva representa o volume que sai (Figura 18). Para determinar as curvas do gráfico, é preciso encontrar os

valores da vazão de entrada e da vazão específica de saída ( $Q_s$ ) de diferentes tempos de duração. A maior diferença entre curva do volume de água que entra com a curva do volume de água que sai é o volume de água a ser armazenado pelo dispositivo a ser projetado.



**Figura 18** – Gráfico do Método das Chuvas (MIGUEZ et al., 2015)

Para encontrar a vazão específica de saída é preciso calcular a vazão de saída ou vazão efluente ( $Q_s$ ). Esta é determinada pelo coeficiente de segurança ( $\alpha$ ), pela capacidade de absorção de água do solo ( $q_{as}$ ) e pela superfície de infiltração (ou área do dispositivo -  $S$ ) (equação 03).

$$Q_s = \alpha \cdot q_{as} \cdot S$$

Onde:

$\alpha$  - Coeficiente de segurança;  
 $q_{as}$  - Capacidade de absorção por unidade de superfície (m/h);  
 $S$  - Superfície de infiltração (m<sup>2</sup>)

**Equação 03** – Vazão efluente (m<sup>3</sup>/h). (MIGUEZ et al., 2015)

A capacidade de absorção de água do solo ( $q_{as}$ ) é definida pela sua condutividade hidráulica. Pode-se usar os valores pré-estabelecidos da Tabela 05 somente na fase de pré-dimensionamento. Para desenvolver o projeto executivo é preciso a realização de testes de campo.

**Tabela 05** – Condutividade Hidráulica dos solos.

Tipo de solo	Condutividade hidráulica (m/h)
Cascalho	10 – 1.000
Areia	0,1 – 100
Areia argilosa	0,01 – 1
Franco-arenoso	0,05 – 0,5
Argila	0,001 – 0,1
Silto-argiloso	0,0005 – 0,05
Areia argilosa	0,001 – 0,1

Fonte: JEWELL (1996 apud MIGUEZ et al., 2015)

Jewell (1996 apud MIGUEZ et al., 2015) apresenta alguns valores do coeficiente de segurança ( $\alpha$ ) que corrige eventuais perdas de eficiência devido a sólidos e colmatção durante o uso do dispositivo (Tabela 06).

**Tabela 06** – Fator de segurança das estruturas de infiltração.

	Consequências da falha do dispositivo de infiltração		
Área a ser drenada m <sup>2</sup>	Nenhum dano ou inconveniência	Inconveniência menor, como alagamento de um estacionamento	Danos à construção ou estrutura, inconveniência maior, como inundação em estradas
< 100	1,50	2	10
100 a 1000	1,50	3	10
> 1000	1,50	5	10

Fonte: MIGUEZ et al. (2015)

A vazão de saída ( $Q_s$ ) (m<sup>3</sup>/h) encontrada deve ser dividida pela Área efetiva de contribuição ( $A_e$ ) em m<sup>2</sup> (equação 04) para definir a vazão específica de saída ( $q_s$ ).

$$q_s = \frac{Q_s}{A_e}$$

**Equação 04** – Vazão específica de saída (m/h). (MIGUEZ et al., 2015)

A Área efetiva de contribuição é encontrada a partir da multiplicação da Área total de contribuição da estrutura (A - área da bacia) pelo coeficiente de escoamento superficial (C) (equação 05).

$$A_e = A \cdot C$$

Onde:

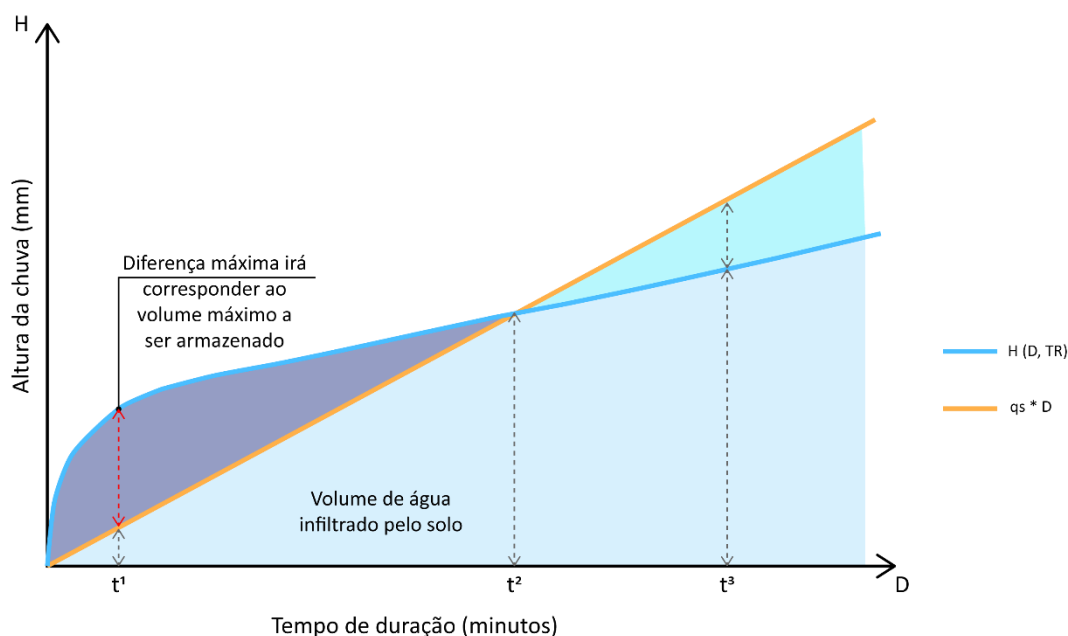
A - Área total de contribuição da estrutura (m<sup>2</sup>);

C - Coeficiente de escoamento superficial (runoff).

**Equação 05** – Área de contribuição efetiva. (MIGUEZ et al., 2015)

O coeficiente de escoamento superficial (C) é definido a partir do uso e cobertura do solo, podendo existir valores sugeridos em normas e diretrizes municipais. Este dado, normalmente, consta nos planos de saneamento ou de drenagem urbana. No caso da cidade do Rio de Janeiro, os coeficientes são encontrados no manual “*Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana*” publicado pela Subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas, Rio-Águas, em 2019.

A partir da vazão específica de saída que multiplicada pelo tempo de duração, é construída a curva de volume de saída ( $q_s \cdot D$ ) ou deflúvio. Esta curva indica o volume a ser infiltrado pelo solo. A outra curva presente no gráfico é a curva que relaciona a altura da Chuva de Projeto por vários tempos de duração no TR já escolhido [ $H(D, TR)$ ] (Figura 18). A partir da tabela compara-se os valores de deflúvio com os valores da altura da chuva em cada tempo de duração (Tabela 07). A máxima diferença entre essas duas curvas é o volume a ser armazenado (equação 06).



**Figura 18** – Gráfico do Método das Chuvas. (MIGUEZ et al., 2015)

**Tabela 07** – Curva envelope.

CURVA ENVELOPE					
td (minutos)	td (horas)	i (mm/h)	Pacum ou Altura da chuva (mm)	qs * td (mm)	diferença (mm)
				Vazão específica de saída pelo tempo de duração da tabela	Diferença entre a Altura da chuva e qs*td
		retirado da Tabela de Chuva de Projeto			

$$V_{M\acute{A}X} = \left\{ \frac{m\acute{a}x [H(D, T) - q_s \cdot D]}{1000} \right\} \cdot A_e$$

**Equação 06** – Volume máximo a ser armazenado (m<sup>3</sup>). (MIGUEZ et al., 2015)

### Capacidade de armazenagem

Para o cálculo de dimensionamento da profundidade final do dispositivo é necessário considerar o material a ser utilizado no seu interior e sua porosidade. Schueler (1987 apud MIGUEZ et al., 2015) recomenda o uso de britas nº 3 ou nº 4 na camada de drenagem dos dispositivos. Estes possuem porosidade na ordem de 40 a 50% (Tabela 08). Atualmente há uma tendência para o reaproveitamento dos resíduos de construção civil para a mesma finalidade dependendo de sua granulometria. Segundo estudo de Neto e Alvarenga (2019), os resíduos costumam apresentar um índice de vazios na ordem de 47%.

**Tabela 08** – Porosidade efetiva para materiais típicos.

Material	Porosidade efetiva (%)
Rocha dinamitada – Brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduado (≤ ¼ polegadas)	30
Areia	25
Cascalho de jazida – Seixo rolado	15 – 25

Fonte: MIGUEZ et al. (2015)

A profundidade total (m) do reservatório depende da profundidade útil (m) que é definida a partir do volume a ser armazenado ( $V_{M\acute{A}X}$ ) sobre a área do dispositivo (m<sup>2</sup>) (Superfície de infiltração - S) (equação 07).

$$Prof_{\acute{U}TIL} = \frac{V_{M\acute{A}X}}{S}$$

**Equação 07** – Profundidade útil. (MIGUEZ et al., 2015)

Com isso, divide-se a profundidade útil (m) pela porosidade do material escolhido (em decimal) e encontra-se a profundidade total do dispositivo proposto (m) (MIGUEZ et al., 2015) (equação 08).

$$Prof_{TOTAL} = \frac{Prof_{\acute{U}TIL}}{Porosidade}$$

**Equação 08** – Profundidade total. (MIGUEZ et al., 2015)

Caso a profundidade encontrada não seja adequada, é preciso rever a área do canteiro e recalcular sua profundidade.

#### 4.4 Método PULS Simplificado

Para o dimensionamento dos dispositivos de detenção e retenção na escala da quadra urbana propõe-se a utilização do Método PULS Simplificado apresentado na publicação de Miguez et al. (2015), que simula o funcionamento de um reservatório a partir da simplificação do balanço das massas (equação da continuidade). A aplicação desse método permite, além de dimensionar o próprio reservatório, avaliar os impactos positivos de sua implementação em termos de amortecimento das cheias e mitigação dos efeitos negativos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. Como o intuito do trabalho é trabalhar com cidades altamente adensadas que sofrem com falta de espaço livre, os projetos propostos não necessariamente terão área suficiente para acomodar o volume necessário para eliminar o efeito total da urbanização tanto por limitação de espaço como de altura máxima a ser obedecida pelas diretrizes de implantação dos dispositivos. Assim, a implantação do reservatório busca reduzir o aumento no pico das vazões, gerado pela urbanização, chegando o mais próximo possível da vazão máxima de pré-urbanização.

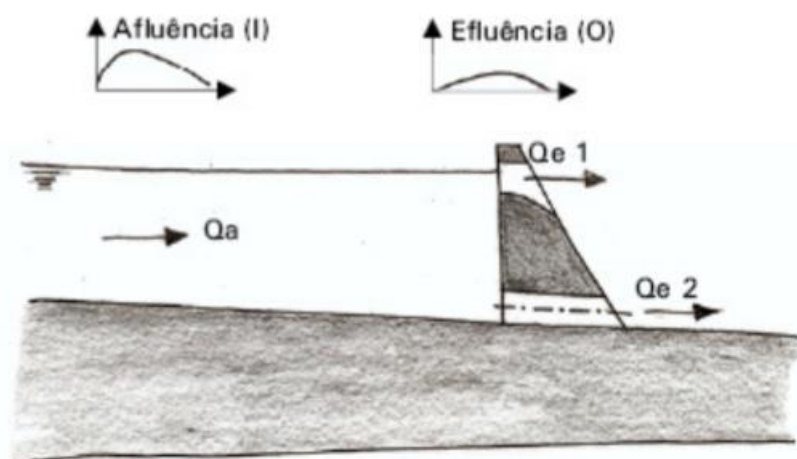
Para aplicar o Método PULS Simplificado é preciso definir o Hidrograma de cheias a ser amortecido. Caso este não seja conhecido, podem ser aplicados métodos hidrológicos para a sua tentativa. Para isso, serão utilizados: o tempo de concentração da bacia contribuinte, o tempo de duração do evento de chuva, o Tempo de Recorrência da chuva e a área de drenagem. Essas informações são utilizadas para o cálculo da Chuva de Projeto. Com isso, deve-se atentar às seguintes etapas:

- Estimar o Hidrograma de entrada do dispositivo (vazões afluentes ao reservatório -  $Q_a$ ) através do Hidrograma Unitário Sintético;
- Definir a Altura e Área superficial do reservatório a ser proposto e suas variações de Área-Cota em relação a profundidade, caso tenha;
- Definir dimensionamento do orifício de saída do reservatório para dimensionar a vazão efluente ( $Q_e$ );
- Aplicar a simplificação da equação de continuidade para encontrar a altura do reservatório em um intervalo de tempo definido ( $h^{t+1}$ ).

Assim, é preciso dimensionar a vazão afluente ( $Q_a$ ) da área de drenagem da bacia urbanizada, que será direcionada para o dispositivo, através do **Hidrograma Unitário Sintético**. Já a vazão efluente ( $Q_e$ ) é composta pela vazão do orifício de base e pela vazão do vertedouro (Figura 19). O estudo se pauta na



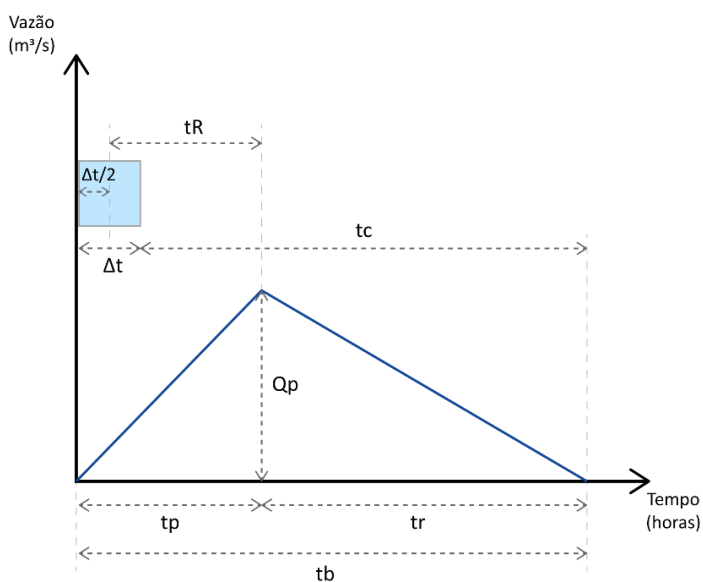
análise entre as vazões de entrada e saída, definindo o volume máximo que a lagoa comporta sem transbordar.



**Figura 19** – Representação esquemática de funcionamento das vazões de um reservatório. (MIGUEZ et al., 2015)

### Hidrograma Unitário Sintético

Também conhecido como Método Triangular Simplificado do SCS (Soil Conservation Service), é um método usado em bacias hidrográficas que não tenham dados de precipitação histórica. Ele permite elaborar um Hidrograma adimensional de vazões unitárias pelo tempo a partir das características físicas da bacia. Consiste em encontrar a vazão máxima para a precipitação unitária e com isso elaborar o Hidrograma Unitário Sintético (Figura 20).



Onde:

tc - tempo de concentração da bacia (horas);  
tp - tempo de ascensão (horas);  
tr - tempo de recessão (horas);  
tR - tempo de pico (horas);  
Δt - duração da chuva efetiva (horas);  
Qp - vazão máxima de pico (m³/s).

**Figura 20** – Hidrograma Unitário Sintético. (AQUAFLUXUS, s/d)

Para encontrar os valores para elaborar o Hidrograma Unitário Sintético, deve-se seguir as etapas abaixo:

- Definir o **tempo de concentração** (horas) da bacia hidrográfica;
- Definir a **duração da chuva efetiva** (horas), obtido a partir da precipitação unitária. É indicado que o tempo de duração da chuva efetiva seja próximo a  $\frac{1}{8}$  do tempo de concentração de todo o fenômeno para garantir uma maior aderência do resultado calculado com a ocorrência do fenômeno natural. Para CANHOLI (2014), admite-se a equação 09 para definir a duração da chuva efetiva;

$$\Delta t = 0,133 \cdot tc$$

- Determinar o **tempo de ascensão** (horas) através da equação 10:

$$t_p = \frac{\Delta t}{2} + 0,6 \cdot tc$$

- Determinar o **tempo de pico** do Hidrograma (horas) através da equação 11:

$$tR = 0,6 \cdot tc$$

- Determinar o **tempo de recessão** do Hidrograma (horas), através da equação 12:

$$t_r = 1,67 \cdot t_p$$

- Determinar o **tempo de base** do Hidrograma (horas), através da equação 13:

$$t_b = t_p + t_r$$

- Determinar a **vazão máxima de pico** ( $m^3/s$ ), válida para a precipitação de 1 mm através da equação 14:

$$Q_p = \frac{0,208 \cdot A}{t_p}$$

Onde:

$Q_p$  - vazão máxima do Hidrograma triangular ( $m^3/s$ );

$A$  - área da bacia ( $km^2$ );

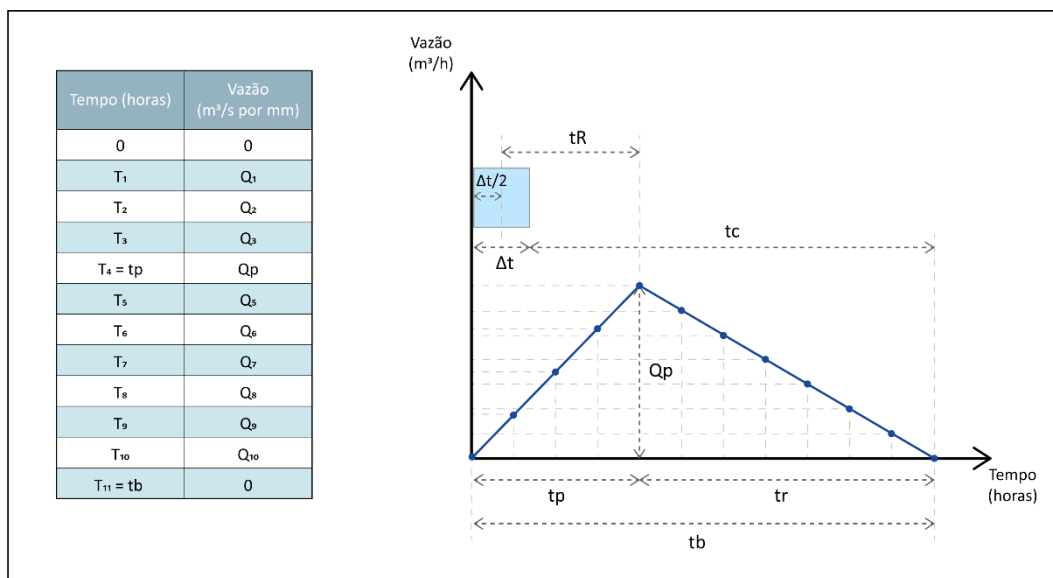
$t_p$  - tempo de ascensão (horas).

- A partir dos valores encontrados, é preciso fazer uma **interpolação** da vazão de pico com o tempo de ascensão, através da proporcionalidade dos valores com o uso das equações 15 e 16 para encontrar as demais vazões da chuva efetiva e assim montar o Hidrograma Unitário Sintético (HUS) (Figura 21):

$$Q(t) = \frac{t}{t_p} \cdot Q_p, \text{ quando } t < t_p$$

$$Q(t) = \frac{t_b - t}{t_b - t_p} \cdot Q_p, \text{ quando } t_p < t < t_b$$

**Equações 15 e 16** – Vazão em função do tempo.



**Figura 21** – Tabela com as vazões da chuva efetiva e Hidrograma Unitário Sintético.

- O gráfico encontrado acima corresponde às vazões geradas na bacia a partir da ocorrência de uma precipitação unitária. Antes de elaborar o Hidrograma de Projeto é preciso verificar se os intervalos de tempo entre o Hidrograma Unitário Sintético e a Chuva de Projeto são iguais. Caso os intervalos de tempo não sejam os mesmos, é preciso discretizar o tempo da chuva efetiva definida pela Chuva de Projeto ou elaborar um Hidrograma Unitário Sintético com o intervalo de tempo correspondente ao intervalo de tempo da Chuva de Projeto, através do **Método do Retardo** (Figura 22). As colunas da tabela serão o tempo necessário para alcançar o intervalo de tempo da Chuva de Projeto.

Assim é preciso aplicar a vazão do Hidrograma Unitário Sintético anterior em cada coluna e depois calcular a média de cada linha definindo as vazões para cada intervalo de tempo. A partir deste Hidrograma, seleciona-se as vazões finais encontradas correspondentes ao intervalo de tempo da Chuva de Projeto. Essa serão as vazões inseridas na tabela do Hidrograma de Projeto:

Tempo do Hidrograma Unitário Sintético

Intervalo de tempo a ser igualado com a Chuva de Projeto

Tempo (min)	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	Vazão final (m³/s)
T <sub>1</sub>	0										0
T <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0									Q <sub>1</sub>
T <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0								$\frac{Q_1 + Q_2}{2}$
T <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0							$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}$
T <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0						$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{4}$
T <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0					$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5}{5}$
T <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0				$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6}{6}$
T <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0			$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7}{7}$
T <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0		$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8}{8}$
T <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	0	$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9}{9}$
T <sub>11</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{10}$
T <sub>12</sub>	0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	$\frac{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{9}$
T <sub>13</sub>		0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	$\frac{Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{8}$
T <sub>14</sub>			0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	$\frac{Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{7}$
T <sub>15</sub>				0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>5</sub>	$\frac{Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{6}$
T <sub>16</sub>					0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>6</sub>	$\frac{Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{5}$
T <sub>17</sub>						0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>7</sub>	$\frac{Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{4}$
T <sub>18</sub>							0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	Q <sub>8</sub>	$\frac{Q_8 + Q_9 + Q_{10}}{3}$
T <sub>19</sub>								0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>9</sub>	$\frac{Q_9 + Q_{10}}{2}$
T <sub>20</sub>									0	Q <sub>10</sub>	Q <sub>10</sub>
T <sub>21</sub>										0	0

Q<sub>1a</sub>

Q<sub>2a</sub>

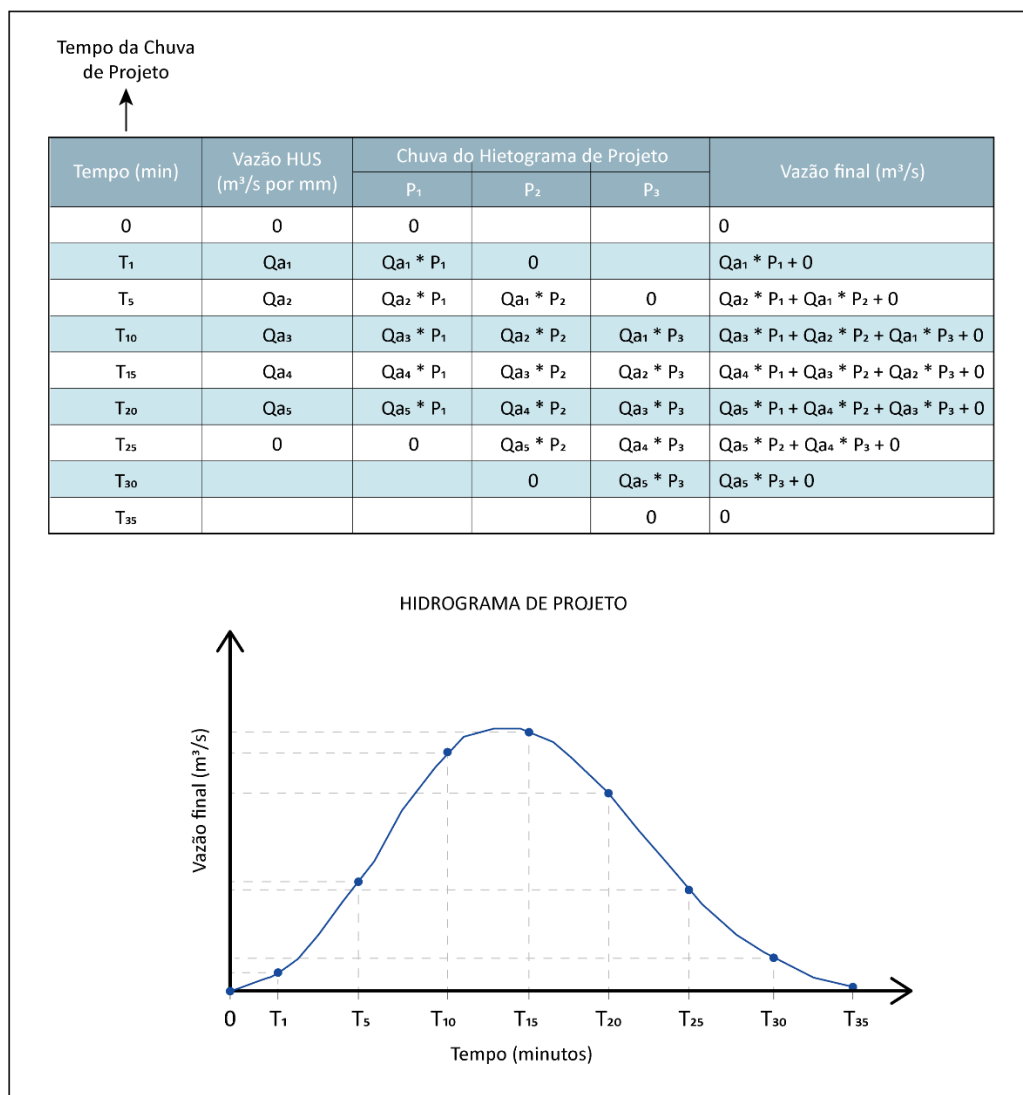
Q<sub>3a</sub>

Q<sub>4a</sub>

Q<sub>5a</sub>

**Figura 22 – Método do Retardo.**

- Com os intervalos de tempo iguais pode-se fazer a convolução e elaborar o Hidrograma de Projeto para encontrar as vazões afluentes da bacia analisada. A convolução consiste em multiplicar as precipitações do Hidrograma de Projeto pelas vazões da chuva efetiva da Chuva de Projeto (Figura 23):



**Figura 23** – Hidrograma de Projeto.

As colunas da tabela são compostas pelo número de chuvas efetivas que o Hietograma de Projeto apresentou. Cada precipitação da Chuva de Projeto será multiplicada pelas vazões do Hidrograma Unitário Sintético. Para encontrar a vazão final em cada intervalo de tempo da Chuva de Projeto estabelecida é preciso somar cada linha das vazões encontradas de cada chuva efetiva. Esses valores serão considerados as vazões afluentes da bacia analisada (Qa'). O maior valor encontrado será considerado a vazão de pico da chuva escolhida.

Caso a área da bacia definida seja maior que 10.000 m<sup>2</sup> aplica-se um coeficiente de redução da chuva em relação à área de contribuição (equação 17). Assim multiplica-se o valor encontrado nas vazões encontradas pelo Hidrograma de Projeto, atenuando as vazões de entrada do sistema (equação 18).

$$C_d = \left( \frac{A}{10000} \right)^{-0,15}$$

Onde:

Cd – Coeficiente de redução  
A – Área de contribuição (m<sup>2</sup>)

**Equação 17** – Coeficiente de redução da chuva. (MIGUEZ et al., 2015)

$$Q_a = C_d \cdot Q_{a'}$$

Onde:

Qa – Vazão de entrada atenuada (m³/s)

Cd – Coeficiente de redução

Qa' – Vazão final encontrada no Hidrograma Unitário Sintético (m³/s)

**Equação 18** – Vazão atenuada.

### Vazão efluente

Depois de definidas as vazões afluentes no sistema é preciso determinar o orifício de saída para encontrar a vazão efluente do dispositivo proposto. O orifício de saída está diretamente conectado com o sistema de drenagem urbana existente, logo é preciso ter uma dimensão que reduza o volume de água que entra na rede tradicional, reduzindo o valor de pico de cheia da bacia. Por isso, é recomendado que as lagoas, nesse caso, devem estar conectadas através do extravasor e/ou vertedouro com outros dispositivos de Infraestrutura Verde para eventuais transbordamentos, evitando danos no entorno.

A vazão efluente (Q<sub>e</sub>) conta com duas variáveis, a vazão do orifício de descarga (Q<sub>E ORIFÍCIO</sub>) no fundo do reservatório e a vazão do vertedouro (Q<sub>E VERTEDOURO</sub>). No caso deste trabalho, será considerado apenas a vazão efluente pelo orifício de base uma vez que se considerar a vazão do vertedouro irá aumentar a vazão de saída (Q<sub>e</sub>), reduzindo a eficiência na capacidade de amortecimento do dispositivo no entorno. Cabe lembrar que após determinar a altura máxima de água a ser armazenada no reservatório, deve-se colocar o vertedouro e considerar uma borda livre de 0,50 m acima. A estrutura de vertimento funciona como um dispositivo de segurança, para permitir o extravasamento do reservatório de forma ordenada e previsível, quando ocorrerem eventos superiores ao de projeto. Assim, o vertedor deve ser dimensionado para chuvas com Tempo de Recorrência maiores que o TR utilizado para o dimensionamento do reservatório.

A vazão efluente será definida de duas formas: na situação em que o orifício de descarga não estiver afogado (nível d'água a montante inferior a geratriz superior do orifício) aplicando o a **Equação de Manning** e na situação afogada aplicando a **Equação clássica do orifício de descarga** (equação 19), apresentado na literatura de Miguez et al. (2015). Para um maior entendimento da Equação de Manning, recomenda-se consultar a literatura específica.

**Equação 19** – Vazão efluente.

$$Q_e = Q_{e \text{ ORIFÍCIO}} + Q_{e \text{ VERTEDOURO}}$$

$$Q_e = Q_{e \text{ ORIFÍCIO}} + 0$$

$$Q_e = Q_{e \text{ ORIFÍCIO}}$$

$$Q_e = \phi_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_o}$$

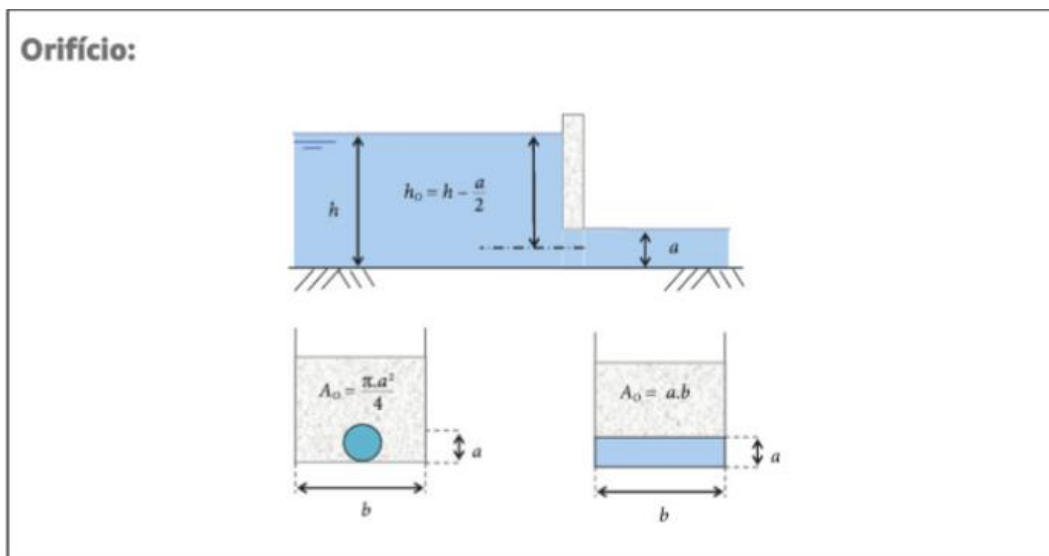
Onde:

Ø - coeficiente de descarga do orifício;

A<sub>o</sub> - área do orifício (m²) (Figura 24);

h<sub>o</sub> - carga sobre o centro do orifício (m) (Figura 24).

Fonte: MIGUEZ et al. (2015)



**Figura 24** – Quadro com corte esquemático do reservatório e parâmetros do orifício de descarga (MIGUEZ et al. 2015)

No caso do orifício de saída, o ideal é considerar o diâmetro menor que da galeria de drenagem da cidade já que a intenção é reduzir a vazão que chega no sistema de drenagem da cidade. Para a equação clássica do orifício de descarga apresentado por Miguez et al. (2015), o coeficiente de descarga do orifício depende da forma e da altura da água retida no dispositivo. Pode ser encontrado em várias literaturas clássicas de hidráulica como no livro Curso de Hidráulica de Eurico Trindade Neves (1970) e no Manual de Hidráulica de Azevedo Neto (2003). Em Azevedo Neto (2003) encontram-se orifícios voltados para reservatórios na escala do lote, enquanto que na literatura de Neves (1970) há dimensões mais apropriadas para a escala da quadra.

### Método PULS Simplificado

Segundo Miguez et al. (2015), o Método PULS Simplificado se dá a partir da equação da continuidade, que parte do princípio de conservação de massa. De forma simplificada ela é apresentada pela equação 20:

**Equação 20** – Simplificação da equação da continuidade de massa.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_a - Q_e$$

Onde:

$\Delta V$  - variação de volume do reservatório ( $m^3$ );

$\Delta t$  - variação de tempo (horas);

$Q_a$  - vazão afluente ( $m^3/h$ );

$Q_e$  - vazão de saída do orifício de descarga ( $m^3/h$ ).

Fonte: MIGUEZ et al. (2015)

A fórmula acima pode ser reescrita a partir dos parâmetros conhecidos como altura do reservatório ( $h$ ), Área superficial ( $A_s$ ), Vazão de entrada ( $Q_a$ ) e

Vazão de saída ( $Q_e$ ), se relacionando nos momentos  $t$  e  $t+1$ , que seria considerado a variação de tempo ( $\Delta t$ ).

$$\frac{(h^{t+1} - h^t) \cdot \left(\frac{A_s^t + A_s^{t+1}}{2}\right)}{\Delta t} = \left(\frac{Q_a^t + Q_a^{t+1}}{2}\right) - \left(\frac{Q_e^t + Q_e^{t+1}}{2}\right)$$

Todas as incógnitas da variável tempo  $t$  são conhecidas já que é o estado inicial ou anterior do reservatório. A vazão de entrada é encontrada a partir do Hidrograma de Projeto definido pelo Hidrograma Unitário Sintético. Para simplificar a equação, pode-se adotar a área superficial média ( $A_s$ ) como a área de fundo sendo constante se o reservatório for em um formato prismático ou que tenha uma pequena variação na curva de cota (relevo). Isso também pode ser aplicado quando o reservatório tiver seu fundo plano e taludes gramados.

$$A_s \cdot \left(\frac{h^{t+1} - h^t}{\Delta t}\right) = \left(\frac{Q_a^t + Q_a^{t+1}}{2}\right) - \left(\frac{Q_e^t + Q_e^{t+1}}{2}\right)$$

Assim as incógnitas restantes são  $h^{t+1}$ ,  $Q_a^{t+1}$  e  $Q_e^{t+1}$ . Pode-se simplificar ainda mais a equação acima considerando para as vazões  $Q_a^{t+1}$  e  $Q_e^{t+1}$  as informações disponíveis no tempo anterior. Assim, a variável  $h^{t+1}$  seria a única incógnita. Cabe ressaltar que tal simplificação tende a gerar um erro de defasagem, mas para o caso deste trabalho não há grandes efeitos negativos nesta simplificação. Isso só é possível se for com intervalos de tempo bem pequenos de forma que não entre no sistema um grande volume de água em um único intervalo de tempo.

$$h^{t+1} = h^t + \left(\frac{Q_a^t - Q_e^t}{A_s^t}\right) \cdot \Delta t$$

Assim, aplica-se as equações acima na planilha de cálculo do reservatório para analisar a vazão efluente e a altura do reservatório em cada instante (Tabela 09).



**Tabela 09** – Planilha de cálculo da altura do reservatório em cada instante.

Valores encontrados pelo Hidrograma Unitário Sintético de acordo com cada intervalo de tempo.		Caso a área não seja constante, será preciso fazer uma relação Área Superficial - Cota para encontrar a variação da área de acordo com a altura do reservatório.		Obtido a partir da fórmula: $h^{t+1} = h^t + \left( \frac{Q_a^t - Q_e^t}{A_s^t} \right) \cdot \Delta t$	
Tempo t (min)	$Q_{afluente}$ (m³/s)	$h^t$ (m)	Área Superficial (m²)	$Q_{efluente}$ (m³/s)	$h^{t+1}$ (m)
0	0	0	$A_s$	0	$h_1$
10	$Q_{a1}$	$h_1$		$Q_{e1}$	$h_2$
20	$Q_{a2}$	$h_2$		$Q_{e2}$	$h_3$
30	$Q_{a3}$	$h_3$		$Q_{e3}$	$h_4$
...	...	...			...

Intervalo de tempo usado no Hidrograma e no Hietograma de Projeto.

A altura inicial do reservatório vazio é zero (0). Para a altura inicial, no segundo momento da tabela é a altura final no primeiro momento.

Obtido a partir da fórmula:  

$$Q_e = \phi_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_o}$$
 OU por Manning

No fim, o objetivo é dimensionar o reservatório, para que a vazão amortecida se aproxime ao máximo da vazão de pré-urbanização (equação 21). Além disso, permite dimensionar a capacidade de mitigação através da diferença de impacto sem reservatório e com reservatório, quantificando os efeitos de urbanização do reservatório para a região do entorno (equação 22). Para encontrar a vazão de pico de entrada no cenário pré-urbanização é preciso definir o tempo de concentração de acordo com o cenário pré-urbanizado e assim elaborar o Hidrograma Unitário Sintético, aplicar o Método de Retardo, se necessário e encontrar o Hidrograma de Projeto do cenário pré-urbanização.

$$Amortecimento = \frac{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}} - Q_{e \text{ RESERVATÓRIO}}}{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}}} \cdot 100$$

**Equação 21**– Capacidade de Amortecimento.

$$Mitigação = \frac{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}} - Q_{e \text{ RESERVATÓRIO}}}{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}} - Q_{a \text{ PRÉ-URBANIZAÇÃO}}} \cdot 100$$

**Equação 22** – Capacidade de Mitigação.

No caso destes dispositivos de retenção e detenção, segundo Miguez et al. (2015), a escavação máxima é de 1,50 m de profundidade, considerando a borda livre. Para efeitos de cálculo de dimensionamento desconsidera-se a

camada de drenagem já que ela pouco influi no processo de infiltração da água em relação ao volume a ser retido na lagoa como um todo.

## 5. MANEJO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS URBANAS

O planejamento da cidade que se utiliza do sistema de drenagem tradicional visa apenas mitigar as cheias. No decorrer dos anos, com uma mudança de paradigmas frente à necessidade de mudança com o avanço das alterações climáticas e a crescente e constante urbanização foi necessária a evolução no que tange a gestão das águas urbanas com novos objetivos para solucionar a drenagem urbana. Esta nova forma de pensar visa manejar as águas pluviais urbanas a partir de um conjunto de dispositivos que transportam, detenham, retenham e amortecem as vazões das cheias, tratando-as e trazendo mais qualidade para o meio urbano (AQUAFLUXUS, s/d). A evolução desta ideia é apresentada na imagem a seguir.

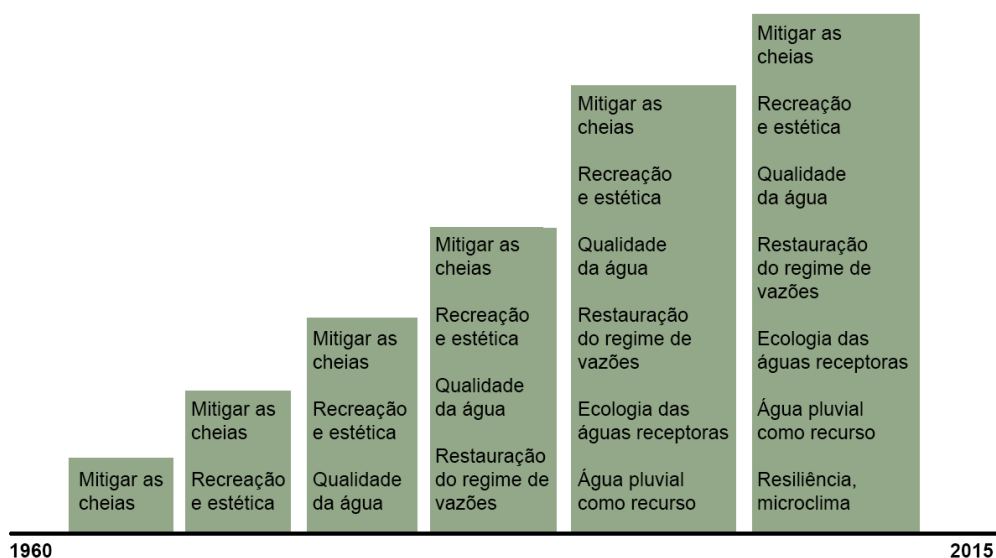


Figura 25 – Evolução da gestão da drenagem urbana. (AQUAFLUXUS, s/d)

### 5.1 Ecologia da paisagem

A partir da segunda metade do século XIX surgiu uma preocupação frente a conservação da natureza diante do avanço das cidades. Planos urbanísticos que se orientam pela cidade-natureza foram ganhando destaque no diálogo do desenvolvimento urbano. Espaços verdes como elemento estruturador - cinturões verdes e 'parkways' -, foram sendo inseridos com o objetivo de embelezar as cidades, como o Emerald Necklace em Boston, primeiro projeto de Infraestrutura Verde desenvolvido pelo arquiteto paisagista Frederick Law Olmsted. Neste projeto Olmsted também trouxe a visão da sustentabilidade e da resiliência para o planejamento urbano, a partir de um projeto multidisciplinar e multifuncional para a paisagem da cidade (HERZOG e ROSA, 2010). Na década de 1970, foi notado que o rápido crescimento urbano contribuiu para a perda na qualidade de vida e degradação dos espaços livres. Uma mudança na forma de pensar o planejamento da cidade que, a partir da arquitetura da paisagem, começou a ser desenvolvido voltado para um pensamento ecológico que foi alavancado com a publicação do paisagista Ian McHarg em 1969 (HERZOG, 2013).

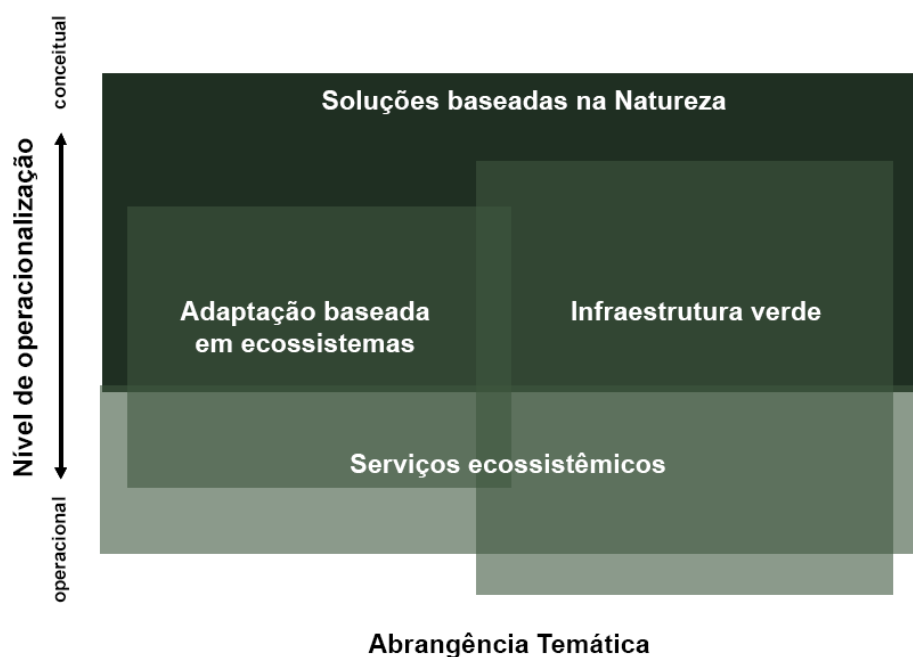
McHarg mostrou a importância da compreensão dos processos e fluxos naturais que acontecem na paisagem e as formas de ocupação em harmonia com a natureza. Através da técnica de sobreposição de camadas de mapas foi possível planejar e projetar ecossistemas urbanos sustentáveis e resilientes (HERZOG, 2013; VASCONCELLOS, 2015). O ecologista Richard Forman apresentou a importância das dinâmicas entre fragmentos naturais e antrópicos que compõem a paisagem aliado aos fluxos bióticos, abióticos e das pessoas que permite o funcionamento do ecossistema. Tendo em vista um paradigma de incerteza e preocupação frente às mudanças climáticas, o planejamento e o projeto de cidades precisam de uma nova abordagem que seja sistêmica em diversas escalas (HERZOG, 2013).

Com um interesse na conservação dos recursos naturais e, conseqüentemente, na recuperação do meio ambiente, foi oficializado o termo “desenvolvimento sustentável” em 1987 e os planos urbanísticos, como de Paris, Berlim e Barcelona, passaram a integrar a ocupação urbana com os recursos da paisagem através de áreas verdes (VASCONCELLOS, 2015). Com isso, diversos movimentos surgiram com o enfoque em resolver os problemas da cidade moderna e, ao mesmo tempo, trazer um ambiente com mais qualidade para a vida da população.

A ecologia da paisagem abre uma perspectiva na paisagem urbana de um sistema heterogêneo e sensível às mudanças que alteram o ambiente. Ela desenvolve uma visão sistêmica sobre o mosaico da paisagem, das conexões, fluxos e processos naturais que determinam o funcionamento do ecossistema urbano (HERZOG, 2013). No final do século XX e início do século XXI, a partir do pensamento ecológico, surgiram termos como Soluções baseadas na Natureza (SBN), Infraestrutura Verde (IV), Adaptação baseada em Ecossistema (AbE) e Serviços ecossistêmicos (PAULEIT et al., 2017). Em 1994, o termo Infraestrutura Verde é usado, pela primeira vez, no relatório da Comissão de Greenways da Flórida que defendia os sistemas naturais como uma infraestrutura tão importante quanto a tradicional (PELLEGRINO e MOURA, 2017).

## **5.2 Solução baseada na Natureza X Infraestrutura Verde**

Os conceitos de Infraestrutura Verde e Soluções baseadas na Natureza estão inter-relacionados. Ambos surgiram para reforçar a necessidade de elaborar políticas que coloquem a natureza como elemento de destaque no cenário de planejamento urbano. Devido à imprecisão e amplitude de sua conceituação, é difícil identificar as diferenças entre cada conceito. Entretanto, Pauleit et al. (2017) sugere que relações podem ser observadas entre esses conceitos e estes devem se complementar mutuamente. Entende-se que o termo Infraestrutura Verde está dentro do conceito guarda-chuva Soluções baseadas na Natureza que abrange infinitas soluções com diversas abordagens para tornar as cidades mais resilientes às alterações do clima que oferecem serviços ecossistêmicos (HERZOG, 2021) (Figura 26).



**Figura 26** - Ilustração temática da abrangência dos conceitos SBN, AbE, IV e Serviços ecossistêmicos. (PAULEIT et al., 2017 - tradução da autora)

Benedict e McMahon (2006, p.1) veem a Infraestrutura Verde como,

“uma rede interconectada de espaços naturais e outros espaços abertos que conservam valores e funções do ecossistema natural, sustentam o ar e a água limpos e promovem uma gama de benefícios para as pessoas e a biodiversidade. Nesse contexto, a infraestrutura verde é uma estrutura ecológica para a saúde ambiental, social e econômica, ou seja, para o nosso sistema natural de suporte à vida.” (traduzido pela autora)

Herzog (2013) complementa que a Infraestrutura Verde uma vez que é fundamentada no conceito da ecologia da paisagem, mimetiza os processos naturais, reestruturando o ecossistema urbano, promovendo espaços para as águas e a biodiversidade, tornando o meio urbano mais sustentável e resiliente (HERZOG, 2021). Ela consiste em transformar áreas impermeabilizadas e monofuncionais em espaços multifuncionais, mantendo o equilíbrio dinâmico, sustentável e resiliente do meio urbano. Visa conciliar construções e infraestruturas novas com as existentes numa rede de espaços com diversas escalas e múltiplas funções interligando os fragmentos vegetados através de corredores verdes e azuis, fortalecendo a conservação e o fluxo da biodiversidade e a melhoria da qualidade das águas, reestruturando a paisagem (HERZOG, 2013). Além disso, Rouse e Bunster-Ossa (2013 apud SILVA, 2017) enxergam que a forma física e o aspecto estético da Infraestrutura Verde estão atrelados à forma técnica, social e econômica.

Há algumas características que são similares que definem um projeto de Solução baseada na Natureza (SBN) e um projeto de Infraestrutura Verde (IV) como a **multifuncionalidade**, a **conectividade** e a **adaptabilidade**. No entanto, podemos apontar que a importância da biodiversidade é mais latente para os projetos de SBN enquanto nas de IV nem sempre (PAULEIT et al., 2017). Um projeto multifuncional é aquele que desempenha mais de uma função ecológica, social e econômica no mesmo espaço verde como drenagem, lazer, regulação da temperatura, mobilidade, entre outros (PELLEGRINO e MOURA, 2017). Para um projeto ser considerado como Infraestrutura Verde, ele precisa ser **multiescalar**, isto é, pode ser implementado na escala do lote, da quadra, do bairro, da bacia hidrográfica, da cidade ou da região. Para tal também é preciso ser **interescolar** para conectar as manchas verdes naturais e urbanas através da articulação entre as escalas, reconstruindo a conectividade ecológica e genética (HERZOG, 2021; PELLEGRINO e MOURA, 2017; VASCONCELLOS, 2015). Além disso, ele precisa ser **modular** de forma que o sistema seja redundante, criando sistemas que sejam seguros para falhar (“safe-to-fail”). Herzog (2013) sugere que em um projeto de paisagismo ecológico com mais de um dispositivo implantado na malha urbana, caso um módulo do sistema falhe, haja outras partes do sistema que permitam que continue funcionando.

Seguindo o pensamento ecossistêmico, Herzog (2013) defende que a Infraestrutura Verde se baseia em 03 sistemas naturais (geológico, hidrológico e biológico) e 03 sistemas antrópicos (social, circulatório e metabólico) que estão interconectados e se superpõem (Tabela 10). Apesar de funcionarem de forma integrada, é preciso analisar os subsistemas individualmente para entender os problemas e deficiências presentes. Desta forma é possível desenvolver projetos que promovam Serviços Ecossistêmicos que atendam aos 06 sistemas como a melhoria da qualidade do ar, da água e do solo, redução dos processos de erosão, redução de ruídos sonoros, redução dos efeitos das ilhas de calor, promoção de habitat e biodiversidade, redução de inundações e deslizamentos, redução do estresse, fortalecimento da comunidade, redução do consumo de energia, redução da criminalidade e da violência, melhoria da saúde humana, redução dos gastos na manutenção dos sistemas de drenagem urbana, proteção dos mananciais e margens dos corpos d’água, aumento dos espaços de lazer, aumento da educação ambiental, entre outros (HERZOG, 2021; VASCONCELLOS, 2015).

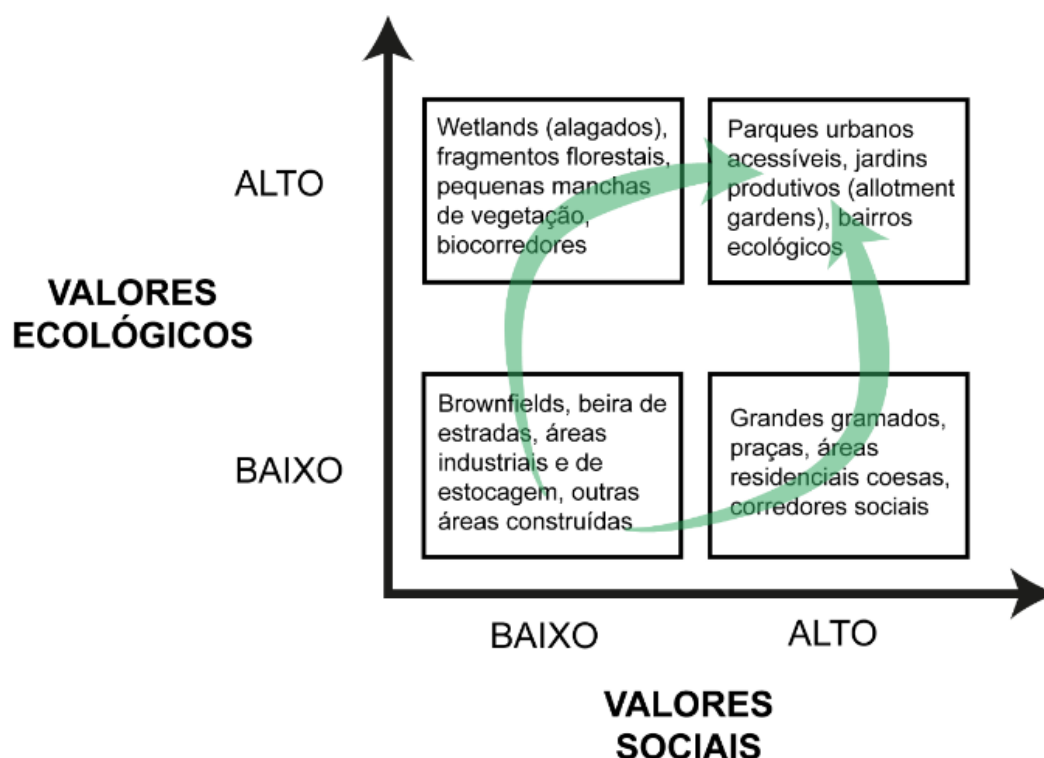
**Tabela 10** - Sistemas Naturais e Antrópicos.

SISTEMAS NATURAIS	
	<p><b>SISTEMA GEOLÓGICO</b></p> <p>A ocupação humana é definida pela forma do terreno, pela geomorfologia do local, a cobertura vegetal e a qualidade do solo. Este contém microorganismos e nutrientes que dão suporte à vida vegetal. Também possui diferentes estruturas e plasticidades que definem sua permeabilidade e fertilidade.</p>
	<p><b>SISTEMA HIDROLÓGICO</b></p> <p>É o processo da água. O ciclo hidrológico foi fortemente alterado pelas cidades, uma vez que apresenta enorme presença de espaços impermeabilizados voltados para o interesse imobiliário e para os veículos automotores.</p>
	<p><b>SISTEMA BIOLÓGICO</b></p> <p>É o que dá suporte a vida e aos habitats dos seres vivos. As plantas que formam florestas protegem as bacias hidrográficas, suas nascentes e corpos d'água regulando o fluxo e a qualidade da água e reabastecendo os lençóis subterrâneos.</p>
SISTEMAS ANTRÓPICOS	
	<p><b>SISTEMA SOCIAL</b></p> <p>Formado pelos espaços urbanos com prioridade dos pedestres e ciclistas onde acontecem as atividades e dinâmicas sociais, recreativas e de lazer. São lugares abertos que promovem a melhoria da saúde humana no âmbito físico, mental e espiritual.</p>
	<p><b>SISTEMA CIRCULATÓRIO</b></p> <p>É os meios que as pessoas e os produtos circulam pela cidade. As grandes cidades apresentam uma grande imobilidade urbana, uma vez que são voltadas para os veículos movidos a combustíveis fósseis e exigem que a população faça grandes percursos para se locomover durante o dia para suas atividades.</p>
	<p><b>SISTEMA METABÓLICO</b></p> <p>Atualmente, as cidades possuem um sistema metabólico linear, isto é, exigem a entrada de uma grande quantidade de energia e matéria para se manter funcionando e descartam muitos resíduos no final do processo, poluindo e degradando o ecossistema.</p>

Fonte: elaborado pela Autora, baseado em HERZOG (2013)

Para desenvolver um projeto de Infraestrutura Verde, a bacia hidrográfica é a unidade de planejamento ideal uma vez que é a integração dos fatores geológico, hidrológicos e climáticos. Os pontos mais altos da bacia, a montante, interferem diretamente na resposta do sistema de drenagem nos pontos mais baixos, a jusante. Por isso, é preciso analisar a bacia hidrográfica como um todo para projetar na cidade a partir das deficiências de cada trecho e pensar nas soluções adequadas para evitar o colapso do sistema em seus pontos sensíveis (BRANDÃO e CRESPO, 2016; HERZOG, 2013).

Os projetos variam conforme o valor ecológico e social que a região demanda. Espaços verdes podem ser destinados ao lazer e a preservação da natureza e que funcionem como um sistema que se conecte em diversas escalas, restabelecendo os processos e fluxos da paisagem que foram erradicados (Figura 27).



**Figura 27** – Índice dos fatores socioecológicos nos espaços urbanos. (elaborado pela Autora, adaptado de HERZOG, 2013)

Para ter o entendimento sistêmico da paisagem e atender às necessárias competências citadas, é preciso o trabalho de uma equipe multidisciplinar e transdisciplinar com representantes técnicos. Além da participação dos atores do processo, sejam ONGs, moradores, comerciantes, empreendedores, academia e poder público, permitindo um maior engajamento social, que proporciona uma conscientização ambiental e ajuda na manutenção a longo prazo (HERZOG, 2013, 2021). Os projetos precisam ser desenvolvidos de acordo com o local que serão implantados.

Para um melhor desempenho do projeto é ideal que se monitore ao longo do tempo para que o desempenho dos dispositivos seja dimensionado. Desta forma, eventuais correções ou ajustes são possíveis, facilitando a continuidade do projeto e, futuramente, a sua implementação em escalas maiores, de forma mais adequada e com menos riscos sociais, ambientais e econômicos (HERZOG, 2013).

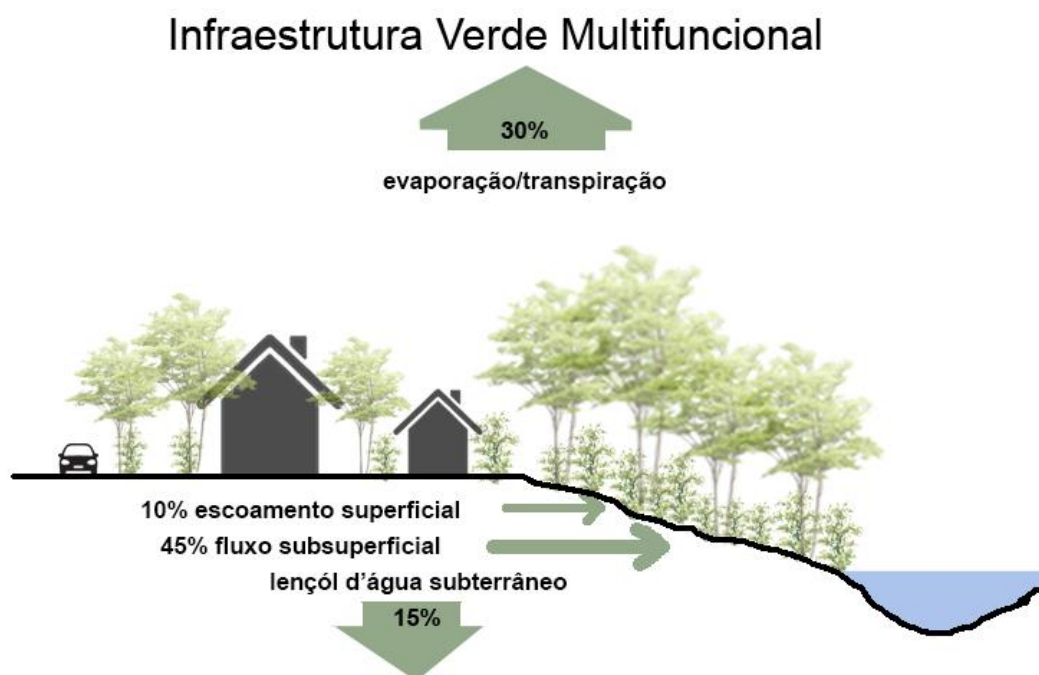
### 5.3 Manejo das águas urbanas

A adoção das Soluções baseadas na Natureza no meio urbano buscam mitigar os efeitos nocivos da urbanização, mimetizando as condições hidrológicas pré-urbanas reduzindo o escoamento superficial, melhorando os índices de infiltração, evapotranspiração que aumenta a qualidade da saúde urbana e da população (HERZOG, 2021; PELLEGRINO e MOURA, 2017) (Figura 28). Ela passou a ser adotada por cidades que visam a integração entre a infraestrutura tradicional monofuncional e a infraestrutura flexível sustentável multifuncional para



melhorar a dinâmica hídrica. Este modelo adota soluções não só voltadas para o manejo das águas urbanas como de planejamento urbano que visam a inclusão de espaços verdes no meio urbano trazendo diversos benefícios ecológicos por meio dos Serviços Ecossistêmicos (FLETCHER et al., 2014). Segundo Foster et al. (2011 apud FLETCHER et al., 2014), a IV acabou sendo adotada nos EUA como uma literatura voltada para o manejo das águas pluviais urbanas como

“uma rede descentralizada de práticas para o manejo das águas pluviais, como telhados verdes, árvores, jardins de chuva e pavimentos permeáveis, que podem capturar e infiltrar a chuva no local onde cai e, portanto, reduzir o escoamento superficial e aumentar a qualidade dos corpos d'água próximos”. (tradução da autora)



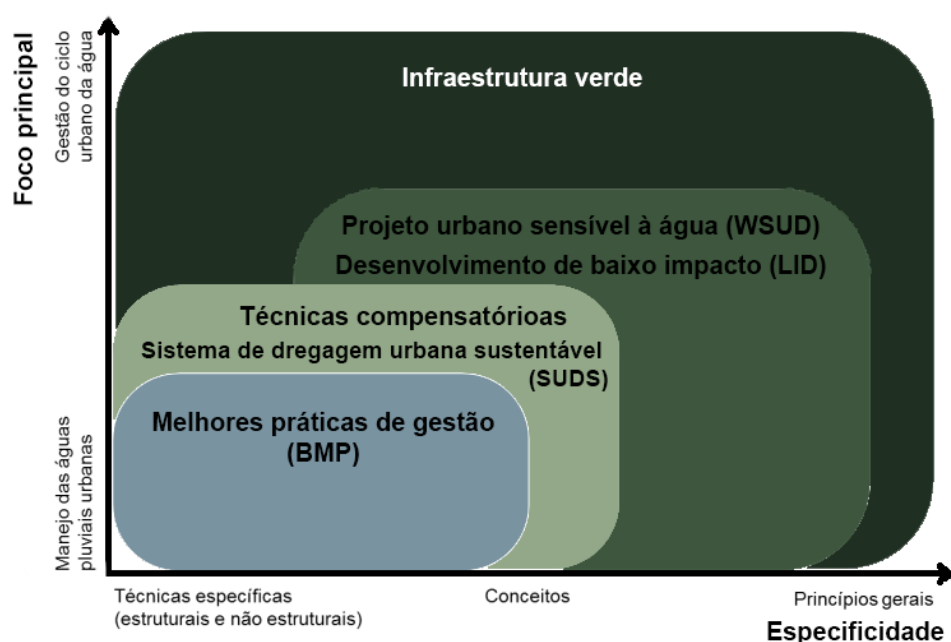
**Figura 28** - Corte esquemático da dinâmica hídrica urbana com a implantação de Infraestrutura Verde. (HERZOG, 2021)

O novo pensamento do desenvolvimento sustentável, permitiu uma mudança de pensamento cultural frente à água. Ela que já foi vista como um problema a ser descartado longe da cidade, hoje apresenta grandes oportunidades para o espaço urbano deixando-o mais convidativo, agradável e funcional (FLETCHER et al., 2014). Se tornou necessário adotar novas abordagens no sistema de drenagem uma vez que as técnicas implantadas estavam cada vez mais se tornando inviáveis financeiramente, devido ao crescimento exponencial da população e à necessidade constante de adequação da infraestrutura tradicional monofuncional. A partir do pensamento sustentável voltado para a ecologia da paisagem, em 1970, nos EUA e na Europa surgem novas técnicas de manejo das águas urbanas mais sustentáveis que visam aumentar a infiltração da água da chuva no solo in loco, reduzindo o volume do escoamento superficial e o volume de águas nas galerias e rios durante os picos das chuvas (AQUAFLUXUS, s/d). O foco é descentralizar o sistema a partir de técnicas modulares inseridas na malha urbana que proporcionem a infiltração, retenção e tratamento das águas pluviais onde a chuva cai. Distribuída por toda a

bacia hidrográfica, a IV evita o colapso da infraestrutura tradicional a jusante e reduz a poluição difusa no sistema, além de permitir o reuso da água pluvial (AQUAFLUXUS, s/d).

A drenagem sustentável visa trabalhar com um pensamento focado na bacia hidrográfica a fim de controlar o excesso de água devido a impermeabilização da urbanização, trazendo soluções ao longo de toda a bacia e reduzindo os efeitos a jusante, nas partes mais baixas e planas onde, normalmente, se concentram as cidades (AQUAFLUXUS, s/d; ARAÚJO, 2019). Dentre as abordagens que foram desenvolvidas para manejar as águas urbanas tentando reequilibrar o ciclo hidrológico com ambientes urbanos estão: Melhores Práticas de Gerenciamento (BMP – Best Management Practices) na Europa, Técnicas Compensatórias no Brasil, Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems) no Reino Unido, Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID – Low Impact Development) nos Estados Unidos e Canadá, Infraestrutura Verde (GI – Green Infrastructure) também nos Estados Unidos, Projetos Urbanos Sensíveis à Água (WSUD – Water Sensitive Urban Design) na Austrália e Desenvolvimento e Projeto Urbano de Baixo Impacto (LIUDD – Low Impact Urban Design and Development) na Nova Zelândia (AQUAFLUXUS, s/d; NETO et al., 2019; REZENDE, 2018).

Os conceitos de IV e LID também apresentam sobreposições em suas definições, o que gera discussões em torno de suas definições. Ambos são norteados por dois princípios: a mitigação das mudanças na hidrologia e a evolução para um regime de fluxo ideal, melhora na qualidade da água e a redução de poluentes (FLETCHER et al., 2014). De maneira esquemática podemos classificar os conceitos de acordo com a especificidade das soluções e a abrangência do foco principal de atuação (Figura 29). Vale ressaltar que essa classificação não é fixa e tais conceitos seguem evoluindo (FLETCHER et al., 2014; REZENDE, 2018).



**Figura 29** - Ilustração temática da abrangência dos conceitos de manejo das águas pluviais urbanas. (FLETCHER et al., 2014 - tradução da autora)

O Desenvolvimento de Baixo Impacto conhecido como LID (Low Impact Development) foi usado pela primeira vez em 1977 quando Barlow et al. apresentou no relatório de planejamento de uso do solo de Vermont nos EUA (FLETCHER et al., 2014). O LID, como uma técnica de Infraestrutura Verde, enfoca em criar uma paisagem multifuncional que através dos projetos de drenagem recuperem a capacidade de infiltração e armazenamento da bacia hidrológica natural, visando a redução dos custos do manejo das águas pluviais (AQUAFLUXUS, s/d; FLETCHER et al., 2014).

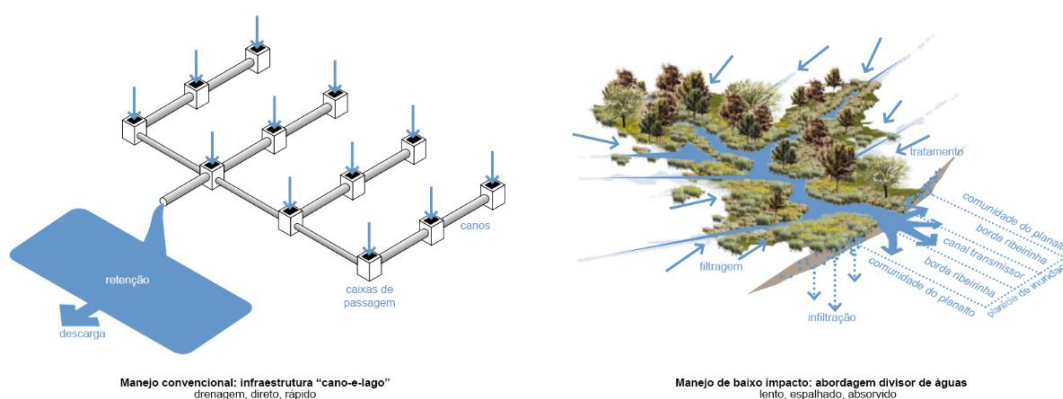
Segundo o manual publicado pela Universidade de Arkansas (2010), o LID apresenta técnicas de bioengenharia com a introdução de vegetação para recuperar o ciclo hidrológico pré-urbanização (ARAÚJO, 2019). Seu objetivo é reter parte das chuvas no local onde caem para aumentar o tempo de concentração das águas na bacia de forma a desafogar o sistema tradicional de drenagem. Elas acabam por reduzir a necessidade de grandes infraestruturas monofuncionais, como os “piscinões” que visam apenas deter o volume do escoamento superficial durante o pico da cheia. Além disso pretendem através dos projetos reduzir as áreas impermeáveis, controlar o volume, a frequência e a duração do escoamento para condições pré-urbanização, assim como aumentar a interceptação vegetal, impedir a transferência do escoamento a jusante e melhorar a qualidade das águas pluviais que serão escoadas para os corpos d’água (AQUAFLUXUS, s/d). As seguintes tipologias são abordadas e apresentadas como Infraestrutura Verde que adotam técnicas LID: reservatórios em lote, pavimentos permeáveis, paredes e tetos vegetados, jardins de chuva, canteiros pluviais, biovaletas, lagoas secas, lagoas pluviais, caixas de árvores filtrantes e tubulações superdimensionadas.

No Brasil, os conceitos mais amplamente utilizados foram o LID e as Técnicas Compensatórias a partir da publicação de Baptista, Nascimento e Barraud (2015). Em 2006, o Ministério da Cidade lançou o programa “Drenagem Urbana Sustentável” que promovia a articulação de políticas de desenvolvimento urbano voltadas para o uso e ocupação do solo, assim como para a gestão das bacias hidrográficas como a adoção de medidas estruturais e não estruturais para a recuperação das áreas úmidas, prevenção, controle e redução de enchentes urbanas e ribeirinhas. Tais ações seriam baseadas nas premissas do LID e nas Técnicas Compensatórias. Apesar deste movimento, o país ainda adota práticas higienistas para sanar os problemas de drenagem urbana. Somente a partir do século XXI, que há um aumento no diálogo em relação ao assunto da drenagem sustentável (NETO et al., 2019).

## 6. SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

As Soluções baseadas na Natureza focadas nas técnicas de baixo impacto visam a engenharia flexível (soft engineering), como apresenta Alencar (2019), que mimetizam a natureza trazendo soluções com funções ecossistêmicas e capazes de se adaptar às falhas do sistema convencional (HERZOG, 2013). Enquanto a infraestrutura cinza tradicional adota a engenharia rígida (hard engineering) que necessita de constante manutenção para seu funcionamento, concentrando a água escoada para um único ponto a jusante e se tornando pouco resiliente e provocando inundações na malha urbana (ALENCAR, 2019) (Figura 30).

Tais infraestruturas visam a flexibilização e descentralização do sistema rígido e centralizado existente, uma vez que distribui pela bacia hidrográfica, ao longo da cidade, diversos dispositivos que funcionam para reter, deter e acomodar o escoamento superficial, evitando que o sistema tradicional colapse (HERZOG, 2013; PELLEGRINO e MOURA, 2017).



**Figura 30** – Comparativo estrutural do sistema tradicional de drenagem e da técnica de baixo impacto. (traduzido pela Autora, retirado de UACDC, 2010)

### 6.1 Escala

A Infraestrutura Verde, conforme apresentado por Herzog (2013), além de multiescalar é interescalar que visa uma articulação entre as diferentes escalas permitindo um funcionamento dos dispositivos, reestruturando o fluxo genético, permitindo a circulação da fauna, recompondo a paisagem e reconectando espaços através da água e da biodiversidade. A integração de vários dispositivos em diferentes escalas permite um melhor fornecimento de benefícios socioecológicos que visam melhorias nos 06 sistemas defendidos por Herzog, que melhora o funcionamento da cidade e a qualidade de vida da população (BRANDÃO e CRESPO, 2016).

Diversas literaturas apontam diferentes formas de escala para um projeto paisagístico. Para Rouse e Bunster-Ossa (2013 apud PELLEGRINO e MOURA, 2017) existem 04 variações: regional, municipal, de vizinhança e de lote. Enquanto

que para o paisagista Kongjian Yu (PELLEGRINO e MOURA, 2017), as escalas variam da macro, meso e micro escala, sendo que dentro delas existem nuances.

A macroescala visa proteger e conservar as áreas verdes, planejar o crescimento urbano e dar forma a cidade. São espaços que visam a regulação de enchentes e corredores ecológicos, recreacionais e de valor histórico, como cinturões verdes (PELLEGRINO e MOURA, 2017). Na mesoescala, o projeto paisagístico deve estar atrelado a estrutura da cidade, promovendo áreas verdes urbanas com diversas funções de mobilidade, proteção do patrimônio histórico e recreação. Pode-se abranger desde projetos para cidade e bairro, como parques lineares, alagados construídos (*wetlands*) e ruas verdes (FIPT, 2020; PELLEGRINO e MOURA, 2017). A microescala é voltada para dispositivos práticos que são aplicados no lote, na rua e na quadra como jardim de chuva, canteiro pluvial, piso drenante, biovaleta, cisterna e teto verde (FIPT, 2020; PELLEGRINO e MOURA, 2017) (Figura 31).

**Figura 31** - Classificação de escala urbana da Infraestrutura Verde.



Fonte: elaborado pela Autora, adaptado de UACDC (2010); PELLEGRINO e MOURA (2017); SILVA (2017) – imagens retiradas de UACDC (2010, p.23)

## 6.2 Funções

A partir do manual “Low Impact Development – a design manual for urban areas” publicado pela Universidade do Arkansas (2010) e do guia “ABC Waters Design Guidelines” publicado pela Public Utilities Board (PUB) de Cingapura (2018), os dispositivos podem ser classificados com uma ou mais funções que visam reduzir a velocidade, espalhar, permitir a absorção das águas pluviais e

melhorar a dinâmica hídrica. São elas: controle de fluxo, detenção, retenção, filtração, infiltração, tratamento (Tabela 11).

**Tabela 11** – Classificação das funções dos dispositivos de Infraestrutura Verde.

FUNÇÕES	DISPOSITIVOS
 <p><b>CONTROLE DE FLUXO</b> Redireciona e transporta a água pluvial para os pontos baixos adequados. Regula a vazão do escoamento superficial.</p>	BIOVALETA
 <p><b>DETENÇÃO</b> Desacelera o fluxo da água pluvial, evitando a sobrecarga no sistema tradicional de drenagem. Reduz o escoamento superficial. Armazenamento temporário das águas pluviais em depressões topográficas para sua posterior descarga no sistema, reduzindo o pico de vazão.</p>	TETO VERDE JARDIM DE CHUVA CANTEIRO PLUVIAL BIOVALETA LAGOA SECA
 <p><b>RETENÇÃO</b> Armazenamento do escoamento superficial, possibilitando a sedimentação dos sólidos suspensos e redução do pico de vazão da chuva.</p>	CANTEIRO PLUVIAL LAGOA PLUVIAL
 <p><b>FILTRAÇÃO</b> Sequestro de resíduos e poluentes do escoamento superficial.</p>	TETO VERDE JARDIM DE CHUVA CANTEIRO PLUVIAL BIOVALETA LAGOA SECA LAGOA PLUVIAL
 <p><b>INFILTRAÇÃO</b> Processo da água pluvial de infiltrar no solo, permitindo a recarga do lençol freático e aquíferos.</p>	JARDIM DE CHUVA CANTEIRO PLUVIAL BIOVALETA LAGOA SECA
 <p><b>TRATAMENTO</b> Processo que permite a limpeza da água através da fitorremediação das plantas.</p>	TETO VERDE JARDIM DE CHUVA CANTEIRO PLUVIAL BIOVALETA LAGOA SECA LAGOA PLUVIAL

Fonte: elaborado pela Autora, adaptado de CINGAPURA (2018); UACDC (2010); VASCONCELLOS (2015) – ícones retirados de UACDC (2010)

### 6.3 Fitorremediação

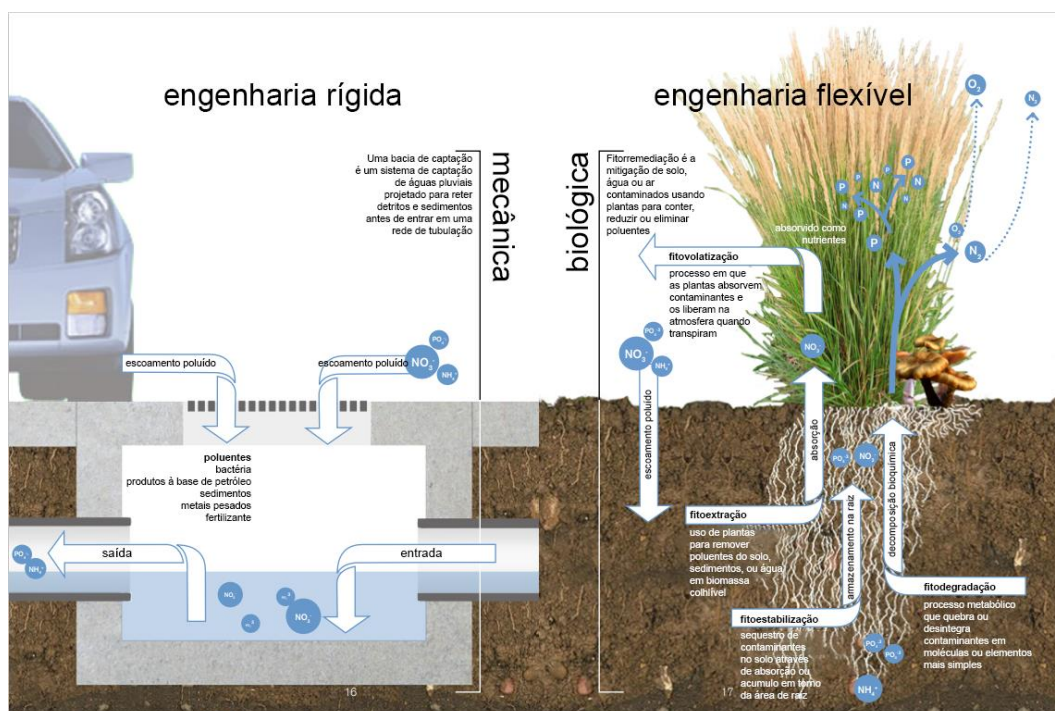
O papel da Infraestrutura Verde no plano urbano da cidade serve tanto para reduzir o escoamento superficial de águas pluviais, como para tratar essas águas que varrem a superfície da cidade carregando diversos poluentes como óleos e graxas. O tratamento só acontece devido a presença de espécies vegetais que através do processo conhecido como fitorremediação permite a filtragem, purificação e limpeza dessas águas. De acordo com Pinheiro (2017),



“Fitorremediação é o nome da tecnologia que utiliza os processos naturais das plantas e suas interações com a microbiota associada a rizosfera na despoluição dos ambientes. (...) Trata-se de uma tecnologia que pode ser aplicada in situ e que devido ao caráter estético positivo sobre a paisagem, pode ser integrada aos projetos paisagísticos.” (p.55)

Apesar de tal tecnologia estar sendo amplamente empregada em grandes dispositivos para o tratamento de poluentes orgânicos e inorgânicos principalmente voltado para efluentes domésticos e industriais, a Infraestrutura Verde na escala do lote e da quadra também apresenta resultados positivos de limpeza da água pluvial (ANDRADE et al., 2007). O estudo realizado por Moura apontou uma redução de aproximadamente 90% da poluição difusa do escoamento superficial em um jardim de chuva implantado na cidade de São Paulo, através da adoção de diferentes espécies arbustivas. (PELLEGRINO e MOURA, 2017).





As Infraestruturas Verdes, consideradas engenharias flexíveis, por adotarem o uso de vegetação implantadas na malha urbana como canteiros pluviais, jardins de chuva e lagoas pluviais favorecem a limpeza do escoamento superficial através dos processos de Fitoextração, Fitodegradação, Fitovolatilização, Fitoestimulação e Fitoestabilização. Diferentemente da infraestrutura rígida convencional de manejo das águas pluviais que apenas visa o rápido transporte das águas pluviais para longe e não contribui para a melhoria da qualidade da água (ANDRADE et al., 2007). Um comparativo é apresentado na figura a seguir.



**Figura 32** - Comparativo da dinâmica hídrica entre engenharia rígida e flexível. (UACDC, 2010 – traduzido pela autora)

Pinheiro (2017) apresenta uma seleção de espécies macrófitas nativas adequadas para dispositivos com água permanente como a Lagoa pluvial que tem grande potencial de fitorremediação. Além de sugerir espécies que suportam períodos de intensa umidade e períodos de seca para dispositivos como Jardim de chuva, Biovaleta, Canteiro pluvial e Lagoa Seca (Tabela 12).

**Tabela 12** - Espécies vegetais nativas.

ESPÉCIES VEGETAIS	
 <p><b>PLANTAS HERBÁCEAS</b>  <i>Wedelia paludosa</i> DC.  <i>Costus spiralis</i> (Jacq.) Roscoe  <i>Alternanthera brasiliana</i></p>	 <p><b>PLANTAS ARBUSTIVAS</b>  <i>Allamanda cathartica</i> L.  <i>Siparuna guianensis</i> Aubl.  <i>Genipa americana</i> L.</p>
 <p><b>PLANTAS MACRÓFITAS</b>  <i>Azolla</i> Lam.  <i>Salvinia minima</i> Baker  <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms  <i>Pistia stratiotes</i> L.  <i>Thypha domingensis</i> Pres.</p>	 <p><b>PLANTAS ARBÓREAS</b>  <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.  <i>Handroanthus ochraceus</i> (Chan.) Mattos  <i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.</p>

Fonte: elaborado pela Autora, baseado em PINHEIRO, 2017. (2022)

## 6.4 Tipologias

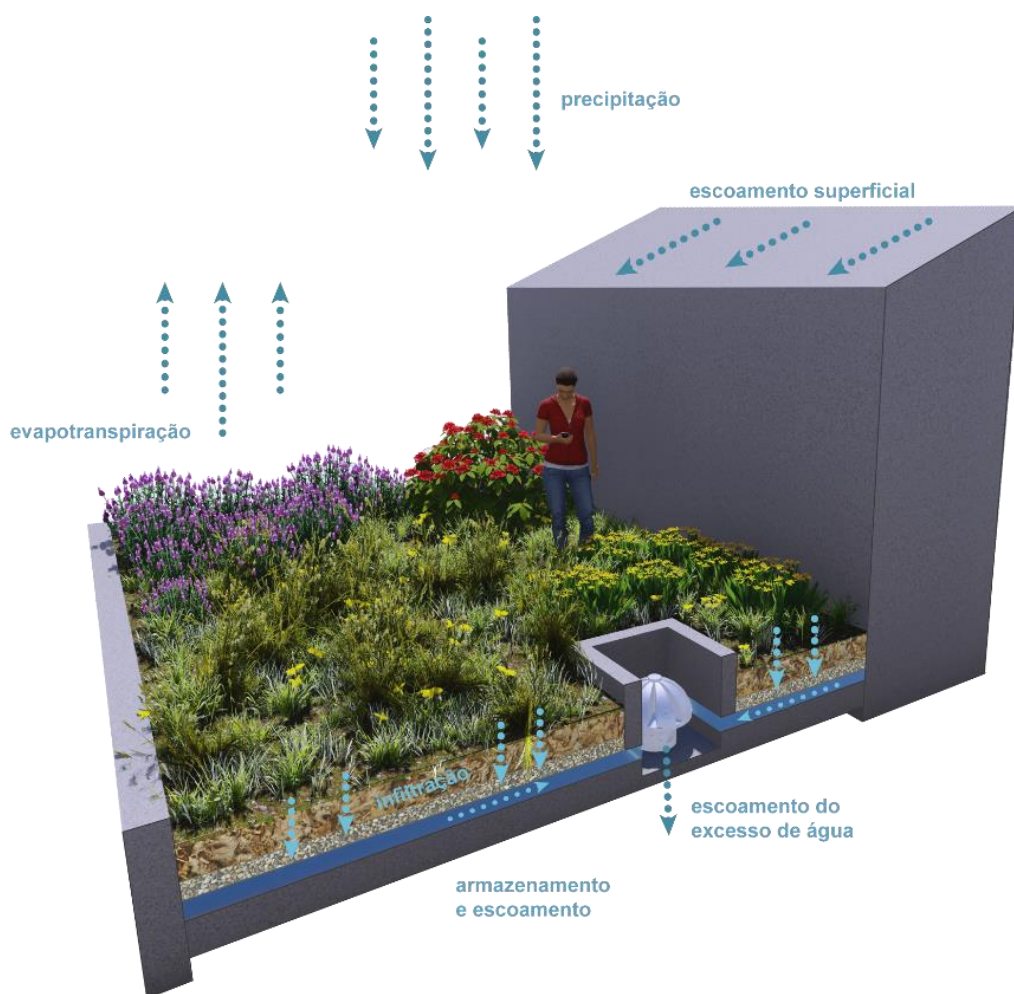
O trabalho irá conceituar os dispositivos de Soluções baseadas na Natureza que priorizam a biodiversidade na escala do lote - Teto verde, Jardim de chuva, Canteiro pluvial e Biovaleta - e na escala da quadra - Lagoa seca e Lagoa pluvial. Além de apresentar a dinâmica hídrica de cada estrutura, suas diretrizes para implantação, benefícios ecossistêmicos, limitações e estudos de caso. Para o pré-dimensionamento dos dispositivos voltados para a escala local, adota-se o Método das Chuvas que possui um cálculo para o armazenamento. Enquanto que para os dispositivos da escala da quadra que visam acumular um volume maior de água, optou-se pelo Método PULS Simplificado.

O que é apresentado abaixo não é uma regra, é importante fazer um levantamento, uma análise e um diagnóstico do local para definir as necessidades da região estudada e suas adaptações. A eficiência dos dispositivos pode ser comprometida por um projeto e execução inadequados como substratos argilosos que impedem a infiltração e a implantação em locais não adequados como vales de bacias, terrenos muito inclinados, etc. (PELLEGRINO e MOURA, 2017). Além disso, os cálculos apresentados no artigo são simplificados e servem apenas para uma noção numa etapa de estudo preliminar de projeto para noções de grandeza da dimensão dos dispositivos. É muito importante que para real dimensionamento e execução das infraestruturas é preciso um profissional ou técnico especializado.



### 6.4.1 Teto verde<sup>2</sup>

Os tetos verdes são considerados uma tecnologia que consiste em revestir a cobertura tradicional de uma edificação com vegetação plantada. Segundo Pellegrino e Moura (2017), os tetos verdes funcionam como uma esponja, evitando o pico de cheia, retardando a chegada da água da chuva no sistema de drenagem tradicional da cidade. Visam deter, filtrar, eventualmente, reter e tratar a água da chuva.



**Figura 33** – Dinâmica hídrica do Teto verde.

Pode ser classificado como extensivo ou intensivo. O teto verde extensivo consiste numa camada de substrato fino de até 15 cm, comportando plantas de pequeno porte como gramíneas. Este é implantado em telhados com declividade de 2° a 30°, demandando menor gasto de implantação, menos manutenção e irrigação. Normalmente esse tipo de estrutura não suporta a carga de usuários. Telhados com maiores inclinações é preciso assegurar que a vegetação e o substrato não escorreguem.

<sup>2</sup> As informações foram elaboradas pela autora baseado em:

ALENCAR, 2019; AQUAFLUXUS, s/d; BENINI, 2015; BRANDÃO e CRESPO, 2016; HERZOG, 2010; HERZOG, 2013; MIGUEZ et al., 2015; CORMIER e PELLEGRINO, 2008; PELLEGRINO e MOURA, 2017; SILVA, 2016; SILVA, 2017; TOMINAGA, 2013; UACDC, 2010; VASCONCELLOS, 2015.

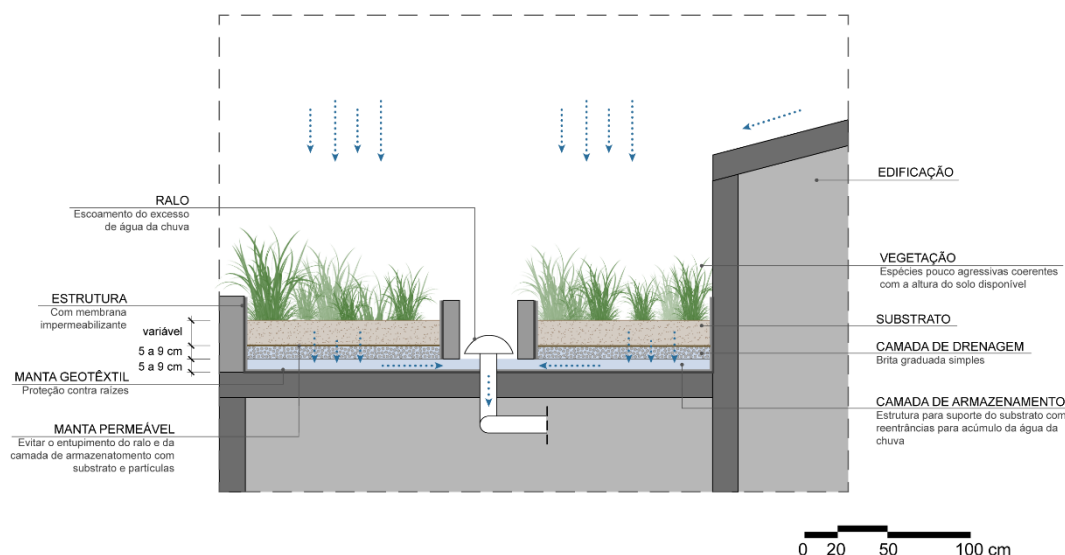
Já o teto verde intensivo consiste numa camada de substrato mais robusto, podendo variar de 15 cm a 200 cm, com solo de baixa densidade e alta porosidade, possibilitando maior biodiversidade de espécies vegetais. Neste caso, sua aplicação é, exclusivamente, em telhados planos possibilitando o uso recreativo, de contemplação e permanência de pessoas. Por possuir uma carga maior a ser suportada, exige mais manutenção, um maior custo de implantação e mais irrigação, dependendo das espécies plantadas. Pode-se deixar que o teto se auto regule de acordo com a estação e períodos de maior ou menor precipitação. Telhados com inclinação de até 5° podem ter a função de armazenamento de água.

Podem ser implementados em praticamente qualquer edificação sendo pública ou privada, desde que seu uso esteja adequado com a legislação local. A aplicação de um teto verde em edificações existentes necessita de uma avaliação técnica para calcular se a estrutura suporta o peso a ser inserido com substrato, água a ser armazenada e espécies vegetais. Além disso, é preciso assegurar a impermeabilização da estrutura a fim de evitar infiltrações e problemas futuros na integridade da edificação. Por isso, costuma ter um custo de implantação duas vezes maior que de um telhado tradicional e necessita mão de obra especializada. Porém, o tempo de vida de um telhado verde tende a ser duas vezes maior que de um telhado tradicional, desde que possuam a manutenção adequada regularmente. O projeto de um teto verde varia de uma localidade para outra devido a fatores externos como regimes pluviométricos, clima, espécies plantadas e disponibilidade financeira.


### **Orientações para implantação**

Normalmente, o teto verde é composto por uma membrana sintética impermeável para proteger a estrutura da edificação de infiltrações e uma manta geotêxtil para evitar que as raízes das plantas provoquem danos à estrutura. Além disso, possui uma camada de drenagem que varia de 5 a 9 cm, de brita graduada simples permitindo o preenchimento dos poros com água da chuva. Aplica-se uma manta permeável de fibra de coco, por exemplo, acima da camada de drenagem para reter pequenas partículas e sedimentos que possam entupir o ralo ou reduzir o espaço de acomodação da água (Figura 34).

O substrato varia de altura dependendo do tipo de teto verde. Precisa ser poroso e leve, logo sua composição é de compostos orgânicos e areia. A vegetação precisa ter raízes pouco agressivas e coerentes com a altura do solo disponível. Eventualmente, pode-se ter um reservatório para armazenamento da água abaixo da camada drenante para o acúmulo de um maior volume de água e um ralo para escoamento do excesso de água pluvial.



**Figura 34** - Implantação do Teto verde (elaborado pela Autora, adaptado de TOMINAGA, 2013)

 <b>BENEFÍCIOS</b>	 <b>LIMITAÇÕES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detém a água da chuva por um período de tempo, reduzindo o pico da cheia,</li> <li>- Filtra os resíduos da água da chuva,</li> <li>- Trata de 60 a 100% da água da chuva,</li> <li>- Reuso da água para limpeza de calçadas, veículos e irrigação de plantas,</li> <li>- Redução do escoamento superficial, através da evaporação, evapotranspiração e retenção,</li> <li>- Redução da ilha de calor,</li> <li>- Regulação da temperatura interna das edificações,</li> <li>- Redução do consumo energético das edificações,</li> <li>- Redução de ruídos dentro das edificações,</li> <li>- Melhoria da qualidade do ar e da água,</li> <li>- Aumento da Biodiversidade,</li> <li>- Habitats para fauna e flora,</li> <li>- Conexão entre fragmentos verdes,</li> <li>- Stepping stones para a fauna, como pontos de descanso e abrigo,</li> <li>- Educação Ambiental,</li> <li>- Lazer,</li> <li>- Local de encontro,</li> <li>- Produção de alimento (Horta e Agricultura Urbana),</li> <li>- Embelezamento estético,</li> <li>- Captura de carbono,</li> <li>- Aumenta o número de áreas verdes na cidade,</li> <li>- Possibilidade de aplicação em edificações existentes, desde que sejam avaliadas as condições estruturais e de impermeabilização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algumas edificações não suportam o peso, é preciso fazer uma verificação estrutural para viabilidade das edificações existentes para implantação,</li> <li>- Dificuldade de aplicação em telhados com alta declividade,</li> <li>- Podem ser aplicados em telhados e lajes com inclinação de até 30°,</li> <li>- Alto custo de manutenção comparado a telhados tradicionais,</li> <li>- Baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas,</li> <li>- Volume armazenado é limitado pela área do telhado.</li> </ul>

**Figura 35** - Comparativo de benefícios e limitações do Teto verde.

## Estudo de caso

No Brasil um projeto que merece destaque é o trabalho de Bruno Rezende Silva (2016) que a partir de uma nova técnica de cultivo de sem substrato com base na implantação de espécies litófitas e epífitas que possuem um enraizamento superficial sobre rochas e cascas de árvores. O projeto foi implantado em janeiro de 2013 no telhado de uma casa residencial em Niterói, no Rio de Janeiro, com uma cobertura de 235 m<sup>2</sup> em 02 planos inclinados em 10%.

Silva (2016) plantou 230 espécies vasculares nativas e exóticas em uma pequena camada de solo superficial da floresta próxima para viabilizar a criação de um ecossistema de fungos, bactérias e outros microorganismos para facilitar o enraizamento das plantas. O telhado, considerado um teto verde semi-intensivo, levou 2 anos para ter toda sua cobertura recoberta com um total de 218 espécies vegetais nativas e exóticas adaptadas ao clima tropical (SILVA, 2016) (Figura 36).

Além de apresentar um custo de implantação menor que os projetos de teto verde convencionais por ter um sistema estrutural mais simples, apenas com a manta geotêxtil que protege a estrutura que qualquer dano, a membrana impermeável que evita infiltração na laje e a manta geotêxtil drenante onde ocorreu o enraizamento das espécies. O que é vantajoso para projetos em edifícios existentes uma vez que são mais leves. Apesar de possuir um sistema de irrigação, o telhado como este sistema apresentou um menor custo de implantação, de R\$ 66,87/m<sup>2</sup>, que tetos verdes convencionais, de R\$ 147,49/m<sup>2</sup> (SILVA, 2016).



**Figura 36** - Composição de fotos - Evolução do telhado verde: 01 - Março de 2013; 02 - Outubro de 2013; 03 - Março de 2016 (elaborado pela Autora, adaptado de SILVA, 2016)

#### 6.4.2 Jardim de chuva<sup>3</sup>

O jardim de chuva é considerado uma depressão topográfica vegetada cuja principal função é a infiltração da água da chuva. Além disso, possibilita a detenção, filtração e tratamento da água e do escoamento superficial do entorno. Também é conhecido como pequena bacia biorretentora, bacia de infiltração ou rain garden. A água, no jardim de chuva, pode ser retida temporariamente nas camadas drenantes, absorvida pela vegetação, infiltrada no solo e voltar para o sistema de drenagem tradicional. Apresenta um extravasor para evitar o transbordamento de água no entorno ou evitar danos à vegetação. É de fácil integração com o sistema de drenagem urbano e funciona bem implantado em estacionamentos e em áreas urbanas, normalmente dentro de lotes privados e espaços públicos como praças.

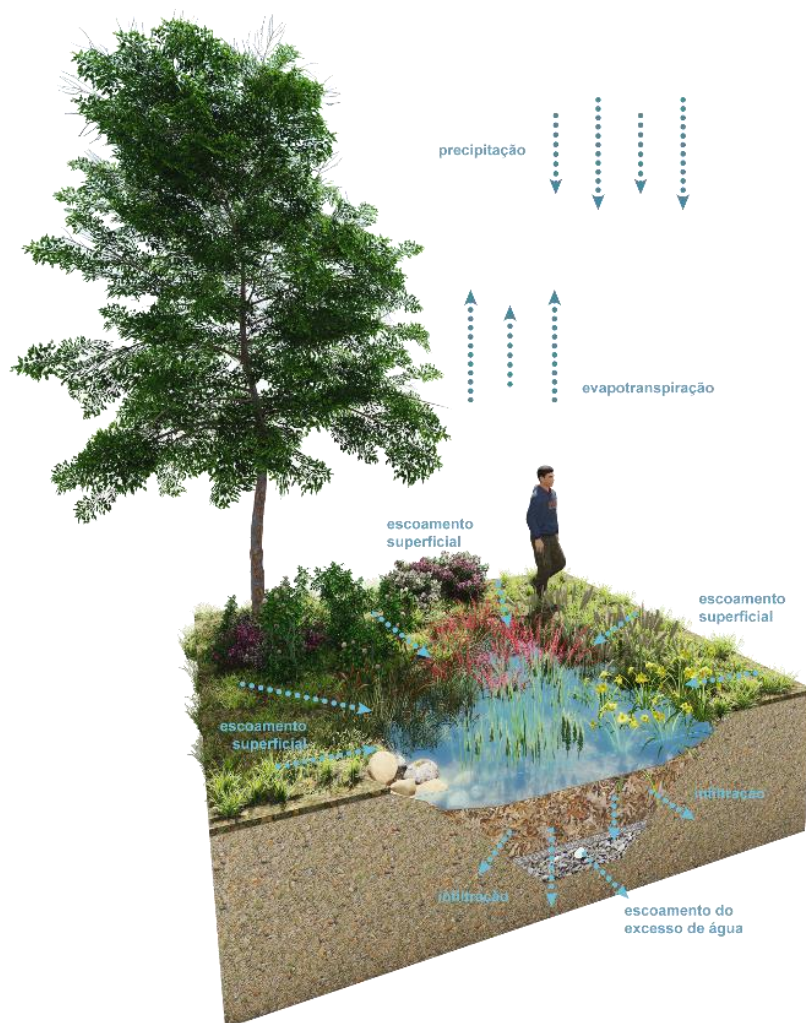
O solo precisa ser poroso para que funcione como uma esponja, acumulando água entre seus poros, enquanto que as bactérias e microrganismos, juntamente com a vegetação, filtram e removem os poluentes difusos do escoamento superficial através da fitorremediação. Segundo Pinheiro (2021), um estudo realizado em Seattle apontou que um jardim de chuva residencial com

<sup>3</sup> As informações foram elaboradas pela autora baseado em:

ALENCAR, 2019; BENINI, 2015; BRANDÃO e CRESPO, 2016; CARDIM PAISAGISMO, s/d; FLUXUS, s/d; HERZOG, 2010; HERZOG, 2013; MOURA, 2013; CORMIER e PELLEGRINO, 2008; PELLEGRINO e MOURA, 2017; PEREIRA et al., 2021; PINHEIRO, 2021; TOMINAGA, 2013; UACDC, 2010; VASCONCELLOS, 2015.



aproximadamente 10m<sup>2</sup> pode tratar até 113 mil litros de água por ano, provenientes de uma área de contribuição de até 12 mil m<sup>2</sup>. A vegetação serve para embelezar e reter poluentes, além de ajudar a manter a porosidade do solo através de suas raízes.



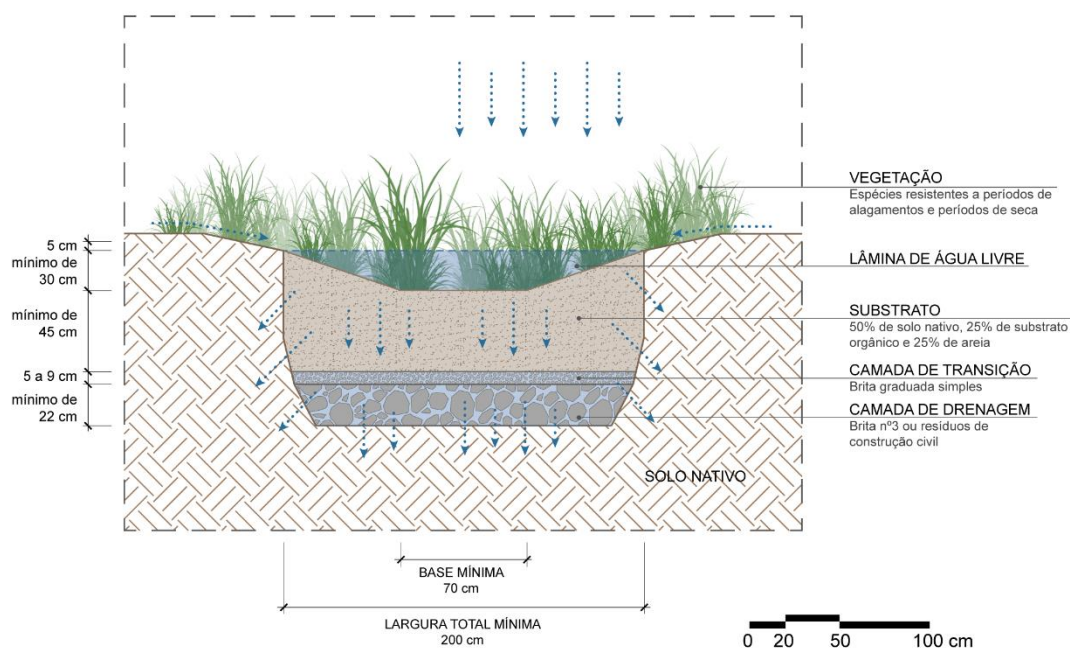
**Figura 37** - Dinâmica hídrica do Jardim de chuva.

### Orientações para implantação

Sua implantação é indicada para receber até 10% do escoamento da área de contribuição escolhida. Com base no manual de Portland, apontado por Pinheiro (2021), sua aplicação é recomendada em áreas com declividade de até 10%, em locais naturalmente rebaixados que facilitem o empoçamento da água onde tenha a facilidade de infiltração. A água não pode permanecer mais de 48 horas parada, com risco de proliferação de vetores de doenças. A largura mínima da base é de 0,7 m e o espaço mínimo para acomodação de água deve ser de 0,3 m de altura. A inclinação máxima dos taludes deve seguir a proporção 3:1. Precisa ter um distanciamento mínimo de 3 m das fundações, a fim de evitar danos às estruturas, assim como de tanques de óleos devido a contaminação da água. Deve-se também evitar a implantação sobre linhas de água, gás, eletricidade e esgoto.



O substrato deve ser composto de 50% de solo nativo, 25% de substrato orgânico e 25% de areia, com no mínimo 0,45 m de altura. Recomenda-se uma camada drenante, com o mínimo de 0,22 m, de pedras de grande granulometria, como brita nº 3, para aumentar a capacidade de retenção. Além disso, pode-se adotar uma camada para filtragem intermediária para aumentar a permeabilidade, de 5 a 9 cm, com pedras de menor granulometria, como a brita graduada simples. Atualmente, utiliza-se resíduos de construção civil nas camadas de drenagem e filtragem, uma vez que atendem a granulometria recomendada. É indicado o uso de uma camada de matéria orgânica seca - serapilheira - de 5cm, para evitar erosão do solo. Nos pontos de entrada, é ideal o uso de pedras para reduzir a velocidade de entrada das águas e evitar erosão do solo e destruição da vegetação.

Por ser um dispositivo mais natural não é necessário o uso de tubo perfurado na base do leito nem de extravasor. Porém no caso de jardins de chuva implantados em centros urbanos é recomendado o uso de um extravasor para eventual transbordamento em chuvas mais intensas, direcionando a água para um coletor do sistema de drenagem urbano ou um corpo hídrico sem causar transtornos para as construções próximas. Além do uso de um cano perfurado na base do leito para direcionar o excesso de água para o sistema de drenagem.



**Figura 38** - Implantação jardim de chuva.

A vegetação deve ser composta com mais de uma espécie vegetal para promover a biodiversidade. Espécies nativas locais rasteiras, herbáceas, arbustivas e até arbóreas dependendo do tamanho do jardim de chuva, que suportem a velocidade e o volume do escoamento. Além de serem adaptadas a períodos de extrema umidade e seca e possuam raízes profundas, fibrosas e espessas com alta produção de biomassa que capturam os poluentes orgânicos do escoamento superficial. Espécies herbáceas rizomatosas e suculentas são as mais indicadas.

 <b>BENEFÍCIOS</b>	 <b>LIMITAÇÕES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detém a água da chuva e o escoamento superficial,</li> <li>- Possibilita a infiltração da água no solo,</li> <li>- Filtra os resíduos da água da chuva,</li> <li>- Trata a poluição difusa da água,</li> <li>- Redução da ilha de calor,</li> <li>- Redução da velocidade e do volume do escoamento superficial, através da evaporação, evapotranspiração e retenção,</li> <li>- Designs variados e grande adaptabilidade de diferentes contextos,</li> <li>- Promove sombra e umidade ao solo,</li> <li>- Regula o microclima local,</li> <li>- Permite a recarga do lençol freático,</li> <li>- Aumento da Biodiversidade,</li> <li>- Melhoria da qualidade do ar e da água,</li> <li>- Habitats para fauna e flora,</li> <li>- Conexão entre fragmentos verdes,</li> <li>- Stepping stones para a fauna, como pontos de descanso e abrigo,</li> <li>- Educação Ambiental,</li> <li>- Embelezamento estético,</li> <li>- Captura de carbono,</li> <li>- Aumenta o número de áreas verdes na cidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não podem ser construídos próximos a fundações e estruturas,</li> <li>- Não podem ser implantados em declives,</li> <li>- Possui custo de construção maior que outros dispositivos,</li> <li>- A água não pode ficar detida por mais de 48 horas após o evento da precipitação,</li> <li>- A área de contribuição não pode ser maior que 2ha, uma vez que o solo pode colmatar,</li> <li>- Caso o escoamento carregue muitos sedimentos, o solo pode colmatar. Nesse caso recomenda-se um pré-tratamento (bacia de sedimentação) do escoamento antes da água adentrar o canteiro,</li> <li>- Deve-se atentar a taxa de infiltração do solo.</li> </ul>

**Figura 39** - Comparativo de benefícios e limitações do Jardim de chuva.

### Estudo de caso

O Largo das Araucárias localizado a 50 metros do Largo da Batata no bairro de Pinheiros em São Paulo originalmente era um posto de gasolina. Depois que o posto foi desativado e o terreno ficou ocioso, agentes locais e ONGs propuseram a Prefeitura da cidade de São Paulo de recuperar o espaço. Após a remoção dos tanques de combustíveis e a limpeza do entulho presente no terreno e a descompactação do solo, foi possível a implantação dos jardins de chuva. A partir de recursos privados, em 2017, deu início a construção da praça de 600 m<sup>2</sup> com 02 jardins de chuva. Recebem água pluvial das vias urbanas do entorno, conectados por tubos da sarjeta até o jardim, captando água de uma área de 900 m<sup>2</sup>. Estima-se que os jardins de 200 m<sup>2</sup> possuem uma capacidade de reter, tratar e infiltrar 871m<sup>3</sup> de água da chuva anualmente. O plantio foi realizado a partir de mutirões de voluntários com espécies nativas da Mata Atlântica e do Cerrado paulista (CARDIM Paisagismo, s/d; FLUXUS, s/d) (Figura 40).





**Figura 40** - Composição de fotos - Processo de construção do Largo das Araucárias. (Fotos 01 e 02: CARDIM Paisagismo. (s/d); Fotos 03, 04 e 05: FLUXUS. (s/d); Foto 06: Autora. 2019)

### 6.4.3 Canteiro pluvial<sup>4</sup>

O canteiro pluvial é considerado um jardim de chuva compacto para pequenos espaços urbanos. É uma área de depressão com vegetação, substrato e camada drenante cuja principal função é deter o escoamento superficial de calçadas, ruas e edificações. Além disso, permite filtrar, infiltrar (em alguns casos) e tratar a água da chuva e do escoamento. Podem ser conhecidos também como curb extensions ou planter box.

Em um canteiro pluvial, parte da água é temporariamente detida entre os poros do material drenante, parte a vegetação absorve, parte é infiltrada lentamente no solo até o lençol freático e parte é devolvida para o sistema de drenagem tradicional através de um tubo perfurado na base do leito. É aplicado em calçadas, canteiros centrais e qualquer espaço que tenha limitação de tamanho que não comporte um jardim de chuva ou uma biovaleta.

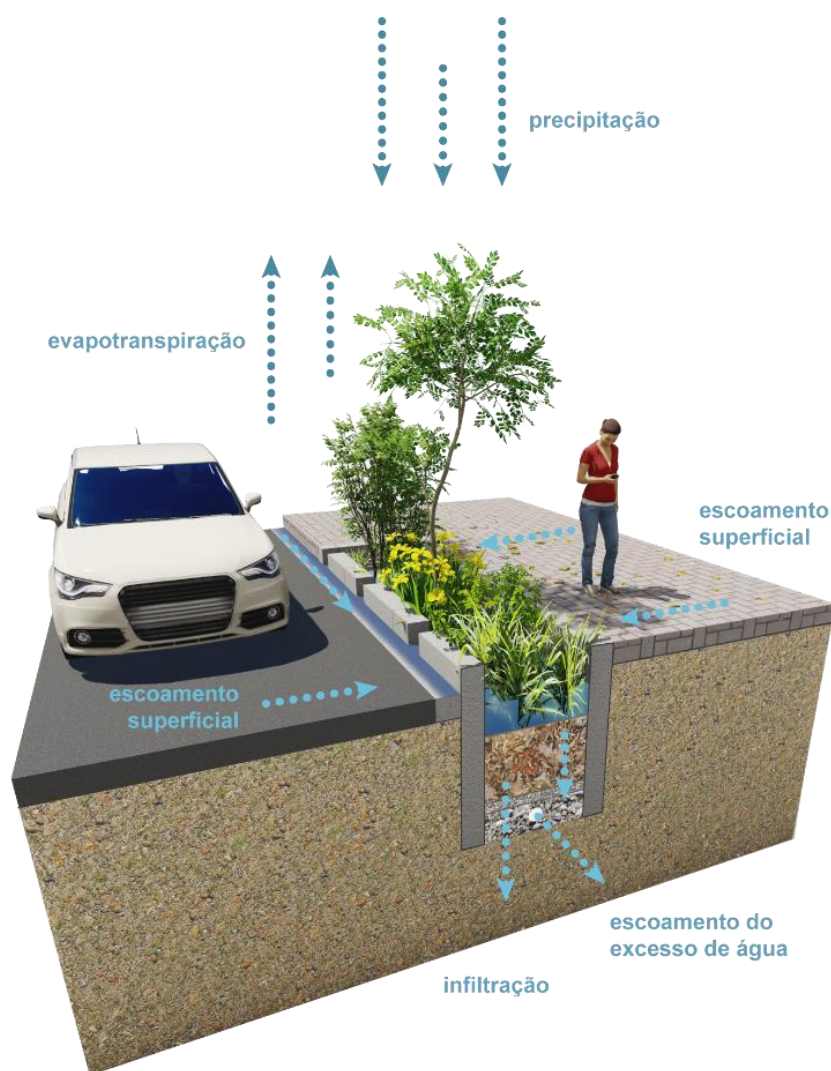
Podem ser classificados com infiltração e sem infiltração dependendo do local de sua implantação. Os canteiros sem infiltração são implantados quando o tipo de solo é pouco permeável, a taxa de infiltração é baixa, há proximidade com fundações e demais estruturas, o terreno possui alta declividade e/ou há proximidade com o lençol freático.

Ele pode possuir um ou mais pontos de entrada da água que podem ser rasgos no meio fio ou a ausência de mureta entre o canteiro e a calçada. Seu ponto de saída também pode ser rasgos no meio fio direcionando o excedente de volta para a sarjeta, para uma tubulação que conecte com outros dispositivos ou para o sistema de drenagem tradicional existente.

<sup>4</sup> As informações foram elaboradas pela autora baseado em:

BENINI, 2015; HERZOG, 2013; MOURA, 2013; OICS, s/d; CORMIER e PELLEGRINO, 2008; PELLEGRINO e MOURA, 2017; PEREIRA et al., 2021; PINHEIRO, 2021; UACDC, 2010; VASCONCELLOS, 2015.





**Figura 41** - Dinâmica hídrica do canteiro pluvial.

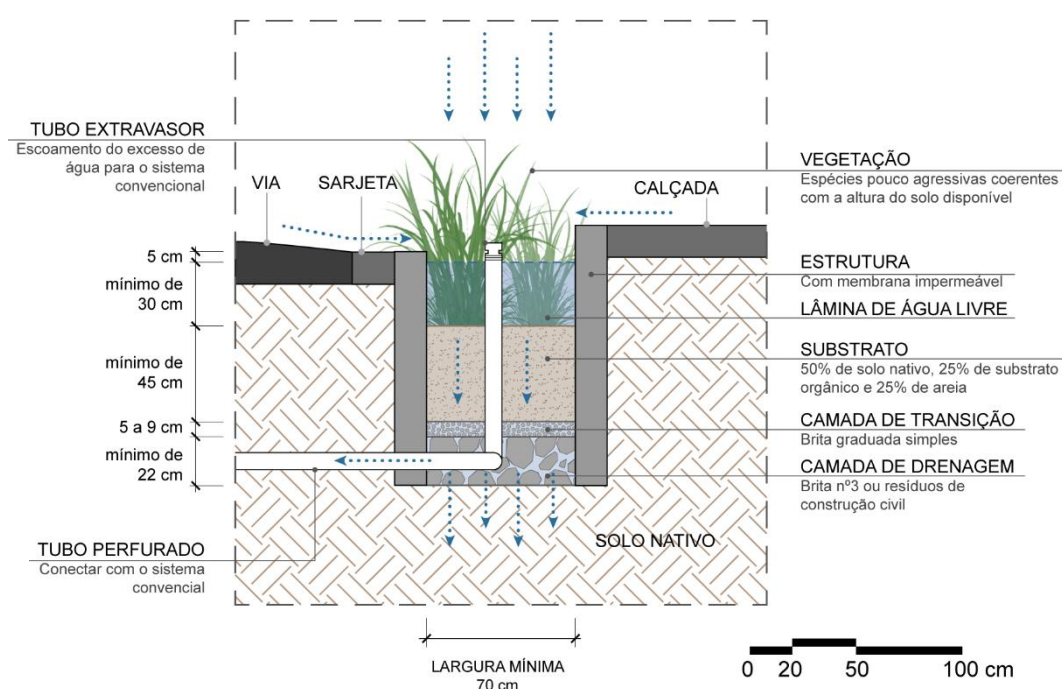
### Orientações para implantação

Segundo o Manual de Portland (PINHEIRO, 2021), a taxa de infiltração do solo irá determinar a abordagem do tipo de projeto (com ou sem infiltração). Recomenda-se que em solos com taxa de infiltração maior ou igual a 5 cm/h, opte-se por canteiros com infiltração. Enquanto que para taxas inferiores a 5 cm/h, adota-se canteiros sem infiltração. Além disso, os canteiros pluviais com infiltração devem ter sua camada de drenagem a 2 m de distância do nível d'água subterrâneo e estar a uma distância de 3 m das fundações e demais estruturas. O dispositivo sem infiltração, próximo a fundações e demais estruturas, deve ser impermeabilizado. No caso de um solo pouco infiltrante é ideal a adoção de um dreno para ajudar no escoamento da água, uma vez que esta não pode permanecer mais de 72 horas parada, com risco de proliferação de vetores de doenças.

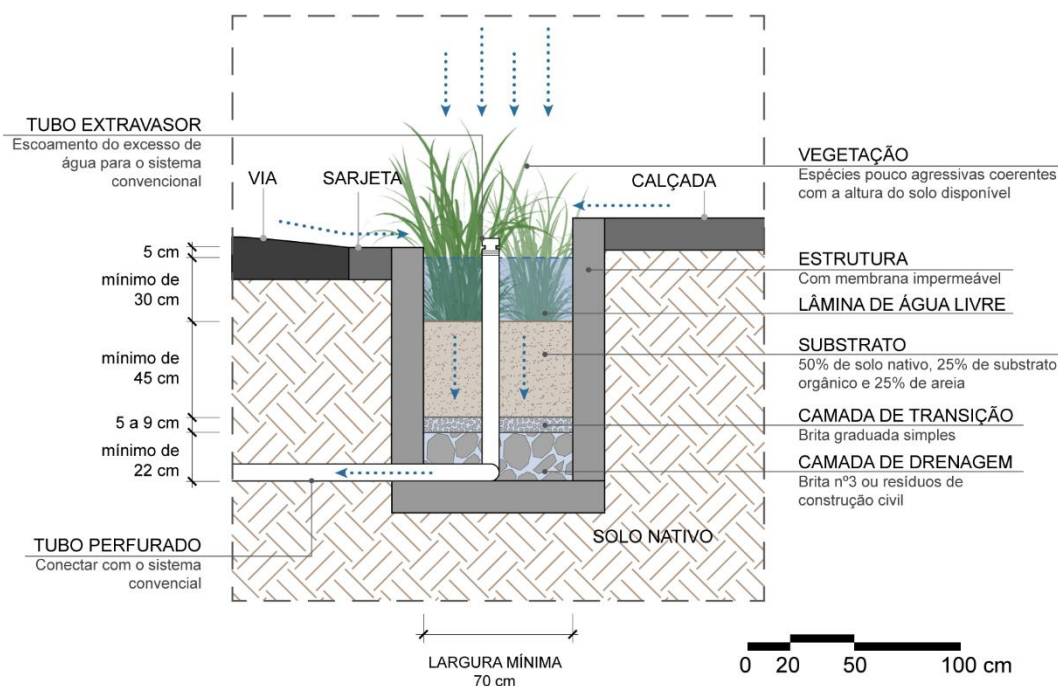
A largura mínima do dispositivo é de 0,70 m e o espaço livre para a lâmina d'água é de 0,30 m de altura. Manter um mínimo de 0,05 m de borda livre entre a linha d'água e a sarjeta da rua para o extravasor. O declive interno do substrato

não pode ser maior que 0,5% em qualquer direção. O substrato deve ter no mínimo 0,45 m de altura, composto de 50% de solo nativo, 25% de substrato orgânico e 25% de areia. A camada de drenagem deve ser composta de brita nº 3 com uma altura mínima de 0,22 m. Para a camada de transição, com 5 a 9 cm de altura, composta de brita graduada simples.

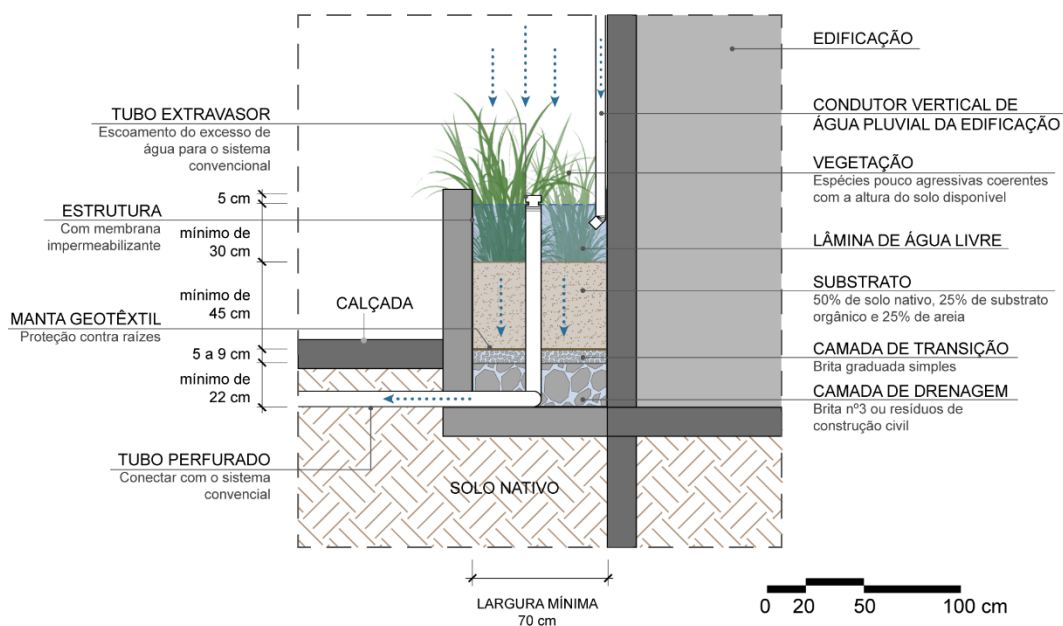
Na entrada do sistema, recomenda-se o uso de pedras para criar o splash block, para retardar a velocidade da água que entra no sistema, evitando a suspensão do substrato e danos no jardim. É preciso um extravasor e um tubo perfurado na base do leito para evitar o transbordamento do dispositivo e direcionar o excesso de água para outro canteiro pluvial ou de volta para o sistema de drenagem urbana. Para os dispositivos sem infiltração, é preciso o uso de uma membrana impermeável na estrutura para evitar infiltrações no canteiro. Além de uma manta geotêxtil para evitar que as raízes das plantas provoquem danos à estrutura.



**Figura 42** - Implantação do canteiro pluvial viário com infiltração (elaborado pela Autora, adaptado de PINHEIRO, 2021)



**Figura 43** - Implantação do canteiro pluvial viário sem infiltração (elaborado pela Autora, adaptado de PINHEIRO, 2021)



**Figura 44** - Implantação do canteiro pluvial predial sem infiltração (elaborado pela Autora, adaptado de PINHEIRO, 2021)

É recomendado que sejam adotadas mais de uma espécie vegetal para promover a biodiversidade. Espécies nativas locais rasteiras, herbáceas e pequenos arbustos, que suportem a velocidade e o volume do escoamento. Deve-se escolher uma vegetação com raízes que ajudem a capturar os poluentes do escoamento superficial. Além de serem adaptadas a períodos de extrema umidade e seca. Espécies herbáceas rizomatosas e suculentas são as mais indicadas.

 <b>BENEFÍCIOS</b>	 <b>LIMITAÇÕES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detém e retém a água da chuva e o escoamento superficial por um período de tempo, reduzindo o pico da cheia,</li> <li>- Filtra os resíduos da água da chuva,</li> <li>- Trata a poluição difusa da água,</li> <li>- Possibilita a infiltração da água no solo, quando houver,</li> <li>- Redução da ilha de calor,</li> <li>- Redução do escoamento superficial, através da evaporação, evapotranspiração e retenção,</li> <li>- Designs variados e grande adaptabilidade de diferentes contextos,</li> <li>- Podem ser construídos próximos a fundações e estruturas desde que sejam canteiros sem infiltração,</li> <li>- Podem ser implantados em declives,</li> <li>- Aumento da Biodiversidade,</li> <li>- Melhoria da qualidade do ar e da água,</li> <li>- Habitats para fauna e flora,</li> <li>- Conexão entre fragmentos verdes,</li> <li>- Stepping stones para a fauna, como pontos de descanso e abrigo,</li> <li>- Educação Ambiental,</li> <li>- Embelezamento estético,</li> <li>- Captura de carbono,</li> <li>- Aumenta o número de áreas verdes na cidade,</li> <li>- Proporciona uma proteção do pedestre na calçada com a via.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A água não pode ficar retida por mais de 48 horas,</li> <li>- O canteiro não pode ter uma declividade maior que 0,5% de inclinação, prejudicando o funcionamento do dispositivo de retenção, filtração e infiltração da água.</li> <li>- Caso o escoamento carregue muitos sedimentos, o solo pode colmatar. Nesse caso recomenda-se um pré-tratamento do escoamento antes da água adentrar o canteiro,</li> <li>- Risco de contaminar o lençol freático,</li> <li>- Não é indicado para implantação em vales de rios, várzeas,</li> <li>- Requer manutenção para limpeza de ocasionais resíduos, lixos,</li> <li>- Acompanhamento regular para manter o funcionamento canteiro, infiltração do solo,</li> <li>- Para canteiros pluviais sem infiltração, deve-se verificar os requisitos estruturais das fundações para a impermeabilização.</li> </ul>

**Figura 45** - Comparativo de benefícios e limitações do Canteiro pluvial.

## Estudo de caso

Os canteiros pluviais da Rua das Fiandeiras no Itaim Bibi em São Paulo foram uma das primeiras Infraestruturas Verde implantadas no Brasil em 2018. A partir da iniciativa dos moradores em conjunto com a construtora dos prédios da rua e com o idealizador do projeto Novas Árvores por Aí, paisagista Nik Sabey, foi desenvolvido um projeto de 08 canteiros pluviais. O projeto foi realizado em parceria com o botânico Ricardo Cardim e Sérgio Reis (OICS, s/d).

Até o momento, em 2022, foram feitos 03 canteiros sendo que o último custou aproximadamente R\$ 6.000,00 foi bancado por um dos edifícios da rua. A rua possui um pequeno declive que ajuda o escoamento das águas pluviais. Apesar das calçadas estreitas, o projeto foi pensado de forma a ocupar algumas vagas da rua, remover o asfalto, rebaixar o nível do solo e plantar espécies nativas permitindo um acúmulo de parte do escoamento superficial (OICS, s/d) (Figura 46).





**Figura 46** - Composição de fotos dos canteiros pluviais da Rua das Fiandeiras - Fotos 01 e 02: Construção do canteiro pluvial na Rua das Fiandeiras em 2018. Fotos 03, 04 e 05: Canteiro pluvial em 2019 (Fotos 01 e 02: Novas Árvores por Ai - Nik Sabey Instagram. (2018); Fotos 03, 04 e 05: Autora, 2019)

#### 6.4.4 Biovaleta<sup>5</sup>

Pode ser conhecida como vala ou valeta vegetada, trincheira verde, vala biorretentora ou bioswale. A biovaleta é uma depressão topográfica linear de seção trapezoidal com vegetação, substrato e demais elementos filtrantes cuja principal função é direcionar e tratar a água da chuva e o escoamento superficial para fora da malha urbana evitando alagamentos nas vias urbanas. Além de possibilitar a filtração e a infiltração, permite a sedimentação de poluentes difusos das águas do entorno. Debusk e Wynn (2011 apud PELLEGRINO e MOURA, 2017) constataram, a partir de estudos, que as biovaletas implantadas em estacionamentos reduziram em 97 a 99% do escoamento superficial e reduziram em 99% a massa de sedimentos, nitrogênio e fósforos totais.

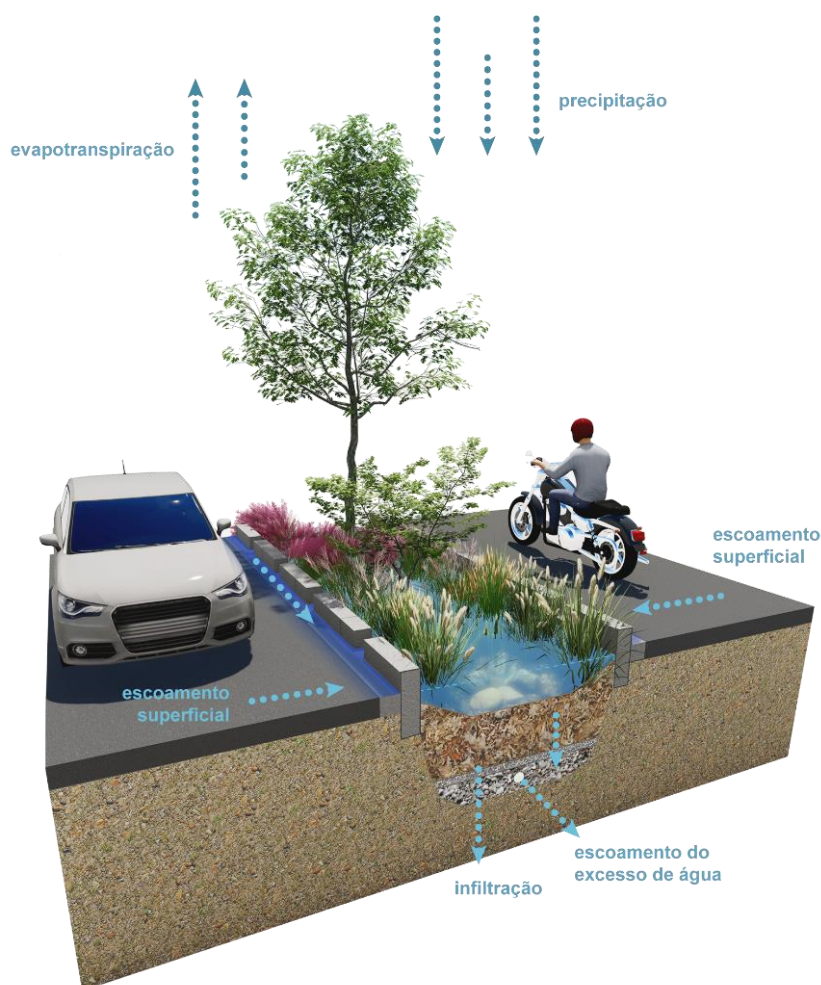
Costumam ser implantadas ao longo de vias e estacionamentos, locais altamente impermeáveis, direcionando a água da chuva contaminada por resíduos de óleos, borracha de pneus, partículas de poluição e outros detritos para pontos mais baixos retardando a velocidade do escoamento superficial e transportando a água pluvial para outros dispositivos de Infraestrutura Verde adequados para sua retenção.

A água coletada pode ser infiltrada no solo ou nos tubos perfurados na base do leito até os corpos hídricos a jusante. Eventualmente, quando o volume de água supera a capacidade de infiltração, a biovaleta pode servir como um reservatório de detenção. Ela pode ter mecanismos para direcionar e reduzir o fluxo da água, como barreiras com recortes ou pedras. Em locais íngremes podem

<sup>5</sup> As informações foram elaboradas pela autora baseado em:

ALENCAR, 2019; AQUAFLUXUS, s/d; BAPTISTA et al., 2015; BENINI, 2015; BRANDÃO e CRESPO, 2016; HERZOG, 2013; MIGUEZ, et al., 2015; MOURA, 2013; PELLEGRINO e MOURA, 2017; PEREIRA et al., 2021; PINHEIRO, 2021; SPU, s/d; TOMINAGA, 2013; UACDC, 2010; VASCONCELLOS, 2015.

ser implantadas através do uso de células escalonadas, configurando uma escala hidráulica que ajuda a dissipar a energia da água.



**Figura 47** - Dinâmica hídrica do biovaleta.

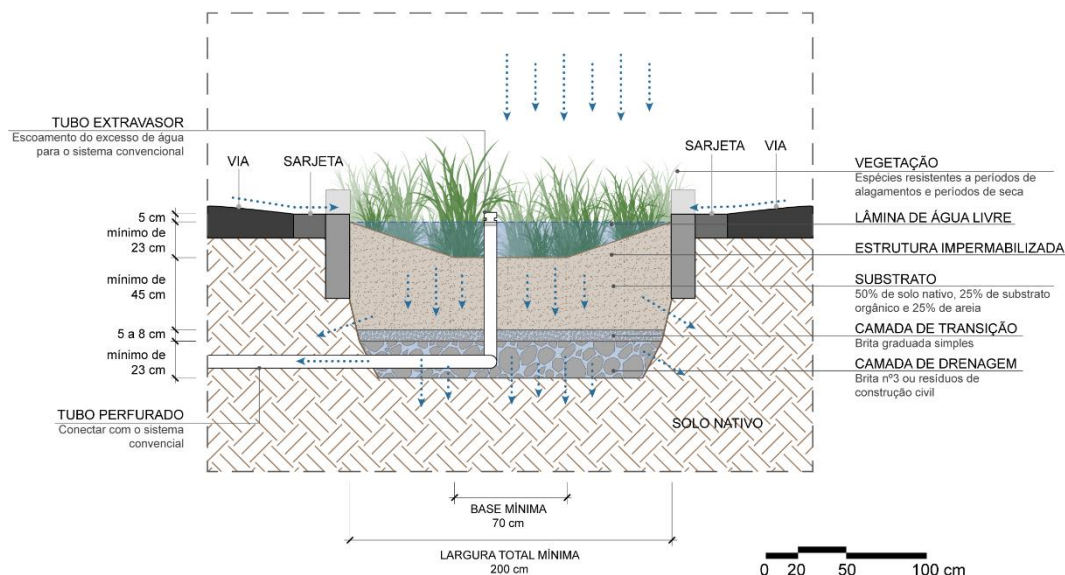
### Orientações para implantação

Segundo o Manual de Portland (PINHEIRO, 2021), a largura total mínima recomendada é de 2 m, sendo que de base, a largura mínima é de 0,7 m, seguindo a proporção máxima dos taludes laterais de 3:1. Recomenda-se que a camada de drenagem de maior granulometria seja brita nº 3, com no mínimo 0,23 m de altura. A camada de transição entre a camada drenante e o substrato deve ser brita graduada simples ou pedrisco de menor granulometria com 5 a 8 cm de altura. Já o substrato é ideal que tenha 0,45 m de altura sendo uma mistura de 50% de solo nativo, 25% de substrato orgânico e 25% de areia. A lâmina livre para acomodação da água é de no mínimo 0,23 m.

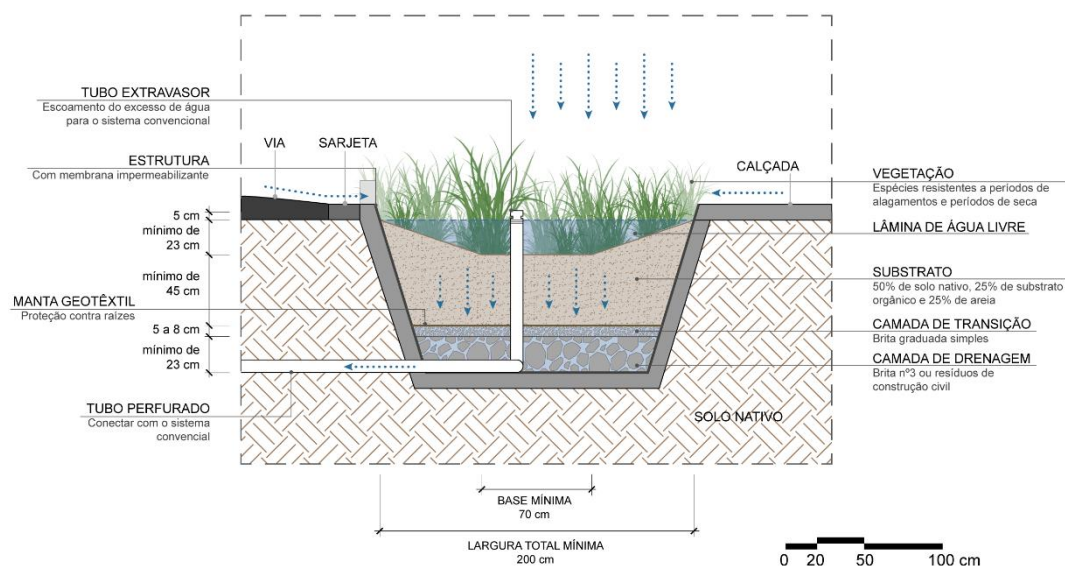
As biovaletas com infiltração devem ter sua camada de drenagem no mínimo a 2 m de distância do nível d'água subterrâneo. Além de estarem a uma distância de 3 m das fundações e demais estruturas. O dispositivo sem infiltração, próximo a fundações e demais estruturas, deve ser impermeabilizado com uma membrana impermeável para evitar infiltrações na estrutura da biovaleta. Além de uma manta geotêxtil para evitar que as raízes das plantas provoquem danos à estrutura.

Deve contar com um tubo perfurado no fundo do leito conectado a drenagem tradicional e um extravasor com uma borda livre de 5 cm para evitar o transbordamento do excesso de água na malha urbana. Quando o solo apresenta pouca infiltração, pode ter um tubo perfurado na base do leito para drenar a água para o sistema de drenagem ou para um corpo hídrico a jusante.

Em terrenos com declividade maior de 2% recomenda-se a utilização de barreiras ao longo de seu comprimento para evitar a erosão dos taludes laterais, facilitar a infiltração e a retenção.



**Figura 48** - Implantação da biovaleta com infiltração (elaborado pela Autora, adaptado de PINHEIRO, 2021)





**Figura 49** - Implantação da biovaleta sem infiltração (elaborado pela Autora, adaptado de PINHEIRO, 2021)

É recomendado que sejam adotadas mais de uma espécie vegetal para promover a biodiversidade. Espécies nativas locais rasteiras, herbáceas e pequenos arbustos, que suportem a velocidade e o volume do escoamento. As raízes da vegetação devem ser profundas e espessas para ajudar a capturar os poluentes orgânicos do escoamento superficial e manter a porosidade do solo



filtrante. Além de serem resistentes a períodos de alagamentos e períodos de seca. Espécies herbáceas rizomatosas e suculentas são as mais indicadas.

 <b>BENEFÍCIOS</b>	 <b>LIMITAÇÕES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sedimentação do escoamento superficial,</li> <li>- Direciona a água para os dispositivos de acomodação de água</li> <li>- Detém a água da chuva e o escoamento superficial,</li> <li>- Filtra os resíduos da água da chuva,</li> <li>- Trata a poluição difusa da água,</li> <li>- Possibilita a infiltração da água no solo,</li> <li>- Redução da ilha de calor,</li> <li>- Redução do escoamento superficial, através da evaporação, evapotranspiração e retenção,</li> <li>- Podem ser implantados em declives através de células escalonadas,</li> <li>- Aumento da Biodiversidade,</li> <li>- Estrutura simples, não exige uma escavação profunda,</li> <li>- Melhoria da qualidade do ar e da água,</li> <li>- Habitats para fauna e flora,</li> <li>- Conexão entre fragmentos verdes,</li> <li>- Stepping stones para a fauna, como pontos de descanso e abrigo,</li> <li>- Educação Ambiental,</li> <li>- Embelezamento estético,</li> <li>- Captura de carbono,</li> <li>- Aumenta o número de áreas verdes na cidade,</li> <li>- Ideal para locais com pouca disponibilidade de espaço,</li> <li>- Baixo custo de implantação e manutenção,</li> <li>- Pode ser aplicado em vários espaços, não tem problema com dimensionamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer eventual manutenção para limpeza de ocasionais resíduos e lixos,</li> <li>- Dependendo do tipo de solo e da declividade, pode ocorrer o risco de água parada provocando a proliferação de vetores e mau cheiro.</li> <li>- Risco de erosão e estagnação da água.</li> </ul>

**Figura 50** - Comparativo de benefícios e limitações da Biovaleta.

### Estudo de caso

A cidade de Seattle em Washington possui um grande plano de manejo das águas urbanas a partir do uso da técnica de Desenvolvimento de Baixo Impacto. Dentre eles, o projeto Capitol Hill Water Quality que contou com uma parceria entre o setor público e privado visando a redução da poluição difusa no Lago Union. As biovaletas implantadas nas avenidas Yale e Pontius drenam uma área de 243 hectares, tratando aproximadamente 864 milhões de litros anualmente. O projeto teve um custo de 12 milhões de dólares (SPU, s/d) (Figura 51).





**Figura 51** - Biovaleta na Avenida Yale em Seattle, Washington (Fonte: SPU. s/d)

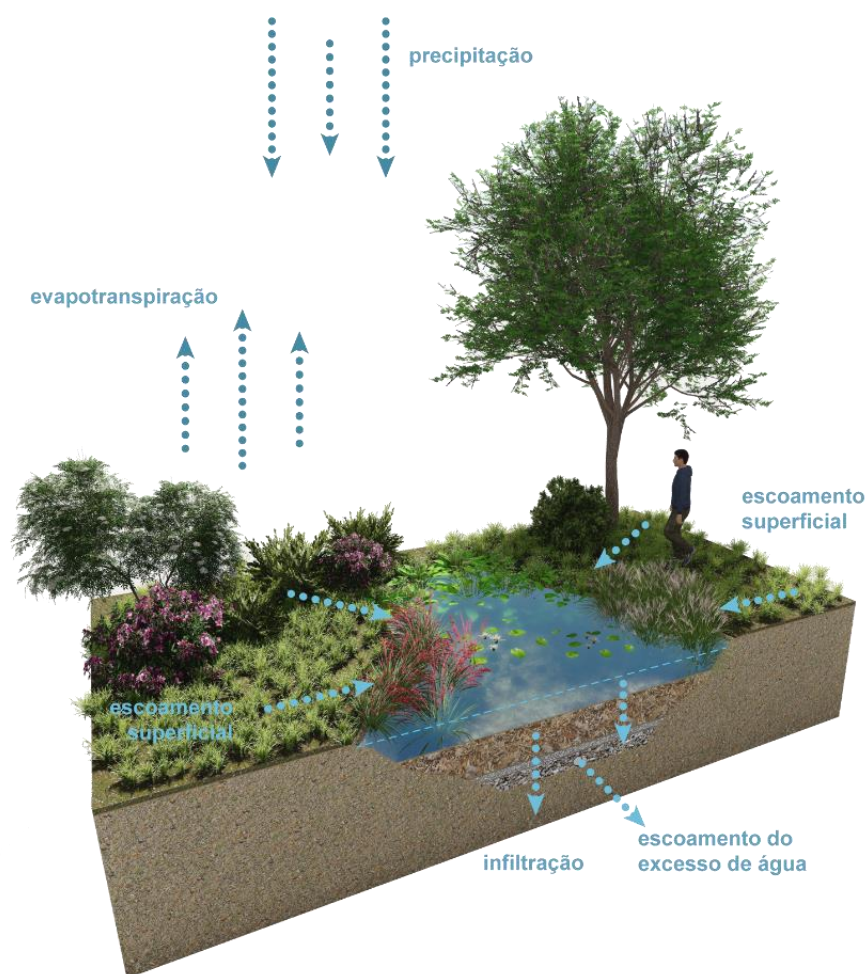
#### 6.4.5 Lagoa seca<sup>6</sup>

A Lagoa seca é uma depressão topográfica vegetada que durante o período de chuvas detém temporariamente grandes volumes de água pluvial e o escoamento superficial do entorno, retardando sua entrada no sistema de drenagem tradicional, reduzindo o pico das cheias urbanas. Também conhecida como bacia de retenção ou bacia de infiltração vegetada, ela também serve para filtrar, tratar e infiltrar a água armazenada no solo, removendo da poluição difusa e possibilitando a recarga do lençol freático.

Pode receber o excesso de águas advindas do sistema de drenagem tradicional ou de biovaletas, e possui flexibilidade de implantação em vários pontos da bacia de drenagem, como ao longo de vias, próximos a rios, em parques ou em jardins públicos ou privados. Durante os períodos secos, a bacia pode ter múltiplas funções de lazer e recreação, como campos esportivos.

---

<sup>6</sup> As informações foram elaboradas pela autora baseado em: AQUAFLUXUS, s/d; BAPTISTA et al., 2015; BARROW, 2022; BENINI, 2015; BRANDÃO e CRESPO, 2016; CBC NEWS, 2022; HERZOG, 2010; HERZOG, 2013; MIGUEZ et al., 2015; PINHEIRO, 2021; SASKATODAY, 2021; SILVA, 2017; UACDC, 2010; VASCONCELLOS, 2015.



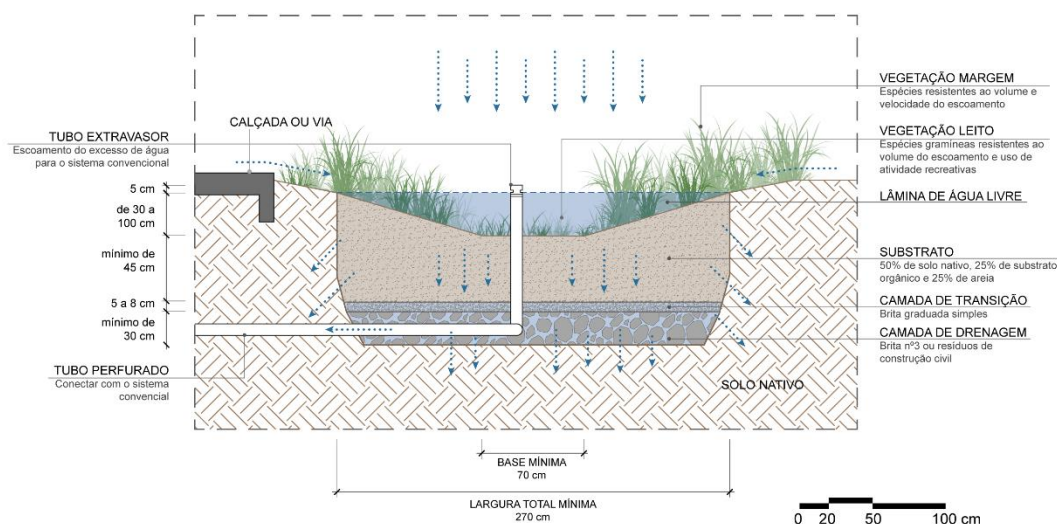
**Figura 52** – Dinâmica hídrica da Lagoa seca.

### Orientações para implantação

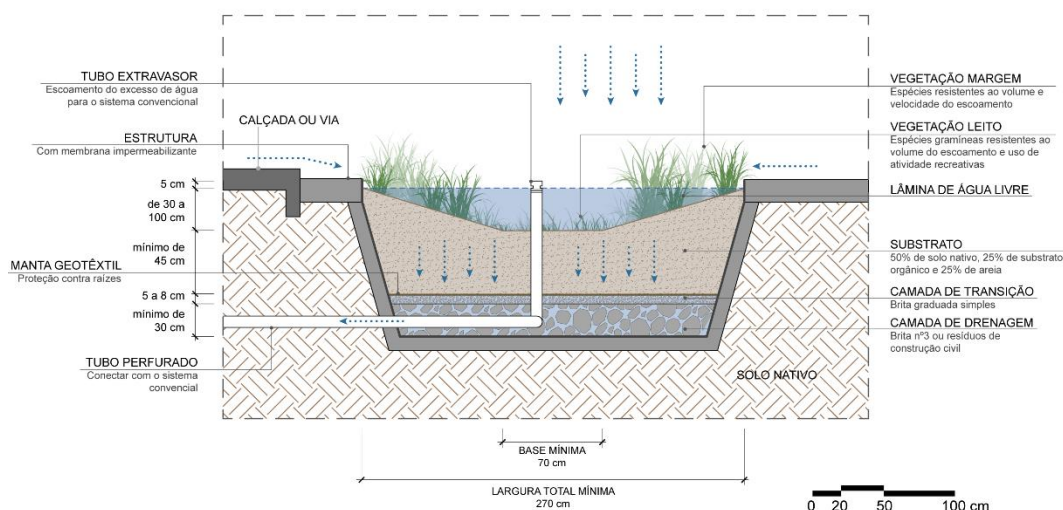
O Manual de Portland (PINHEIRO, 2021) e outras literaturas apontam que a taxa de infiltração do solo determina a abordagem de implantação do projeto, com ou sem infiltração. Recomenda-se que em solos com taxa de infiltração maior ou igual a 5 cm/h, opte-se por lagoas com infiltração. Enquanto que para taxas inferiores a 5 cm/h, adota-se lagoas sem infiltração. Neste caso, deve-se adotar uma membrana ou estrutura impermeável e deve contar com um tubo perfurado na base do leito e/ou um extravasor para que haja a descarga do excesso de água no sistema de drenagem tradicional. A água não pode permanecer mais de 72 horas parada, com risco de proliferação de vetores de doenças. Além da adoção de membrana impermeável e manta geotêxtil, para evitar infiltrações na estrutura e evitar que as raízes das plantas provoquem danos à estrutura, respectivamente.

A Prefeitura de São Paulo define a distância mínima de 1 m entre a base da bacia e o lençol freático para evitar o afloramento da água por capilaridade. Para os dispositivos com infiltração é recomendado o afastamento de 1,5 m das linhas da propriedade e de 3 m das fundações. Enquanto que os dispositivos sem infiltração não possuem tal restrição. Não é indicado a implantação em locais que o solo seja frágil a água, trazendo potencial risco geológico para a região. Não deve ser implantada em locais que tenham plumas subterrâneas de contaminação.

A largura total mínima recomendada é de 2,7 m, sendo que de base, a largura mínima é de 0,7 m. Recomenda-se que a camada de drenagem de maior granulometria seja brita nº 3, com no mínimo 0,30 m de altura. A camada de transição entre a camada drenante e o substrato deve ser brita graduada simples ou pedrisco de menor granulometria com 5 a 8 cm de altura. Já o substrato é ideal que tenha 0,45 m de altura sendo uma mistura de 50% de solo nativo, 25% de substrato orgânico e 25% de areia. A altura da lâmina livre para acomodação de água deve de 0,30 a 1 m e as inclinações máximas dos taludes laterais devem ser na proporção 3:1. O espaço deve ser protegido do tráfego de maquinários e veículos para evitar a compactação do solo e reduzir a taxa de infiltração.





**Figura 53** - Implantação da Lagoa seca com infiltração (elaborado pela Autora, adaptado de PINHEIRO, 2021)



**Figura 54** - Implantação da Lagoa seca sem infiltração (elaborado pela Autora, adaptado de PINHEIRO, 2021)

É recomendado que sejam adotadas mais de uma espécie vegetal para promover a biodiversidade. Espécies nativas locais com diferentes estratos vegetais dependendo do uso a ser adotado, desde que suportem a velocidade e o volume do escoamento. Além de serem adaptadas a períodos de extrema umidade e seca. Tais espécies devem ter raízes profundas e espessas com

capacidade de alta produção de biomassa para facilitar a remoção de poluentes orgânicos através da fitorremediação. No caso da remoção de poluentes inorgânicos como metais tóxicos, devem optar por espécies hiperacumuladoras. Estas, porém necessitam maior manutenção, devendo um plano de manejo constante. Gramíneas e herbáceas são mais indicadas para a base da bacia, enquanto que nos taludes podem ter diferentes estratos vegetativos com arbóreas e arbustivas.

 <b>BENEFÍCIOS</b>	 <b>LIMITAÇÕES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detém e acomodam grande volume a água da chuva e o escoamento superficial,</li> <li>- Filtra os resíduos da água da chuva,</li> <li>- Trata a poluição difusa da água,</li> <li>- Possibilita a infiltração da água no solo,</li> <li>- Redução do escoamento superficial, através da evaporação, evapotranspiração e detenção,</li> <li>- Recarga do lençol freático,</li> <li>- Diversidade de implantação em toda a bacia,</li> <li>- Uso recreativo e de lazer em tempos secos,</li> <li>- Podem ser implantados em declives desde que acomodadas no terreno,</li> <li>- Aumento da Biodiversidade,</li> <li>- Estrutura simples, não exige uma escavação profunda,</li> <li>- Contribui para melhoria da qualidade da água,</li> <li>- Embelezamento estético,</li> <li>- Captura de carbono,</li> <li>- Aumenta a área de permeabilidade do solo,</li> <li>- Aumenta o número de áreas verdes na cidade,</li> <li>- Baixo custo de implantação e manutenção,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade de aplicação em locais altamente adensados, aplicação em média e grande escala que atendam a uma área de contribuição maior que 2ha,</li> <li>- Presença de instalações subterrâneas inviabiliza sua implantação,</li> <li>- Proximidade com lençol freático impede sua implantação,</li> <li>- Tipo de solo pode interferir no tipo de abordagem aplicada com ou sem infiltração.</li> </ul>

**Figura 55** - Comparativo de benefícios e limitações da Lagoa seca.

### Estudo de caso

Na cidade de Saskatoon no Canadá foi construída, em 2021, a primeira lagoa seca de um projeto que foi aprovado depois que eventos de precipitação extremos atingiram a cidade em 2017. O projeto faz parte de um plano de 54 milhões de dólares canadenses para mitigar os alagamentos urbanos em áreas de risco. A iniciativa da prefeitura da cidade planeja implantar outras duas lagoas secas e conta com a participação da comunidade local para desenvolver os projetos (CBC NEWS, 2022).

Parte da praça existente foi rebaixada para acomodar o escoamento superficial da região. Durante o período seco, a praça possui quadras de beisebol e futebol. A lagoa seca implantada foi dimensionada para receber as chuvas de um evento com Tempo de Recorrência de 10 anos. Segundo a CBC News (2022), durante uma chuva intensa em 20 de julho de 2022, a lagoa atingiu sua capacidade máxima às 15:00. E às 20:00, a água acumulada na lagoa tinha sido totalmente escoada (Figura 56).





**Figura 56** – Antes x Depois da Lagoa seca no W.W. Ashley District Park (CBC News, 2022)

#### 6.4.6 Lagoa pluvial<sup>7</sup>

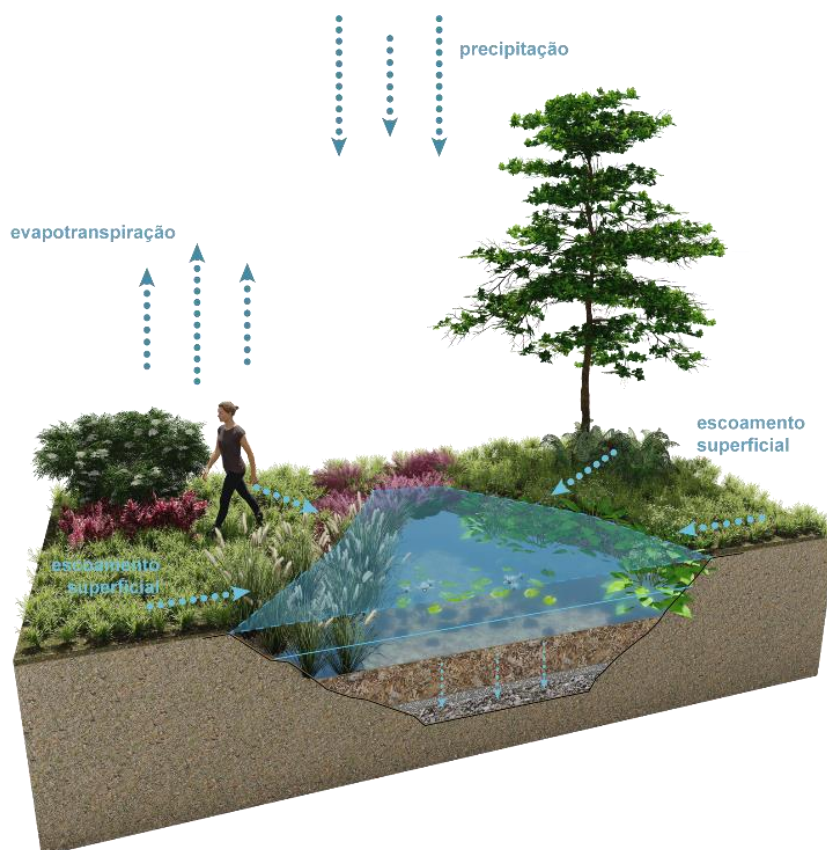
A lagoa pluvial também conhecida como bacia de retenção, de biorretenção ou wet pond é uma depressão topográfica vegetada que possui um volume de água permanente, além de possuir um espaço livre voltado para a acomodação e retenção do excesso do volume da água da chuva, aliviando o sistema de drenagem tradicional. É um substituto natural dos “piscinões” que são projetos monofuncionais de drenagem urbana. Funciona como um alagado construído, porém que filtra e trata a água pluvial e a poluição difusa do escoamento superficial e não de efluentes domésticos ou industriais. Tem grande apelo estético paisagístico podendo ser integrado nos projetos de parques e áreas verdes de condomínios e praças, idealmente, implantado em fundos de vale onde é comum a concentração de água.

Apesar de não necessitar de uma estrutura impermeabilizada, a lagoa pluvial não tem como foco a infiltração já que o solo do entorno já é saturado e apresenta um volume de água constante. Normalmente, a água que aporta a lagoa pluvial vem de diversos pontos da bacia hidrográfica através de biovaletas, de superfícies impermeáveis do entorno e do próprio sistema de drenagem tradicional. Estas são acomodadas, inicialmente, em uma bacia de sedimentação para pré-tratar a água, barrando a entrada de resíduos sólidos e sedimentos de grande granulometria na lagoa, evitando seu assoreamento.

A borda livre do espelho d'água que em períodos de chuva serve para acomodar o escoamento superficial e a água da chuva, pode ter múltiplas funções nos períodos de seca como uso recreativo, contemplativo, de permanência, etc.

<sup>7</sup> As informações foram elaboradas pela autora baseado em:

BENINI, 2015; BONZI, 2015; BRANDÃO e CRESPO, 2016; DREISEITL, s/d; GREEN WORKS, s/d; HERZOG, 2010; HERZOG, 2013; MIGUEZ et al., 2015; MOURA, 2013; OICS, s/d; CORMIER e PELLEGRINO, 2008; PELLEGRINO e MOURA, 2017; SILVA, 2017; SILVA, et al., 2020; UACDC, 2010; VASCONCELLOS, 2015.



**Figura 57** – Dinâmica hídrica da Lagoa pluvial.

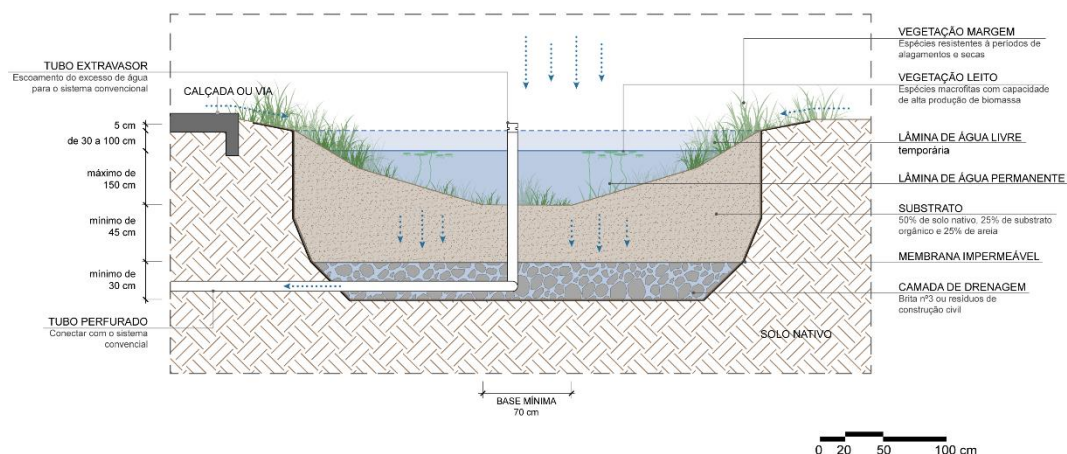
### Orientações para implantação

A Lagoa pluvial por ser considerada uma bacia biorretentora pode seguir as mesmas premissas de um jardim de chuva, sendo que tem capacidade de reter um volume de água maior como das Lagoas secas. Logo pode seguir o dimensionamento das lagoas secas, prevendo um espaço de lâmina livre de 0,3 a 1 m e a largura mínima da base de 0,7 m e a largura total mínima recomendada é de 2,7 m. A altura máxima do espelho d'água permanente deve ser de 1,5 m.

Pode ser implantada em qualquer tipo de solo. Cabe alertar que em solos mais porosos e drenantes é importante que o local tenha chuvas constantes para manter o volume de água permanente, ou que a lagoa tenha uma membrana ou estrutura impermeável permitindo um espelho d'água permanente. Neste contexto, a Lagoa pluvial não tem a função de infiltração da água, permitindo o acúmulo e, posteriormente, o escoamento do excesso para o sistema de drenagem urbano através de um tubo perfurado na base do leito.



Por isso, uma Lagoa pluvial conta apenas com a camada de substrato orgânico e uma camada de drenagem composta de pedras de maior granulometria seja brita nº 3, com no mínimo 0,30 m de altura para aumentar o volume de água retida. O substrato é ideal que tenha 0,45 m de altura sendo uma mistura de 50% de solo nativo, 25% de substrato orgânico e 25% de areia. O ideal para evitar erosão das margens que siga as inclinações máximas dos taludes laterais na proporção 3:1.

É necessário um extravasor para que haja a descarga do excesso de água no sistema de drenagem tradicional, quando a lagoa atingir sua capacidade máxima, evitando transtornos na região. É necessário um aerador para manter a eutrofização e evitar a estagnação da água, podendo provocar a proliferação de vetores de doenças e mau cheiro.



**Figura 58** – Implantação da Lagoa pluvial.

Além disso, a presença de biodiversidade de fauna e flora também evita a proliferação de vetores de doenças como mosquitos. É recomendado que sejam adotadas mais de uma espécie vegetal para promover a biodiversidade. Para as margens, espécies nativas locais herbáceas, arbustivas e até arbóreas desde que suportem a velocidade e o volume do escoamento. Além de serem adaptadas a períodos de extrema umidade e seca e tenham capacidade de tratar cargas de poluição difusa. Para o espelho de água permanente, o ideal é o uso de plantas macrófitas segundo analisado por Silva (2017) com capacidade de alta produção de biomassa para facilitar a remoção de poluentes orgânicos através da fitorremediação, similar às espécies adotadas para alagados construídos. No caso da remoção de poluentes inorgânicos como metais tóxicos, devem optar por espécies hiperacumuladoras. Estas, porém necessitam maior manutenção, devendo ter um plano de manejo constante.

 <b>BENEFÍCIOS</b>	 <b>LIMITAÇÕES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retêm e acomodam grande volume a água da chuva e o escoamento superficial,</li> <li>- Filtra os resíduos da água da chuva,</li> <li>- Trata a poluição difusa da água,</li> <li>- Redução do escoamento superficial, através da evaporação, evapotranspiração e retenção,</li> <li>- Integração com áreas de lazer,</li> <li>- Designs variados,</li> <li>- Habitats para fauna e flora,</li> <li>- Conexão entre fragmentos</li> <li>- Stepping stones para a fauna, como pontos de descanso e abrigo,</li> <li>- Educação Ambiental,</li> <li>- Aumento da Biodiversidade,</li> <li>- Contribui para melhoria da qualidade da água,</li> <li>- Embelezamento estético,</li> <li>- Captura de carbono,</li> <li>- Aumenta a área de permeabilidade do solo,</li> <li>- Aumenta o número de áreas verdes na cidade,</li> <li>- Baixo custo de implantação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade de aplicação em locais altamente adensados, aplicação em média e grande escala que atendam a uma área de contribuição maior que 2ha,</li> <li>- Presença de instalações subterrâneas inviabiliza sua implantação,</li> <li>- Se não tiver uma boa aeração da água, pode provocar a proliferação de vetores e mau cheiro,</li> <li>- Manutenção constante.</li> </ul>

**Figura 59** - Comparativo de benefícios e limitações da Lagoa pluvial.

### Estudo de caso

O Tanner Springs Park localizado em Portland, Oregon, pode ser considerado uma lagoa pluvial. Implantado em 2004/2005, o projeto foi inaugurado em 2010 como parte do Plano de Desenvolvimento do Distrito Pearl em Portland que visa a revitalização da área industrial da cidade. Elaborado sob a supervisão do arquiteto Herbert Dreiseitl, o projeto contou com a participação ativa da comunidade local na elaboração de um espaço que atendesse suas necessidades e também tivesse a memória da região, através da arte presente com os antigos trilhos do trem (DRESEITL, s/d) (Figura 60).

Com uma área de 0,48 hectares com espécies vegetais nativas, a praça possui a capacidade de manejar 460 m<sup>3</sup> de água pluvial por ser rebaixada 3 metros em relação ao seu entorno, permitindo a detenção, filtração e infiltração da água no solo. A partir do relevo criado para acomodar a água de eventos extremos, o projeto aproveitou para desenvolver arquibancadas nas bordas, além de criar espaços para lazer e permanência da população e nichos ecológicos para a fauna e a flora local. Possui um lago construído na parte mais baixa da praça com um circuito de água fechado para recriar a nascente do Rio Tanner, que corta a cidade de Portland (DRESEITL, s/d).



**Figura 60** – Composição de fotos do projeto Tanner Springs Park (fotos 01 e 02) e esquema de escoamento da água pluvial (foto 03). (DREISEITL s/d)



## 6.5 Planejamento urbano e suas barreiras

O planejamento urbano deve priorizar a adoção de Soluções baseadas na Natureza sempre que possível, adaptar e requalificar as infraestruturas existentes (EVERS et al., 2022). No Brasil, tais infraestruturas enfrentam dificuldades de implementação no meio urbano (Tabela 13). Sofia Zagallo, analista técnica em meio ambiente da Confederação Nacional dos Municípios, ressalta que

“A ausência histórica de financiamento federal e de capacitação técnica para gestão ambiental municipal (...), cria um cenário desafiador, mas também propício para o surgimento de soluções inovadoras e mais baratas que sejam inspiradas na natureza”. (AGÊNCIA, 2021)

**Tabela 13** – Desafios urbanos para implantação de Soluções baseadas na Natureza.

BARREIRAS URBANAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de integração entre as secretárias e órgãos;</li> <li>- Divulgação de boas práticas;</li> <li>- Falta de padrão na execução das obras de Infraestrutura Verde/Soluções baseadas na Natureza;</li> <li>- Dependência do setor privado para execução de Infraestrutura Verde/Soluções baseadas na Natureza;</li> <li>- Carência de números da efetividade da Soluções baseadas na Natureza;</li> <li>- Acesso a instrumento para implantação/mão de obra não especializada;</li> <li>- Ausência de medição do impacto da Soluções baseadas na Natureza;</li> <li>- Divergências sobre Soluções baseadas na Natureza no mercado;</li> <li>- Estímulo do investimento privado;</li> <li>- Carência de informação técnica das Infraestruturas Verdes;</li> <li>- Capacitação dos formuladores de políticas públicas em IV/SBN;</li> <li>- Falta de políticas públicas;</li> <li>- Ausência de financiamento e investimento;</li> <li>- Falta de interesse público.</li> </ul>

Fonte: elaborado pela Autora, retirado de AGÊNCIA, 2010; CACCIA, 2020; GAMA, 2022. (2022)

Um dos grandes obstáculos para incorporação do uso de Soluções baseadas na Natureza no planejamento urbano é a capacitação dos gestores para identificar áreas com maiores déficits de funções ambientais e escolher as soluções adequadas. Para isso foram desenvolvidos manuais que possibilitam um maior entendimento do assunto como o **Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde**<sup>8</sup> elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o **Cadastro Estadual de Soluções baseadas na Natureza**<sup>9</sup>, criado pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA) e o **Catálogo Brasileiro de Soluções baseadas na Natureza**<sup>10</sup> desenvolvido pelo Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis (OICS).

É importante a sensibilização dos agentes públicos e privados para identificar os problemas urbanos e, para assim, desenvolver melhorias nos ecossistemas locais. É essencial criar mecanismos de financiamento públicos e privados, permitir a instrumentalização do corpo técnico, aumentar os recursos para possibilitar a execução das Infraestruturas Verdes e o alinhamento com as atividades econômicas. Além disso, a participação de diversos atores,

<sup>8</sup> Disponível no site: [https://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=1630](https://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1630)

<sup>9</sup> Disponível no site: [www.inea.rj.gov.br/cesbn](http://www.inea.rj.gov.br/cesbn)

<sup>10</sup> Disponível no site: <https://catalogo-sbn-oics.cgee.org.br/>

principalmente da população na fase de desenvolvimento do projeto de Infraestrutura Verde, possibilita o atendimento das reais necessidades do lugar e conscientização das pessoas, trazendo o senso de pertencimento e conservação dos dispositivos implantados à sociedade (GAMA, 2022).

Acordos com organizações como o ICLEI e a Comissão Europeia visam disseminar o conceito de Soluções baseadas na Natureza para a população, mostrando a importância das áreas verdes urbanas, além de estimular o poder público e o setor privado a se comprometer com investimentos para a expansão dessas soluções pelo país. Tais acordos visam elaborar grupos entre as esferas públicas e privadas para definir agendas sustentáveis com objetivos para que as cidades possam ter metas a cumprir para o aumento da resiliência urbana e a melhoria da qualidade de vida urbana. Os acordos também ajudam a elaborar e formular políticas públicas voltadas para o incentivo da implantação de Soluções baseadas na Natureza por meio de incentivos econômicos, possibilitam grupos de trabalho de políticas públicas e a capacitação do setor público. Sophia Picarelli, gerente regional de biodiversidade e desenvolvimento circular do ICLEI América do Sul, defende que “A articulação de diferentes atores para que haja entendimento sobre a importância da natureza na busca por soluções efetivas para problemas contemporâneos é um passo essencial para que a transformação das cidades ocorra” (ICLEI, 2021).

Algumas cidades brasileiras, por exemplo, fazem parte de uma aliança global conhecida como **Cities4Forests** no qual as cidades membro visam, através de mudanças políticas preservar, restaurar e gerenciar as florestas para melhorar a resiliência urbana, o bem-estar humano, proteger a biodiversidade e a água. Através desta iniciativa, foi possível desenvolver projetos de políticas públicas incorporando no planejamento urbano e na legislação municipal o uso de Soluções baseadas na Natureza, como o caso de Goiânia e São Paulo (CACCIA, 2020).

## 6.6 A legislação brasileira

Na escala federal, o Brasil conta com algumas legislações que visam a conservação da mancha verde, áreas verdes urbanas, preservação de margens de rios como o Código Florestal (Lei 12.651/12), Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81), Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Lei n. 9.985/2000) e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA). No entanto, não há nenhuma legislação específica voltada para Soluções baseadas na Natureza (OICS, s/d).

O planejamento sistêmico e a criação de planos integrados é um dos meios que permitem elaborar uma legislação mais específica voltada para as Soluções baseadas na Natureza e fornecem instrumentos para melhorar o desenvolvimento urbano das cidades do país. Na esfera municipal, algumas cidades têm elaborado novos planos diretores incorporando essa nova perspectiva sustentável e as discussões recentes sobre Infraestrutura Verde como Campinas, Goiânia e São Paulo (OICS, s/d).

A cidade e o estado do Rio de Janeiro, por exemplo, apresentam legislações que incentivam a implantação de infraestrutura verde para reduzir os riscos de inundação, mas de forma facultativa e não específica. Jardins de chuva, Canteiros pluviais, Lagoas secas e outras soluções de SBN e IV não são explicitamente apresentadas na legislação. Os telhados verdes recentemente

foram apresentados como lei (Lei nº 6.349, de 30/11/2012) em 2012 para prédios públicos (VIANA et al., 2018).

Goiânia implantou uma lei que exige a construção de jardins de chuva em calçadas, rotatórias e canteiros centrais para a acomodação e absorção das águas pluviais. Além disso, consta a obrigatoriedade de implantação de jardins de chuva em novos empreendimentos que impermeabilizam áreas superiores a 500 m² e em calçadas de edifícios públicos. O não cumprimento da lei prevê multas cujo valor é revertido para a criação de novos jardins de chuva na cidade. Já a cidade de São Paulo, adicionou as Soluções baseadas na Natureza no manual de drenagem e nas normas de desenho urbano e de obras viárias, apresentando parâmetros e recomendações de implantação de projeto, complementando a infraestrutura cinza tradicional existente (EVERS et al., 2022).

## 6.7 Custo-benefício

As Soluções baseadas na Natureza são infraestruturas que precisam ser implantadas de forma multi e transdisciplinar. É muito importante que diferentes secretarias municipais, departamentos, organizações e/ou órgãos públicos trabalhem em conjunto para enfrentar os problemas que a crise climática tem trazido na cidade. É fundamental também que essas instituições trabalhem de forma diferente da abordagem tradicional, otimizando custos e trazendo soluções e benefícios para a cidade (EVERS et al., 2022).

O custo da implantação de Soluções baseadas na Natureza considera não só o custo em si como seus benefícios. As infraestruturas cinzas tradicionais, normalmente, são mais fáceis de precificar e apontar o nível de segurança da obra. Enquanto que as Infraestrutura Verde são mais incertas quantificar seus benefícios uma vez que abarcam a esfera biológica e social. Motta aponta que,

“No caso da Comunidade Europeia, nas ações de NbS urbanas, quase 75% das soluções baseadas na natureza são financiadas por fontes públicas via financiamento público ou subsídios em que barreiras regulatórias e institucionais dificultam sua inserção no planejamento e bloqueiam modelos de negócio.” (MOTTA, 2020).

Luedke (2019 apud EVERS et al., 2022) concluiu que as Soluções baseadas na Natureza podem custar 50% menos que as infraestruturas cinzas tradicionais. Além de aumentarem em 28% a melhoria de qualidade do meio urbano através da redução da poluição, captura de carbono, espaços de lazer e turismo. Comparativamente, em 2019 na cidade de Los Angeles, foi estimado que para modernizar o sistema de drenagem pluvial, com a infraestrutura tradicional custaria aproximadamente US\$ 44 bilhões, enquanto que se adotado técnicas de soluções baseadas na Natureza seria entre US\$ 2,8 bilhões e US\$ 7,4 bilhões. Diversos outros estudos também foram levantados e apresentaram um resultado similar, como na Filadélfia e em Washington D.C. (BEYER e ANDERSON, 2020).

Um dos maiores desafios para o sucesso de um planejamento sistêmico é a integração entre os departamentos municipais, uma vez que as Soluções baseadas na Natureza exigem uma maior colaboração e um diálogo entre diferentes departamentos. Um grande exemplo de êxito nesta integração foi o Bishan-Ang Mo Kio Park em Singapura. O projeto foi uma iniciativa entre a

Agência Nacional de Águas de Singapura, PUB (Public Utilities Board), e o National Parks Board (Agência de Parques de Singapura), que administrava o parque existente no entorno do canal. Era preciso reparar o canal do Rio Kallang, até então canalizado. O programa de incentivo à recuperação dos corpos hídricos do país, Active, Beautiful, Clean Waters (ABC Waters), possibilitou que o rio fosse renaturalizado através da Infraestrutura Verde. O escritório de arquitetura da paisagem Ramboll Studio Dreiseitl desenvolveu um projeto de infraestrutura verde-azul que trouxe benefícios para a população, melhoria na qualidade de vida, novos locais de lazer, além de segurança hídrica como proteção contra enchentes. (BEYER e ANDERSON, 2020).

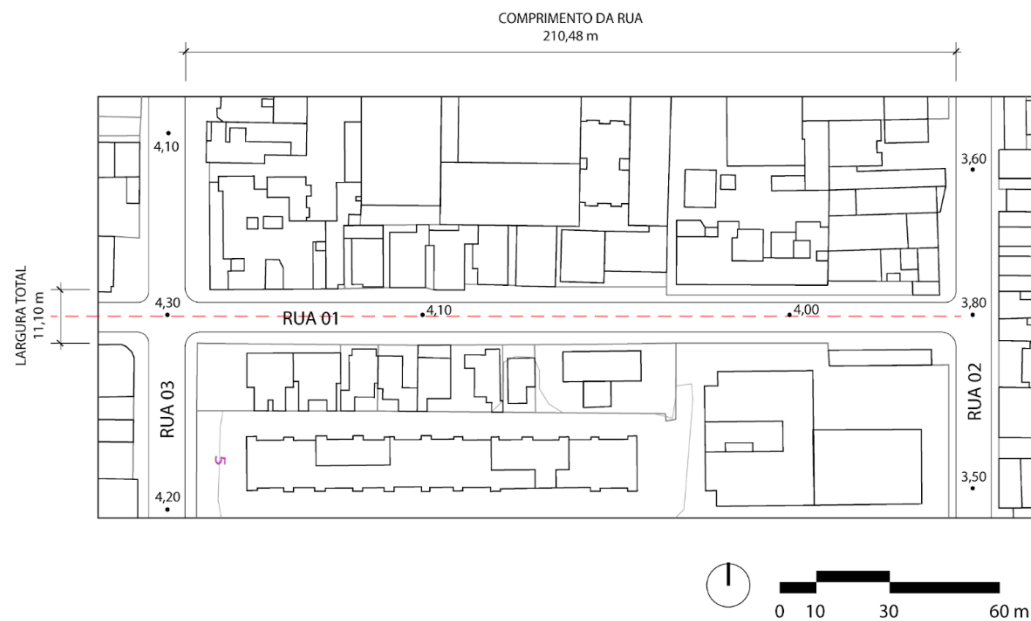
A Universidade Nacional de Singapura, em 2015, elaborou uma pesquisa que permitiu uma análise de custo-benefício comparando o custo de reconstrução do canal de concreto e o custo do uso de Soluções baseadas na Natureza. O projeto com o uso de infraestrutura cinza convencional, seria de US\$ 94 milhões, enquanto que o custo da renaturalização do rio Kallang e do entorno acabou por custar menos de US\$ 50 milhões. O projeto, depois de implantado, possui uma verba anual de US\$ 74 milhões em benefícios o que supera o investimento realizado. Além de reduzir o custo de implementação uma vez que o projeto foi feito em conjunto por mais de um departamento público (BEYER e ANDERSON, 2020).

## 7. EXEMPLOS TEÓRICOS

Para exemplificar os métodos de dimensionamento e as tipologias apresentadas, segue dois exercícios teóricos na cidade do Rio de Janeiro sendo: um para o dimensionamento de Canteiros pluviais com infiltração em uma rua hipotética e o outro um dimensionamento de uma Lagoa seca em uma quadra hipotética. Para o desenvolvimento dos exercícios propostos foi usado a equação IDF apresentada no início do trabalho e os parâmetros foram encontrados no Plano Municipal de Saneamento Básico da cidade do Rio de Janeiro (2015). Demais parâmetros necessários para o cálculo das fórmulas apresentadas foram encontrados no Manual de Instruções Técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico dos sistemas de drenagem urbana desenvolvido pela Rio-Águas (2019).

### 7.1 Exercício 01 - RUA

Uma rua hipotética na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro precisa implantar Canteiros pluviais para receber as águas de drenagem precipitadas sobre as calçadas e a rua. Ela está inserida em um bairro residencial multifamiliar com comércio local altamente adensado e pouca vegetação nas calçadas. As calçadas são de concreto e as ruas asfaltadas (Figura 61).



**Figura 61** – Mapa da rua hipotética com 05 canteiros pluviais propostos.

O objetivo deste exercício é calcular **quantos canteiros** serão necessários para evitar o transbordamento da sarjeta e **dimensionar as camadas do canteiro pluvial**. Para isso é preciso seguir os seguintes passos:

- Definir a capacidade hidráulica máxima de escoamento da sarjeta;
- Calcular a área de contribuição até a seção onde a sarjeta opera no limite;
- Definir o espaçamento entre os canteiros;
- Dimensionar um canteiro pluvial neste local, ou seja, definir sua superfície de infiltração;
- Aplicar o Método das Chuvas para definir a profundidade de cada canteiro a partir do material escolhido.

A partir da equação 23, encontra-se a capacidade hidráulica máxima de escoamento da sarjeta que irá determinar a vazão de entrada do canteiro:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot A \cdot S_o^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

Q - Vazão escoada (m<sup>3</sup>/s);

A - Área da seção da sarjeta (m<sup>2</sup>);

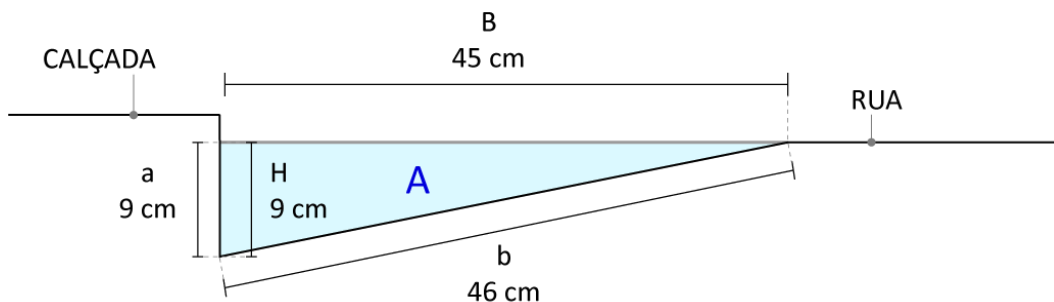
R - Raio hidráulico (m);

So - Declividade longitudinal da rua (decimal);

n - Coeficiente de Manning

**Equação 23** - Vazão escoada pela sarjeta. (MIGUEZ et al., 2015)

A declividade longitudinal, assim como a largura e a altura da sarjeta necessárias para desenvolver a equação da vazão foram retiradas do local ou dos dados encontrados na Cadastral da região estudada (Figura 62).



**Figura 62** - Seção esquemática da sarjeta existente. (Fonte: Autora)

Determina a área da seção da sarjeta a partir da fórmula da área do triângulo. O raio hidráulico é determinado pela Área da seção da sarjeta dividido pelo seu perímetro molhado (Figura 63).

$$A = \frac{B \cdot H}{2} \longrightarrow A = 0,0203 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{A}{P_{\text{molhado}}}$$

$$\downarrow$$

$$P_{\text{molhado}} = a + b$$

$$P_{\text{molhado}} = 0,55 \text{ m} \longrightarrow R = 0,0369 \text{ m}$$

**Figura 63** – Quadro de memória de cálculo da Área do Triângulo e do Raio Hidráulico.

Para calcular a declividade longitudinal da rua é preciso saber o desnível entre início e o final da rua e seu comprimento total.

$$S_o = \frac{\text{Desnível}}{L} \longrightarrow \begin{array}{l} L = 210,48 \text{ m} \\ \text{Desnível} = 0,50 \text{ m} \end{array}$$

$$S_o = 0,00238 \text{ m/m} = 0,0024 \text{ m/m}$$

**Figura 64** – Quadro de memória de cálculo da declividade longitudinal.

O coeficiente de Manning encontrado no Manual de Instruções Técnicas da Rio-Águas (2019) aponta que para a sarjeta de concreto adota-se o coeficiente de 0,016. Com todos os valores definidos calcula-se a vazão máxima da sarjeta.

$$Q_{\text{SARJETA}} = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot A \cdot S_o^{\frac{1}{2}} \longrightarrow \begin{array}{l} n = 0,016 \\ S_o = 0,0024 \end{array}$$

$$Q_{\text{SARJETA}} = \frac{1}{0,016} \cdot 0,0369^{\frac{2}{3}} \cdot 0,0203 \cdot 0,0024^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{SARJETA}} = 0,00688 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Figura 65** – Quadro de memória de cálculo da vazão máxima da sarjeta.

Para definir quantos canteiros serão necessários ao longo da via é preciso calcular a área de contribuição, a partir do **Método Racional**. O valor encontrado de 0,00688 m<sup>3</sup>/s será considerado a vazão afluyente do canteiro pluvial. A área a ser considerada será a drenagem das águas pluviais vindas da rua e da calçada, desconsiderando a água dentro dos lotes (Figura 66).

Uma vez que estamos tratando de uma escala de maior detalhamento, o coeficiente de escoamento superficial, encontrado no Manual de Instruções Técnicas da Rio-Águas (2019), é definido a partir do tipo de superfície da área de projeto. Assim, deve-se adotar um coeficiente representativo da formação de escoamento superficial de superfícies impermeáveis, como o asfalto (ruas) e concreto (calçadas). O valor médio adotado é de 0,85.

No caso deste exercício, numa escala local para microdrenagem, o tempo de concentração adotado é, normalmente, de 10 minutos. Para calcular a vazão crítica, adota-se a duração da chuva igual ao tempo de concentração. O parâmetro que entra na equação é sempre a duração da chuva de projeto, que, neste caso, é adotada como numericamente igual ao tc. Essa configuração garante que a sarjeta terá capacidade para escoar uma chuva de alta intensidade.

Lembre-se que quando aplicamos a metodologia ao exercício prático de dimensionamento, decidimos excluir a elaboração da chuva de projeto aqui, pois ela não é utilizada no método das chuvas (curva-envelope). Precisamos apenas da equação IDF (Tabela 14). Então, com essa equação, chegamos na capacidade da sarjeta, que tem objetivo único de calcular a distância máxima entre canteiros pluviais. Com essa distância e a área de contribuição, aplica-se o método das chuvas para dimensionar o canteiro.

Parâmetros Rio de Janeiro (RJ)		Equação IDF Clássica
a	1239	
b	20	
m	0,74	
n	0,15	

$$i = \frac{a \cdot TR^n}{(td + b)^m}$$

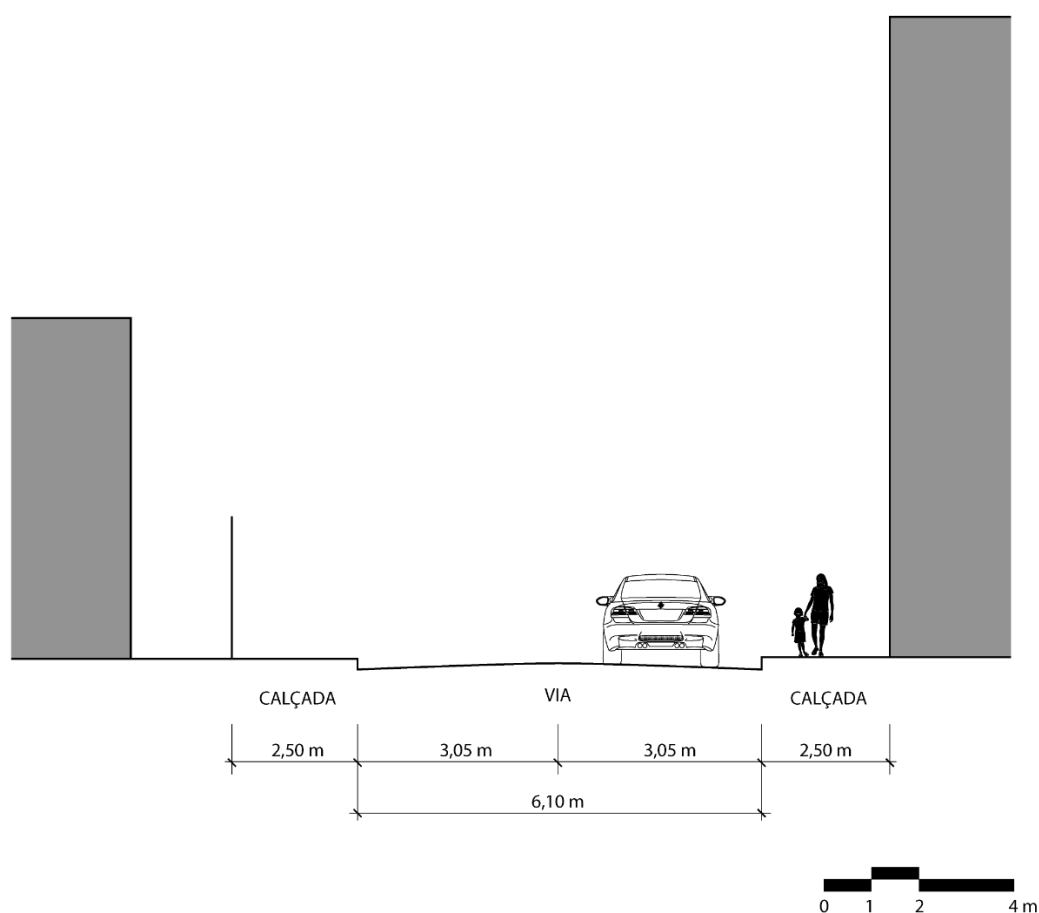
**Tabela 14** – Valores pré-definidos e Equação IDF Clássica.

<b>Método Racional</b>	
$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$	
↓	
$A = \frac{Q}{0,278 \cdot C \cdot i}$	→ $C = 0,85$
	$i = 141,25 \text{ mm/h}$
$A = 0,000206128 \text{ km}^2 = 206,13 \text{ m}^2$	

**Figura 66** – Quadro de memória de cálculo do Método Racional.

Assim cada **canteiro pluvial possui uma Área de contribuição (A)** de 0,0002503 km², ou seja, **206,13 m²**. Considerando uma seção transversal típica para a rua (Figura 67), com declividades a partir de seu eixo central em direção às sarjetas, a largura da área de contribuição será metade da via mais a calçada, pode-se definir que serão necessários **05 canteiros pluviais a cada 37,14 metros de distância** (Figura 68).





**Figura 67** – Corte transversal da rua.

Intervalo entre canteiros pluviais	
$A_{RUA} = Larg \cdot Comp \longrightarrow$	$Larg = 5,55 \text{ m}$
	$A_{RUA} = 206,13 \text{ m}^2$
$Comp = \frac{206,13}{5,55}$	
<b><math>Comp = 37,14 \text{ m}</math></b>	

**Figura 68** – Quadro de memória de cálculo do intervalo entre canteiros.

Logo, na rua analisada, deverão ser implantados 05 canteiros pluviais **com 8 m de comprimento e 2 m de largura, totalizando 16 m<sup>2</sup> de área (superfície de infiltração - S)**. Os canteiros irão ocupar o espaço das vagas existentes ao longo da rua (Figura 69).



**Figura 69** – Área de contribuição de cada canteiro pluvial proposto.

A partir disso, aplica o **Método das Chuvas** para esta área de drenagem definida a montante da seção em que a sarjeta opera no limite. Aplica as fórmulas apresentadas no capítulo 04 (Figura 70). O valor do coeficiente de segurança ( $\alpha$ ) é definido de acordo com a área a ser drenada de forma a não gerar dano. Já a capacidade de absorção do solo foi escolhida em função do tipo de solo da cidade do Rio de Janeiro, Argissolo (MELO, 2006). Neste caso, foi considerado um solo Argissolo com infiltração de 0,1 m/h segundo as informações apresentadas na tabela do capítulo 04.

<b>Vazão efluente (Qs)</b>		$\alpha = 1,50$
$Q_s = \alpha \cdot q_{as} \cdot S$	→	$q_{as} = 0,1 \text{ m/h}$
		$S = 16 \text{ m}^2$
<b><math>Q_s = 2,40 \text{ m}^3/\text{h}</math></b>		
<b>Vazão específica de saída (qs)</b>		
$A_e = A \cdot C$	→	$C = 0,85$
		$A = 206,13 \text{ m}^2$
<b><math>A_e = 175,21 \text{ m}^2</math></b>		
<b>Área de contribuição efetiva (Ae)</b>		
$q_s = \frac{Q_s}{A_e}$	→	$Q_s = 2,40 \text{ m}^3/\text{h}$
		$A_e = 175,21 \text{ m}^2$
<b><math>q_s = 0,013698 \text{ m/h} = 13,698 \text{ mm/h}</math></b>		

**Figura 70** – Quadro de memória de cálculo do Método das Chuvas.

Com os valores já pré determinados anteriormente e as orientações do Manual da Rio-Águas (Tabela 15) elabora-se a Chuva de Projeto. O tempo de duração da chuva a ser adotado é no mínimo igual ao tempo de concentração ou o dobro deste valor. No caso de um projeto de microdrenagem de uma rua, adota-se o tempo de concentração de 10 minutos.

Valores pré-definidos		Parâmetros Rio de Janeiro (RJ)		Equação IDF Clássica
TR	10 anos	a	1239	
tc	10 minutos	b	20	
		m	0,74	
td	180 minutos	n	0,15	
				$i = \frac{a \cdot TR^n}{(td + b)^m}$

**Tabela 15** – Valores pré-definidos, Parâmetros e Equação IDF Clássica.

Aplica-se a equação IDF clássica com os parâmetros da cidade do Rio de Janeiro para elaborar a tabela da Chuva de Projeto (Tabela 16).

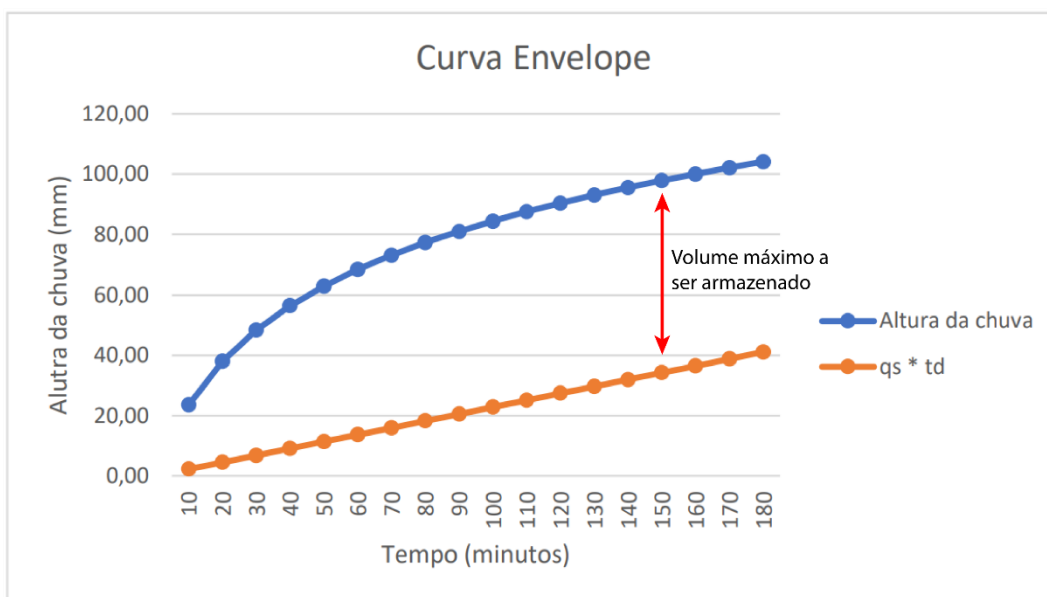
td (minutos)	i (mm/h)	P acumulado (mm)	P int (mm)	P proj (mm)
10	141,25	23,54	23,54	1,98
20	114,17	38,06	14,51	2,08
30	96,79	48,40	10,34	2,33
40	84,57	56,38	7,99	2,66
50	75,46	62,88	6,50	3,10
60	68,36	68,36	5,48	3,74
70	62,65	73,09	4,74	4,74
80	57,95	77,27	4,18	6,50
90	54,01	81,01	3,74	10,34
100	50,64	84,40	3,39	23,54
110	47,73	87,50	3,10	14,51
120	45,18	90,36	2,86	7,99
130	42,93	93,02	2,66	5,48
140	40,93	95,50	2,48	4,18
150	39,13	97,83	2,33	3,39
160	37,51	100,03	2,20	2,86
170	36,04	102,12	2,08	2,48
180	34,70	104,10	1,98	2,20

Tabela 16 – Chuva de projeto.

Com as informações encontradas, elabora-se a Curva Envelope para encontrar a maior diferença entre a curva de deflúvio e a precipitação acumulada (Tabela 17 e Figura 71).

CURVA ENVELOPE					
td (minutos)	td (horas)	i (mm/h)	P acum (mm) ou altura da chuva	qs * td (mm)	diferença (mm)
10	0,17	141,25	23,54	2,28	21,26
20	0,33	114,17	38,06	4,57	33,49
30	0,50	96,79	48,40	6,85	41,55
40	0,67	84,57	56,38	9,13	47,25
50	0,83	75,46	62,88	11,42	51,47
60	1,00	68,36	68,36	13,70	54,66
70	1,17	62,65	73,09	15,98	57,11
80	1,33	57,95	77,27	18,26	59,01
90	1,50	54,01	81,01	20,55	60,46
100	1,67	50,64	84,40	22,83	61,57
110	1,83	47,73	87,50	25,11	62,38
120	2,00	45,18	90,36	27,40	62,96
130	2,17	42,93	93,02	29,68	63,34
140	2,33	40,93	95,50	31,96	63,54
150	2,50	39,13	97,83	34,25	63,59
160	2,67	37,51	100,03	36,53	63,50
170	2,83	36,04	102,12	38,81	63,30
180	3,00	34,70	104,10	41,09	63,00

Tabela 17 – Curva Envelope.



**Figura 71** – Gráfico da Curva Envelope.

Comparar a diferença entre os valores da altura da precipitação acumulada e das vazões efluentes. Aquele que for a maior diferença é aplicado na fórmula do volume a ser armazenado.

$$V_{M\acute{A}X} = \left\{ \frac{\text{máx} [H(D, T) - q_s \cdot D]}{1000} \right\} \cdot A_e$$

$$V_{M\acute{A}X} = \left\{ \frac{63,59}{1000} \right\} \cdot 175,21$$

$$V_{M\acute{A}X} = 11,14 \text{ m}^3$$

Depois aplica-se a fórmula da profundidade útil para encontrar a altura de água que será preciso acomodar no dispositivo.

$$Prof_{\acute{U}TIL} = \frac{V_{M\acute{A}X}}{S}$$

$$Prof_{\acute{U}TIL} = \frac{11,14}{16}$$

$$Prof_{\acute{U}TIL} = 0,696 \text{ m}$$

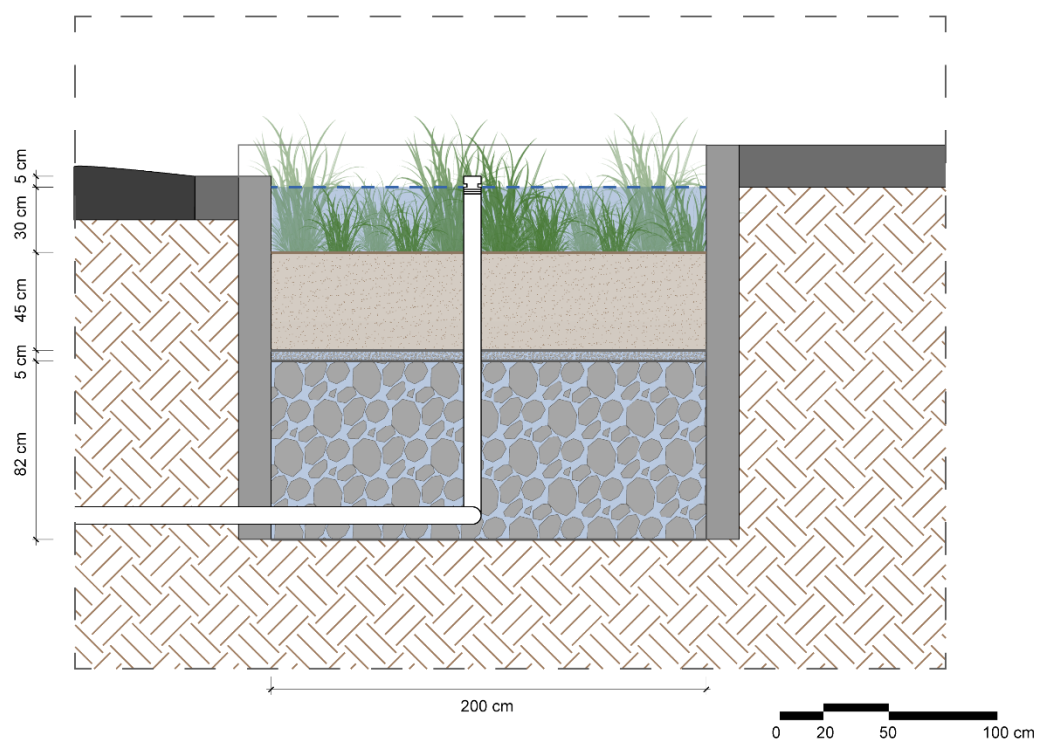
Os canteiros pluviais, segundo as diretrizes apresentadas no capítulo 06, contam com uma camada de lâmina livre d'água acima do substrato de 0,30 m de altura, um substrato de 45 cm de altura, uma camada de transição de 05 cm de altura e a camada de drenagem, estas duas últimas abaixo do substrato. O substrato será considerado uma porosidade de 12%, com base nas informações retiradas de Melo (2006), com base no tipo de solo da cidade do Rio de Janeiro, Argissolo. A camada de transição será composta de Brita Graduado Simples (porosidade: 30%) e a camada de drenagem de brita nº 3 (porosidade: 40%).

Com isso, retira do valor da profundidade útil 0,30 m, que será a água acomodada na lâmina livre acima do substrato, restando o valor de 0,396 m. A partir da equação da profundidade total, calcula-se a profundidade útil do substrato e da camada de transição. Depois, o valor restante será calculado a profundidade total da camada de drenagem (Figura 72).

<b>Profundidade Útil</b> $Prof_{TOTAL} = \frac{Prof_{UTIL}}{Porosidade}$ $Prof_{UTIL} = Prof_{TOTAL} \cdot Porosidade$	
<b>SUBSTRATO</b> $Prof_{UTIL} = 0,45 \cdot 0,12$ $Prof_{UTIL} = \mathbf{0,054\ m}$	<b>CAMADA DE TRANSIÇÃO</b> $Prof_{UTIL} = 0,05 \cdot 0,30$ $Prof_{UTIL} = \mathbf{0,015\ m}$
<b>Profundidade Total</b> <b>CAMADA DE DRENAGEM</b> $Prof_{TOTAL} = \frac{Prof_{UTIL}}{Porosidade}$ $Prof_{TOTAL} = \frac{0,327}{0,40}$ $Prof_{TOTAL} = \mathbf{0,82\ m}$	

**Figura 72** – Quadro de memória de cálculo da Profundidade útil das camadas e Profundidade total.

Logo, **cada canteiro com 8 x 2 m irá acomodar 11,14 m<sup>3</sup> de água pluvial** recebido da calçada e da sarjeta, terá a camada de drenagem com uma profundidade total de 0,82 m. Assim, o canteiro terá uma **profundidade total** incluindo a lâmina livre d'água, solo e camadas de drenagem, **de 162 cm** (Figura 73 e 74).



**Figura 73** – Corte do canteiro pluvial proposto.



**Figura 74** – Perspectiva da implantação do canteiro pluvial proposto.



## 7.2 Exercício 02 - QUADRA

Uma quadra hipotética na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro precisa implantar uma Lagoa Seca sem infiltração para o manejo das águas pluviais. O dispositivo a ser dimensionado deve contar com uma cota de saída que permita seu esvaziamento por completo. Caso contrário será preciso o uso de bombas, que não é recomendado. A cota de entrada deve permitir o escoamento do sistema que está contribuindo sem efeitos de remanso que inviabilizam o seu funcionamento.

A quadra está inserida em um bairro residencial multifamiliar com comércio local altamente adensado, pouca vegetação nas calçadas, mas com vegetação densa na encosta do morro. As calçadas são de concreto e as ruas asfaltadas (Figura 75).

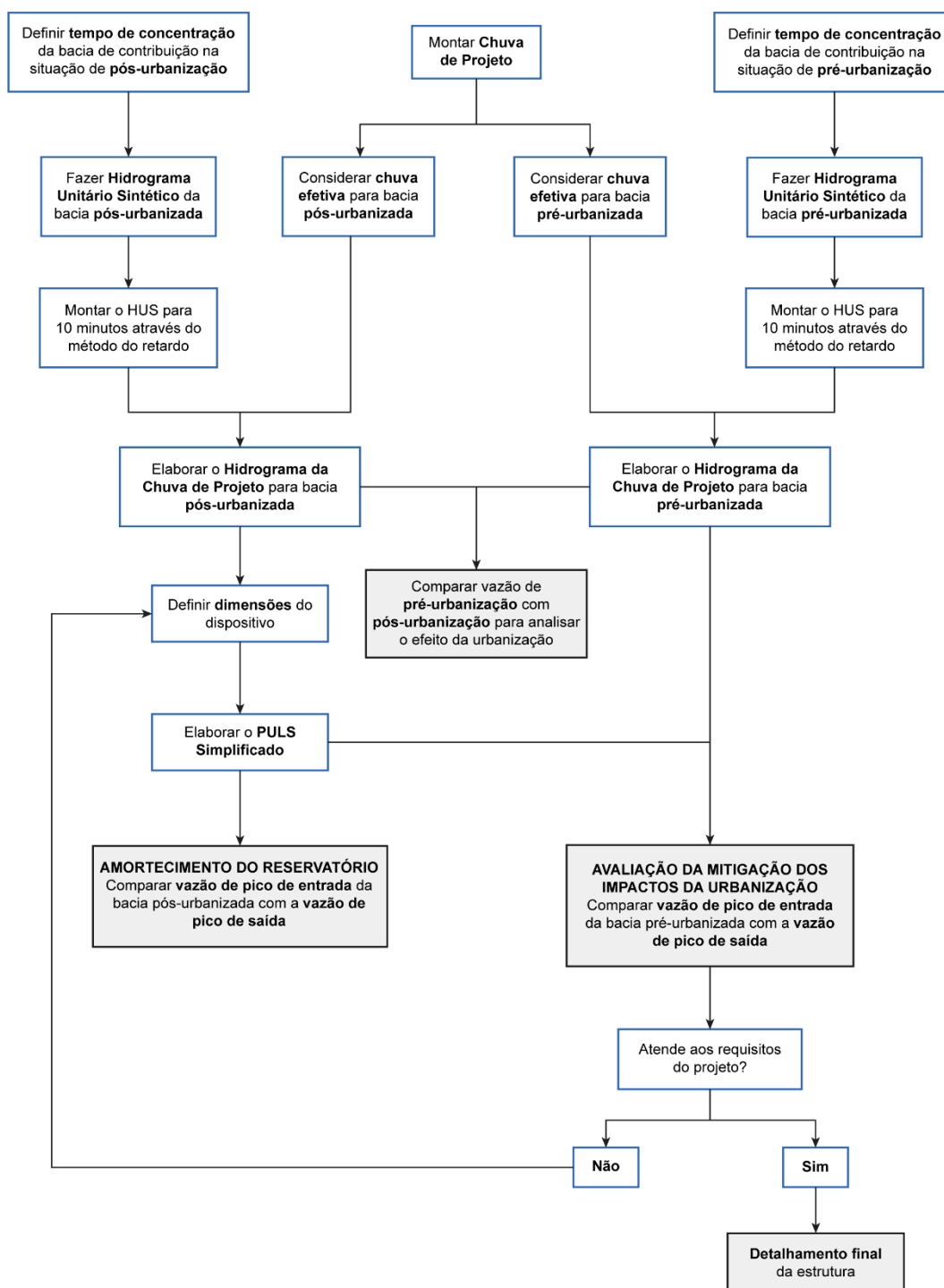


**Figura 75** – Mapa de quadra hipotética com projeto de 01 Lagoa seca.



Para isso é preciso seguir os seguintes passos (Figura 76):

- Definir a bacia de contribuição do dispositivo e suas características físicas: comprimento do talvegue principal, declividade média e porcentagem da bacia com cobertura vegetal;
- Com os valores encontrados na análise da bacia, definir o tempo de concentração a partir da equação proposta por George Ribeiro em duas situações: pré-urbanizada e pós-urbanizada;
- Definir o tempo de duração da chuva;
- Aplicar a equação IDF clássica para encontrar a Chuva de Projeto;
- Aplicar o coeficiente do escoamento superficial na Chuva de Projeto para encontrar a chuva efetiva na situação pré-urbanizada e pós-urbanizada;
- Aplicar o Hidrograma Unitário Sintético para definir as vazões afluentes para a situação pré-urbanizada e pós-urbanizada;
- Montar o Hidrograma Unitário Sintético para 10 minutos;
- Elaborar o Hidrograma da Chuva de Projeto para a situação pré-urbanizada e pós-urbanizada;
- Dimensionar a área e profundidade da Lagoa seca a ser implantada segundo a área disponível na quadra;
- Aplicar o Método PULS Simplificado, a partir da equação da continuidade, para quantificar a capacidade de amortecimento e mitigação que a Lagoa seca irá promover na região;
- Comparar as vazões de pico de entrada de pré-urbanização com a de pós-urbanização para analisar o efeito da urbanização da região;
- Comparar a vazão de pico de entrada da bacia pós-urbanizada com a vazão de pico de saída com a implantação da Lagoa seca;
- Comparar a vazão de pico de entrada da bacia pré-urbanizada com a vazão de pico de saída com a implantação da Lagoa seca.



**Figura 76** – Fluxograma do exercício da Quadra.

A partir da medição pelo software AutoCAD, a área de drenagem da bacia, isto é, a área de contribuição total a ser drenada pela Lagoa seca na quadra é de 70.665,20 m<sup>2</sup>, ou seja, 0,071 km<sup>2</sup>. O comprimento do talvegue principal da bacia é de 484,65 m, o desnível da bacia é de 10 m e a porcentagem da cobertura vegetal da bacia é de 54%.

Para definir o tempo de concentração optou-se pela fórmula do George Ribeiro (equação 24), comumente usada para estudos hidrológicos na cidade do Rio de Janeiro (Figura 77).

$$t_c = \frac{16 \cdot L}{(1,05 - 0,2 \cdot p) \cdot (100 \cdot S)^{0,04}}$$

Onde:

L – comprimento do rio principal da bacia (km);

S – declividade média da bacia (m/m);

p – percentagem da bacia com cobertura vegetal (entre 0 e 1).

A declividade é o comprimento do talvegue principal (em metros) dividido pelo desnível (em metros).

**Equação 24** – Tempo de concentração segundo George Ribeiro. (AQUAFLUXUS, 2017)

CENÁRIO PRÉ-URBANIZAÇÃO	CENÁRIO PÓS-URBANIZAÇÃO
$L = 484,65 \text{ m} = 0,485 \text{ km}$ $\text{Desnível} = 10 \text{ m}$ $S = \frac{\text{Desnível}}{L} = \frac{10}{484,65} = 0,0206 \text{ m/m}$  $p = 1$ $t_c = \frac{16 \cdot 0,485}{(1,05 - 0,2 \cdot 1) \cdot (100 \cdot 0,0206)^{0,04}}$ $t_c = 9,20 \text{ minutos}$	$L = 484,65 \text{ m} = 0,485 \text{ km}$ $\text{Desnível} = 10 \text{ m}$ $S = \frac{\text{Desnível}}{L} = \frac{10}{484,65} = 0,0206 \text{ m/m}$  $\text{Área de mata + Arborização na calçada} = 38.065,66 \text{ m}^2 = 53,88\%$ $p = 0,54$ $t_c = \frac{16 \cdot 0,485}{(1,05 - 0,2 \cdot 0,54) \cdot (100 \cdot 0,0206)^{0,04}}$ $t_c = 8,30 \text{ minutos}$

**Figura 77** – Quadro de memória de cálculo do tempo de concentração no cenário pré-urbanização e pós-urbanização.

O tempo de concentração encontrado para esta bacia pós-urbanizada, isto é, na situação atual de urbanização é de 8,30 minutos. Por isso, adota-se o tempo de duração total da chuva de 60 minutos. Com os valores pré-definidos e os parâmetros da cidade do Rio de Janeiro para equação IDF clássica (Tabela 18), elabora-se a tabela da Chuva de Projeto e o Hietograma de Projeto para o cenário pós-urbanização.

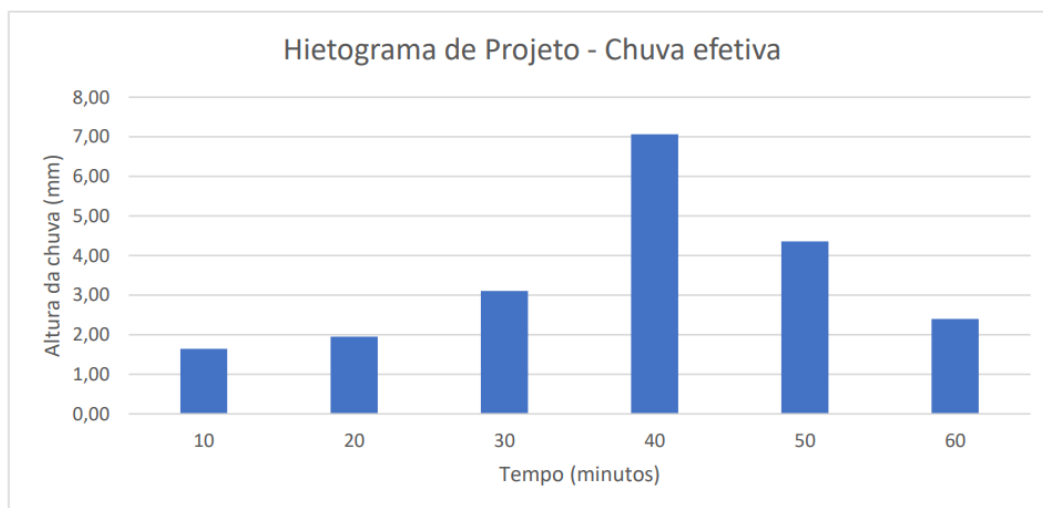
Valores pré-definidos		Parâmetros Rio de Janeiro (RJ)		Equação IDF Clássica
TR	td	a	b	
10 anos	60 minutos	1239	20	$i = \frac{a \cdot TR^n}{(td + b)^m}$
		0,74	0,15	

**Tabela 18** – Valores pré-definidos, Parâmetros e Equação IDF Clássica.

Ao final da Chuva de Projeto, deve-se calcular a chuva efetiva a partir da multiplicação da chuva de projeto pelo coeficiente de escoamento superficial, encontrado no Manual elaborado pela Rio-Águas (2019). No cenário pré-urbanização o coeficiente escolhido foi 0,30 (Tabela 19 e Figura 78) e para o cenário pós-urbanização foi 0,70 (Tabela 20 e Figura 79).

td (minutos)	i (mm/h)	P acum (mm)	P int (mm)	P proj (mm)	P ef (mm)	
10	141,25	23,54	23,54	5,48	1,64	→ P1
20	114,17	38,06	14,51	6,50	1,95	→ P2
30	96,79	48,40	10,34	10,34	3,10	→ P3
40	84,57	56,38	7,99	23,54	7,06	→ P4
50	75,46	62,88	6,50	14,51	4,35	→ P5
60	68,36	68,36	5,48	7,99	2,40	→ P6

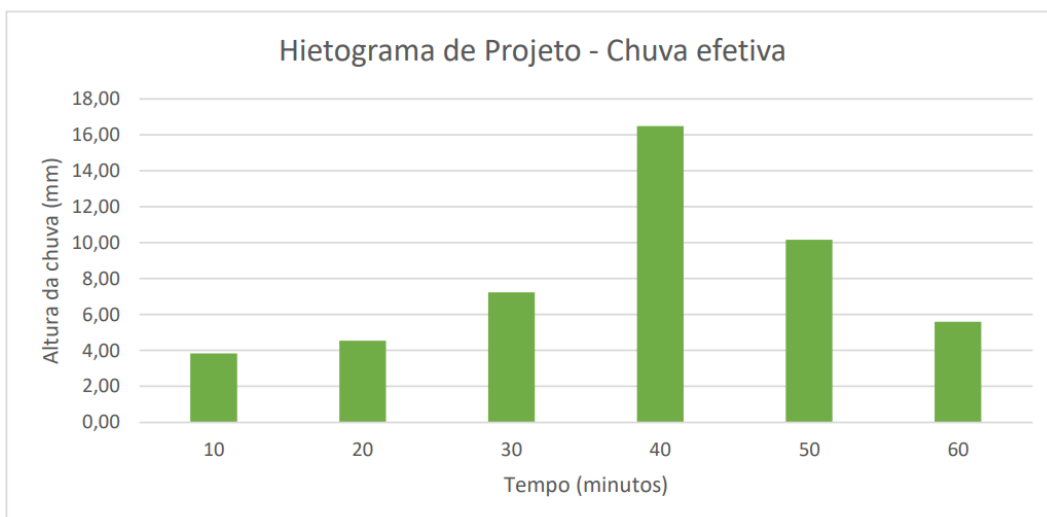
**Tabela 19** – Chuva de projeto no cenário de pré-urbanização.



**Figura 78** – Hietograma de projeto no cenário de pré-urbanização.

td (minutos)	i (mm/h)	P acum (mm)	P int (mm)	P proj (mm)	P ef (mm)	
10	141,25	23,54	23,54	5,48	3,83	→ P1
20	114,17	38,06	14,51	6,50	4,55	→ P2
30	96,79	48,40	10,34	10,34	7,24	→ P3
40	84,57	56,38	7,99	23,54	16,48	→ P4
50	75,46	62,88	6,50	14,51	10,16	→ P5
60	68,36	68,36	5,48	7,99	5,59	→ P6

**Tabela 20** – Chuva de projeto no cenário de pós-urbanização.

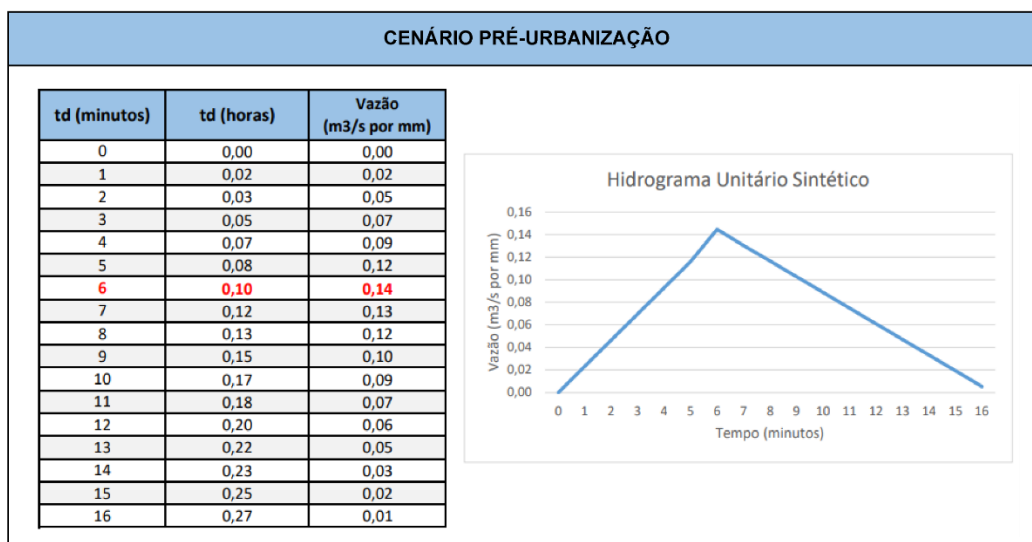


**Figura 79** – Hietograma de projeto no cenário de pós-urbanização.

A partir do tempo de concentração definido para os dois cenários propostos, elabora-se o Hidrograma Unitário Sintético de cada cenário (Figuras 80 a 83).

CENÁRIO PRÉ-URBANIZAÇÃO	
<p>Duração da chuva efetiva (<math>\Delta t</math>)</p> $\Delta t = 0,133 \cdot t_c$ $\Delta t = 0,133 \cdot 9,20$ $\Delta t = 1,223 \text{ minuto}$ $\Delta t = 0,020 \text{ hora}$	<p>Tempo de ascensão (<math>t_p</math>)</p> $t_p = \frac{\Delta t}{2} + 0,6 \cdot t_c$ $t_p = \frac{0,020}{2} + 0,6 \cdot 0,15$ $t_p = 0,100 \text{ hora}$
<p>Tempo de pico (<math>t_R</math>)</p> $t_R = 0,6 \cdot t_c$ $t_R = 0,6 \cdot 0,15$ $t_R = 0,090 \text{ hora}$	<p>Tempo de recessão (<math>t_r</math>)</p> $t_r = 1,67 \cdot t_p$ $t_r = 1,67 \cdot 0,100$ $t_r = 0,167 \text{ hora}$
<p>Tempo de base (<math>t_b</math>)</p> $t_b = t_p + t_r$ $t_b = 0,100 + 0,167$ $t_b = 0,267 \text{ hora}$	<p>Vazão máxima de pico (<math>Q_p</math>)</p> $Q_p = \frac{0,208 \cdot A}{t_p}$ $A = 0,071 \text{ km}^2$ $Q_p = \frac{0,208 \cdot 0,071}{0,100}$ $Q_p = 0,148 \text{ m}^3/\text{s}$

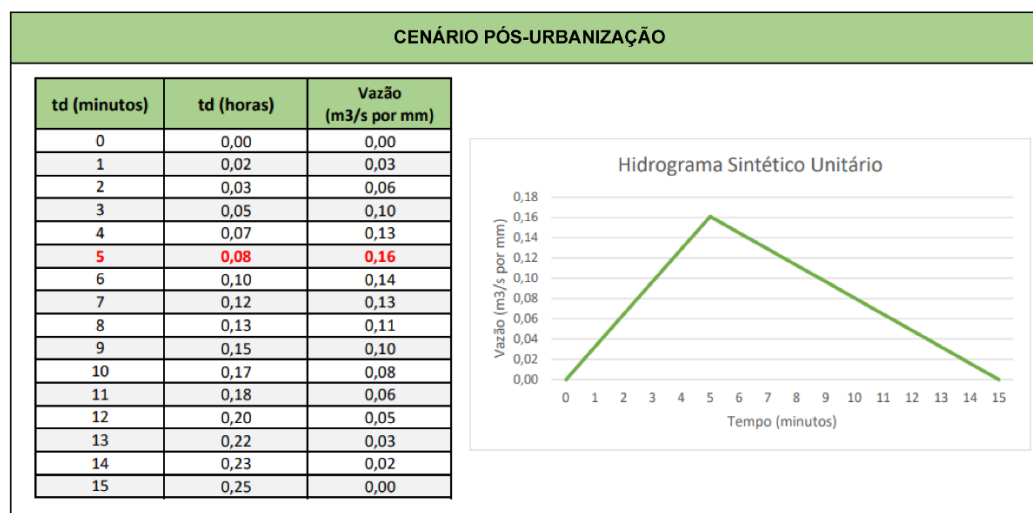
**Figura 80** – Quadro de memória de cálculo para Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pré-urbanização.



**Figura 81** – Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pré-urbanização.

CENÁRIO PÓS-URBANIZAÇÃO	
<p>Duração da chuva efetiva (<math>\Delta t</math>)</p> $\Delta t = 0,133 \cdot t_c$ $\Delta t = 0,133 \cdot 8,30$ $\Delta t = 1,105 \text{ minuto}$ $\Delta t = 0,018 \text{ hora}$	<p>Tempo de ascensão (<math>t_p</math>)</p> $t_p = \frac{\Delta t}{2} + 0,6 \cdot t_c$ $t_p = \frac{0,018}{2} + 0,6 \cdot 0,14$ $t_p = 0,093 \text{ hora}$
<p>Tempo de pico (<math>t_R</math>)</p> $t_R = 0,6 \cdot t_c$ $t_R = 0,6 \cdot 0,14$ $t_R = 0,084 \text{ hora}$	<p>Tempo de recessão (<math>t_r</math>)</p> $t_r = 1,67 \cdot t_p$ $t_r = 1,67 \cdot 0,093$ $t_r = 0,155 \text{ hora}$
<p>Tempo de base (<math>t_b</math>)</p> $t_b = t_p + t_r$ $t_b = 0,093 + 0,155$ $t_b = 0,248 \text{ hora}$	<p>Vazão máxima de pico (<math>Q_p</math>)</p> $Q_p = \frac{0,208 \cdot A}{t_p}$ $A = 0,071 \text{ km}^2$ $Q_p = \frac{0,208 \cdot 0,071}{0,093}$ $Q_p = 0,159 \text{ m}^3/\text{s}$

**Figura 82** – Quadro de memória de cálculo para Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pós-urbanização.



**Figura 83** – Hidrograma Unitário Sintético no cenário de pós-urbanização.

Uma vez que a Chuva de Projeto está com um intervalo de tempo de 10 minutos e o Hidrograma Unitário Sintético está com um intervalo de tempo de 1 minuto, devido a discretização da chuva para elaborar o Hidrograma da Chuva de Projeto é preciso manter o intervalo de tempo igual. Será preciso discretizar a chuva efetiva com um intervalo de tempo de 1 minuto para cada chuva do Hietograma (o que geraria uma planilha de cálculo maior) ou elaborar um Hidrograma Unitário Sintético para o intervalo de tempo de 10 minutos, a partir do Método do Retardo. Neste caso vamos elaborar o HUS para o intervalo de 10 minutos para o cenário de pré-urbanização (Tabela 21) e pós-urbanização (Tabela 22).

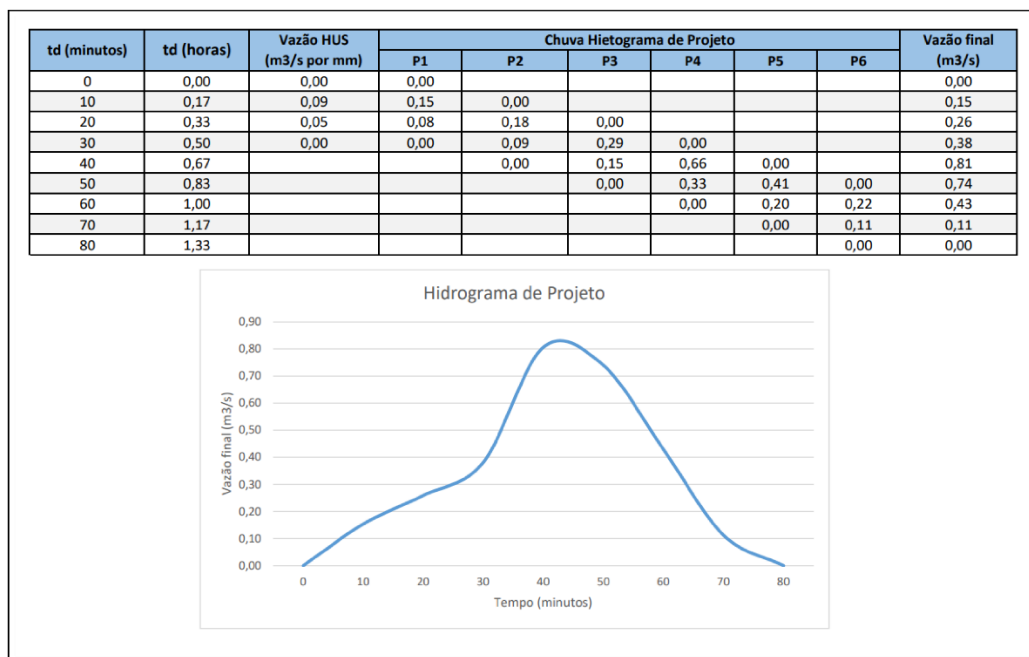
Método do Retardo para 10 minutos											
td (minutos)	1º minuto	2º minuto	3º minuto	4º minuto	5º minuto	6º minuto	7º minuto	8º minuto	9º minuto	10º minuto	Vazão HUS (m <sup>3</sup> /s por mm)
1	0,00										0,00
2	0,02	0,00									0,02
3	0,05	0,02	0,00								0,03
4	0,07	0,05	0,02	0,00							0,05
5	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00						0,06
6	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00					0,07
7	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00				0,08
8	0,13	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00			0,09
9	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00		0,09
10	0,10	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00	0,09
11	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02	0,09
12	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,10
13	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09	0,07	0,10
14	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09	0,10
15	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09
16	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,08
17	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,07
18	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,06
19		0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,05
20			0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,05
21				0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,04
22					0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,03
23						0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,03
24							0,00	0,01	0,02	0,03	0,02
25								0,00	0,01	0,02	0,01
26									0,00	0,01	0,01
27										0,00	0,00

**Tabela 21** – Método do Retardo para 10 minutos no cenário de pré-urbanização.

Método do Retardo para 10 minutos											
td (minutos)	1º minuto	2º minuto	3º minuto	4º minuto	5º minuto	6º minuto	7º minuto	8º minuto	9º minuto	10º minuto	Vazão HUS (m³/s por mm)
1	0,00										0,00
2	0,03	0,00									0,03
3	0,06	0,03	0,00								0,05
4	0,10	0,06	0,03	0,00							0,06
5	0,13	0,10	0,06	0,03	0,00						0,08
6	0,16	0,13	0,10	0,06	0,03	0,00					0,10
7	0,14	0,16	0,13	0,10	0,06	0,03	0,00				0,10
8	0,13	0,14	0,16	0,13	0,10	0,06	0,03	0,00			0,11
9	0,11	0,13	0,14	0,16	0,13	0,10	0,06	0,03	0,00		0,11
10	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,13	0,10	0,06	0,03	0,00	0,11
11	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,13	0,10	0,06	0,03	0,10
12	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,13	0,10	0,06	0,11
13	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,13	0,10	0,11
14	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,13	0,10
15	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,09
16	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,08
17		0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,07
18			0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,06
19				0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,06
20					0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,05
21						0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,04
22							0,00	0,02	0,03	0,05	0,03
23								0,00	0,02	0,03	0,02
24									0,00	0,02	0,02
25										0,00	0,00

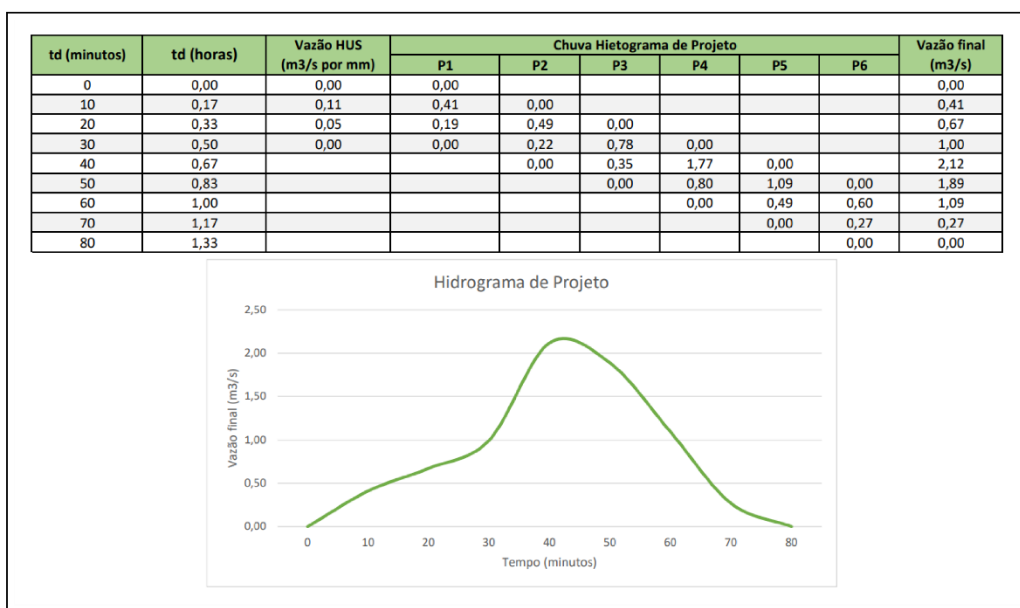
**Tabela 22** – Método do Retardo para 10 minutos no cenário de pós-urbanização.

A partir dos valores encontrados nos minutos correspondentes ao intervalo de tempo da Chuva de Projeto, faz-se a convolução das precipitações da Chuva de Projeto com o Hidrograma Unitário Sintético, multiplicando as chuvas efetivas do Hietograma de Projeto pelas vazões do HUS de acordo com os intervalos de tempo da Chuva de Projeto (Figuras 84 e 85):



**Figura 84** – Hidrograma de Projeto no cenário de pré-urbanização.





**Figura 85** – Hidrograma de Projeto no cenário de pós-urbanização.

Já que a área de contribuição é maior que 10.000 m<sup>2</sup>, é preciso aplicar a equação 25 nas vazões encontradas pelo Hidrograma de Projeto no cenário pós-urbanização para atenuar a vazão de entrada do reservatório. Além disso, para efeitos de comparação das vazões ao final do exercício é preciso também aplicar o coeficiente de redução nas vazões do cenário de pré-urbanização, já que estas também dependem da área da bacia (Figura 86).

$$C_d = \left( \frac{A}{10000} \right)^{-0,15}$$

$$C_d = \left( \frac{70665,20}{10000} \right)^{-0,15}$$

$$C_d = 0,528$$

**Equação 25** – Coeficiente de redução da chuva. (MIGUEZ et al., 2015)

Vazões atenuadas

$$Q_a = C_d \cdot Q_{a'}$$

$$C_d = 0,528$$

$$Q_{a'} - \text{Vazões finais do Hidrograma Unitário Sintético}$$

→

CENÁRIO PRÉ-URBANIZAÇÃO

Vazão com atenuação (m3/s)
0,00
0,08
0,14
0,20
0,43
0,39
0,23
0,06
0,00

CENÁRIO PÓS-URBANIZAÇÃO

Vazão com atenuação (m3/s)
0,00
0,22
0,36
0,53
1,12
1,00
0,58
0,14
0,00

**Figura 86** – Vazões atenuadas no cenário pré e pós urbanização.

Os valores definidos no cenário pós-urbanização com o fator redutor serão as vazões de entrada do reservatório.

Foi definida a implantação de 01 Lagoa seca com uma **área superficial máxima de 1.800 m<sup>2</sup> com 100 cm de profundidade máxima** para acomodação de água de acordo com as diretrizes máximas estabelecidas pelo capítulo 04 e 06. Para aplicar o Método PULS Simplificado estabelece a variação da área da bacia em relação a Cota-Profundidade (Tabela 23).

Cota (m)	Profundidade (m)	Área (m2)	Volume (m3)
3,70	0,0	800,00	0,00
3,80	0,1	900,00	85,00
3,90	0,2	1000,00	180,00
4,00	0,3	1100,00	285,00
4,10	0,4	1200,00	400,00
4,20	0,5	1300,00	525,00
4,30	0,6	1400,00	660,00
4,40	0,7	1500,00	805,00
4,50	0,8	1600,00	960,00
4,60	0,9	1700,00	1125,00
4,70	1,0	1800,00	1750,00

**Tabela 23** – Relação Área-Profundidade-Cota do reservatório.

Além disso, define-se o diâmetro do orifício de descarga de 0,60 m. A vazão efluente ou de saída do reservatório será definida pela Equação de Manning enquanto o orifício na base da Lagoa estiver em situação não afogado, isto é, sem água até o topo do orifício (Tabela 24).

Entrada								Q (m <sup>3</sup> /s)
Y (altura h)	D (orifício)	n	S <sub>0</sub>	Y/D	θ	A	P	
0,025	0,6	0,015	0,005	0,041667	0,822276	0,004031	0,246683	0,001221
0,05	0,6	0,015	0,005	0,083333	1,171371	0,011254	0,351411	0,005339
0,075	0,6	0,015	0,005	0,125	1,445468	0,020399	0,433641	0,012506
0,1	0,6	0,015	0,005	0,166667	1,682137	0,030975	0,504641	0,022674
0,125	0,6	0,015	0,005	0,208333	1,895939	0,042675	0,568782	0,035713
0,15	0,6	0,015	0,005	0,25	2,094395	0,055277	0,628319	0,051439
0,175	0,6	0,015	0,005	0,291667	2,282042	0,068602	0,684613	0,069626
0,2	0,6	0,015	0,005	0,333333	2,461919	0,082502	0,738576	0,090022
0,225	0,6	0,015	0,005	0,375	2,636232	0,096845	0,79087	0,112348
0,25	0,6	0,015	0,005	0,416667	2,806696	0,111511	0,842009	0,136299
0,275	0,6	0,015	0,005	0,458333	2,974732	0,126389	0,89242	0,161551
0,3	0,6	0,015	0,005	0,5	3,141593	0,141372	0,942478	0,187757
0,325	0,6	0,015	0,005	0,541667	3,308453	0,156354	0,992536	0,214548
0,35	0,6	0,015	0,005	0,583333	3,476489	0,171232	1,042947	0,241531
0,375	0,6	0,015	0,005	0,625	3,646953	0,185898	1,094086	0,268286
0,4	0,6	0,015	0,005	0,666667	3,821266	0,200241	1,14638	0,294358
0,425	0,6	0,015	0,005	0,708333	4,001144	0,214141	1,200343	0,319254
0,45	0,6	0,015	0,005	0,75	4,18879	0,227467	1,256637	0,342422
0,475	0,6	0,015	0,005	0,791667	4,387246	0,240068	1,316174	0,363235
0,5	0,6	0,015	0,005	0,833333	4,601048	0,251769	1,380314	0,38094
0,525	0,6	0,015	0,005	0,875	4,837717	0,262344	1,451315	0,394564
0,55	0,6	0,015	0,005	0,916667	5,111814	0,271489	1,533544	0,402683
0,575	0,6	0,015	0,005	0,958333	5,46091	0,278712	1,638273	0,40257
0,6	0,6	0,015	0,005	1	6,283185	0,282743	1,884956	0,375514

**Tabela 24** – Equação de Manning para vazão do orifício de saída do reservatório.

A partir do momento em que a altura da água for maior de 0,60 m passa-se a aplicar a equação clássica do orifício de descarga apresentado na literatura específica de MIGUEZ et al. (2015). Para esta é necessário definir um coeficiente de descarga que será retirado da literatura específica Curso de Hidráulica de Eurico Trindade Neves (1970). No caso deste exercício, observa-se que na tabela apresentada em Neves (1970), há pouca variação nos coeficientes, logo adota-se um coeficiente constante de 0,595 (Tabela 25).

PARÂMETROS DO ORIFÍCIO	
coef	0,595
Área	0,283 m <sup>2</sup>
gravidade	9,8 m/s
h <sub>0</sub>	será h da tabela
a	0,6 m
h final	0,9 m

**Tabela 25** – Parâmetros definidos para o orifício de saída.

A partir da simplificação da equação da continuidade, com base nos valores definidos para o orifício de descarga e a variação da área em função da cota-profundidade do reservatório, aplica-se a equação clássica do orifício de descarga e a equação de Manning para determinar a vazão efluente de cada tempo e a equação da continuidade para encontrar a altura necessária para acomodar determinado volume de água (Tabela 26 e 27).

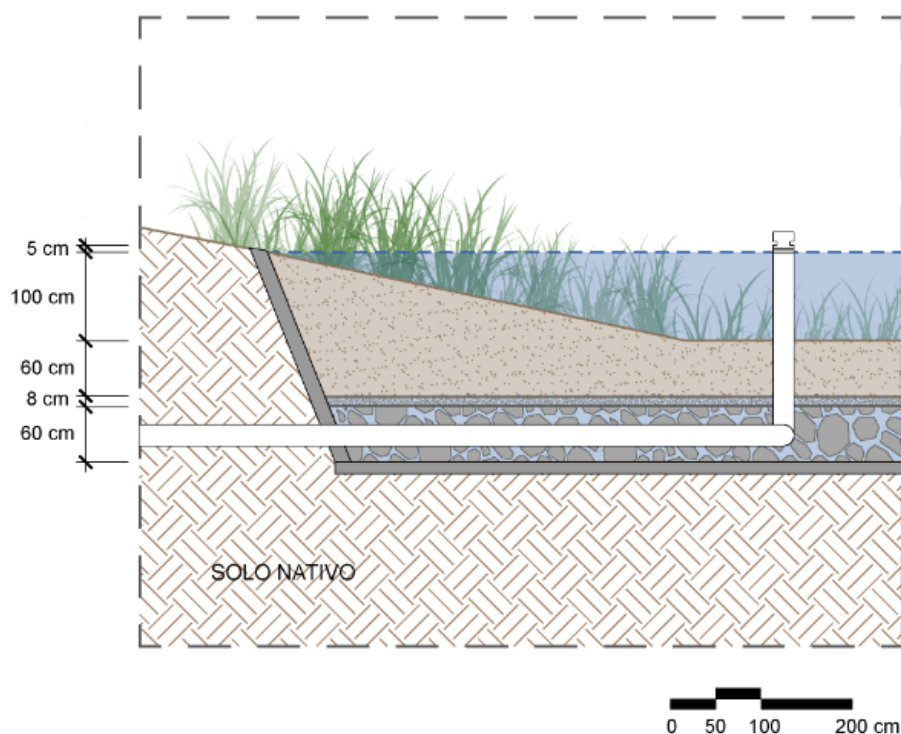
Simplificação da equação da continuidade	$h^{t+1} = h^t + \left( \frac{Q_a^t - Q_e^t}{A_s^t} \right) \cdot \Delta t$
Equação clássica do orifício de descarga	$Q_e = \phi_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_o}$

**Tabela 26** – Equações para elaboração do Método PULS Simplificado.

Tempo (min) t	Qa (m3/s)	altura (m) h	Área superficial (m2)	Qe (m3/s)	altura (m) h t+1
0	0,00	0,00	800,00	0,000	0,00
10	0,22	0,00	800,00	0,000	0,16
20	0,36	0,16	900,00	0,051	0,37
30	0,53	0,37	1100,00	0,242	0,52
40	1,12	0,52	1300,00	0,381	0,86
50	1,00	0,86	1600,00	0,691	0,98
60	0,58	0,98	1700,00	0,735	0,92
70	0,14	0,92	1700,00	0,714	0,72
80	0,00	0,72	1500,00	0,631	0,46
90	0,00	0,46	1200,00	0,342	0,29
100	0,00	0,29	1000,00	0,162	0,20
110	0,00	0,20	900,00	0,070	0,15
120	0,00	0,15	900,00	0,051	0,12
130	0,00	0,12	900,00	0,023	0,10
140	0,00	0,10	900,00	0,023	0,09
150	0,00	0,09	800,00	0,013	0,08
160	0,00	0,08	800,00	0,013	0,07
170	0,00	0,07	800,00	0,005	0,06
180	0,00	0,06	800,00	0,005	0,06
190	0,00	0,06	800,00	0,005	0,05
200	0,00	0,05	800,00	0,005	0,05
210	0,00	0,05	800,00	0,005	0,05
220	0,00	0,05	800,00	0,001	0,05
230	0,00	0,05	800,00	0,001	0,05
240	0,00	0,05	800,00	0,001	0,04
250	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
260	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
270	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
280	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
290	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
300	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
310	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
320	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
330	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
340	0,00	0,04	800,00	0,001	0,04
350	0,00	0,04	800,00	0,001	0,03
360	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
370	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
380	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
390	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
400	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
410	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
420	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
430	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
440	0,00	0,03	800,00	0,001	0,03
450	0,00	0,03	800,00	0,001	0,02
460	0,00	0,02	800,00	0,000	0,02

**Tabela 27** – Método PULS Simplificado.

A partir da análise da planilha de cálculo acima percebe-se que a Lagoa seca proposta atinge sua altura máxima de 98 cm no minuto 50, no entanto sua vazão de saída máxima só é atingida no minuto 60. O cálculo apresentado analisa apenas a capacidade de retenção da água pluvial, desconsiderando a capacidade de infiltração e não dimensiona as camadas de drenagem uma vez que o volume retido nessas camadas é muito pequeno considerando a capacidade de acúmulo da lâmina de água livre acima do substrato. A Lagoa seca proposta segue os parâmetros da Tipologia da Lagoa seca sem infiltração apresentada no capítulo 06 (Figura 87).



**Figura 87** - Corte da Lagoa seca proposta.

Em comparação com a vazão de pico afluente do cenário de pré-urbanização de 0,43 m³/s e a vazão de pico afluente da bacia pós-urbanização (1,12 m³/s), a região sofreu com a urbanização em **261% de aumento da vazão de pico**. Com a implantação da Lagoa seca proposta, a vazão de pico efluente de 0,74 m³/s permite **amortecer 34% da vazão de pico** (equação 26) e consegue **mitigar 55%** dos efeitos da urbanização na região em relação ao cenário pré-urbanização (equação 27).

$$\text{Amortecimento} = \frac{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}} - Q_{e \text{ RESERVATÓRIO}}}{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}}} \cdot 100$$

$$\text{Amortecimento} = \frac{1,12 - 0,74}{1,12} \cdot 100$$

$$\text{Amortecimento} = 33,93\%$$

**Equação 26** – Capacidade de Amortecimento.

$$Mitigação = \frac{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}} - Q_{e \text{ RESERVATÓRIO}}}{Q_{a \text{ PÓS-URBANIZAÇÃO}} - Q_{a \text{ PRÉ-URBANIZAÇÃO}}} \cdot 100$$

$$Mitigação = \frac{1,12 - 0,74}{1,12 - 0,43} \cdot 100$$

$$Mitigação = 55,07\%$$

**Equação 27** – Capacidade de Mitigação.

Por fim, caso seja necessário um maior amortecimento, as dimensões do reservatório devem ser revistas, respeitando as limitações de área e de profundidade. É importante permitir descarga por gravidade na rede de drenagem e manter segurança da população.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água foi o objeto de estudo do trabalho, mostrando a importância dela no meio urbano e para a saúde da população apesar de sua degradação. O trabalho apresentou como se deu o processo de relacionamento da cidade com a água no decorrer dos anos, quais os efeitos que o processo de urbanização das cidades e sua expansão vêm afetando os processos hídricos naturais e como estão interferindo no cotidiano da população.

Buscou-se entender as questões hidrológicas dentro da cidade e como são estas são afetadas pela impermeabilização intensiva em prol do crescimento urbano. Além de apresentar métodos de cálculos que auxiliem num estudo inicial de pré-dimensionamento das estruturas de Infraestrutura Verde.

Essa abordagem contemporânea, que teve seus primórdios com Frederick Law Olmsted no século XIX, se faz necessária para a mudança de paradigma frente às mudanças climáticas e aos problemas que vem sendo cada vez mais acentuados e desastrosos. O trabalho apontou as soluções voltadas para o manejo mais sustentável da água pluvial no meio urbano na escala do lote e da quadra. Estas Soluções baseadas na Natureza foram detalhadas de maneira técnica para se entender quando e onde aplicar, além de seus benefícios e limitações, mostrando soluções que abordem o problema na fonte, distribuindo a água por toda a bacia hidrográfica e evitando a concentração a jusante que iria gerar transtornos na malha urbana.

Esse guia não tem como objetivo apontar que as Soluções baseadas na Natureza e a Infraestrutura Verde vieram para substituir a infraestrutura existente tradicional. Elas não têm capacidade de amortecer totalmente os problemas que a cidade provocou na paisagem sozinha ao longo do tempo. Elas visam apenas trazer mais resiliência integrando os dois sistemas a fim de reduzir custos econômicos e ambientais da cidade. Segundo Coffman (2002 apud PELLEGRINO, MOURA, 2017), há uma redução no custo do sistema de drenagem urbana de 25 a 30% quando adotadas Soluções baseadas na Natureza ao invés das soluções tradicionais. Tais infraestruturas visam trazer múltiplas funções e benefícios para a cidade através da inserção da biodiversidade de fauna e flora, melhorando a saúde pública e as dinâmicas sociais e ecológicas, coisa que a infraestrutura tradicional não tem.

Portanto, este trabalho teve com principal meta trazer um guia que sirva como direcionador e auxilie no planejamento sustentável das cidades brasileiras para que se tornem mais integradas com a natureza, adaptáveis e resilientes. A elaboração deste trabalho permitiu a elaboração de 02 guias gráficos de fácil consulta sendo um **Guia Completo**<sup>11</sup>, contendo todo o conteúdo deste trabalho; e outro um **Guia Compacto**<sup>12</sup>, apresentando apenas o detalhamento das tipologias de Soluções baseadas na Natureza.

---

<sup>11</sup> Disponível no site: <https://issuu.com/luizanog/docs/monografialuiza> - hiperlink

<sup>12</sup> Disponível no site: [https://issuu.com/luizanog/docs/guia\\_compacto](https://issuu.com/luizanog/docs/guia_compacto) - hiperlink

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA, CMM Notícias. 2021. **Soluções baseadas na Natureza podem ajudar Municípios a atingir o desenvolvimento sustentável.** Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-podem-ajudar-municipios-a-atingir-o-desenvolvimento-sustentavel>> Acesso em 03 set. 2022

ALENCAR, J.C. **Uma nova geração de reservatórios de detenção e retenção através da Infraestrutura Verde e Azul.** Pesquisa de pós-doutoramento. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo. junho 2019. Disponível em: <[https://issuu.com/julianaalencar3/docs/rf\\_posdoc-fau2019-a4-issuu](https://issuu.com/julianaalencar3/docs/rf_posdoc-fau2019-a4-issuu)> Acesso em: 25 mai. 2022.

ANDRADE, J. C. M., TAVARES, S. R. L., MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental.** E-book. Oficina de Textos. São Paulo. 2007.

AQUAFLUXUS. 2017. Disponível em: <<https://www.aquafluxus.com.br/como-estimar-o-tempo-de-concentracao-de-uma-bacia-hidrografica/?lang=en>> Acesso em: 31 jul. 2022.

AQUAFLUXUS. **Drenagem sustentável.** s/d.

AQUAFLUXUS. **Hidrologia.** s/d.

ARAÚJO, L. A. **Soluções baseadas na natureza para a Bacia do Rio Comprido: estratégias biofílicas para uma requalificação fluvial urbana.** Monografia (especialização). Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <[https://issuu.com/lucasaraujo.arq/docs/lucas\\_araujo\\_monografia](https://issuu.com/lucasaraujo.arq/docs/lucas_araujo_monografia)> Acesso em: 12 abr. 2022.

AZEVEDO NETO. **Manual de Hidráulica.** 2003.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** ABRH. 2015. 2ª Edição. 318 p.

BARROW, T. CTV News. 2022. Disponível em: <<https://saskatoon.ctvnews.ca/it-saved-us-saskatoon-dry-pond-system-passes-heavy-rainfall-test-1.5966543>> Acesso em: 09 jul. 2022.

BENEDICT, M. A., MCMAHON, E. T. **Green Infrastructure: linking landscapes and communities.** Island Press. Washington D.C. 2006.

BENINI, S. M. **Infraestrutura Verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP.** Tese de Doutorado. 2015. 220 fls.

BEYER, L., ANDERSON, J. **Planejamento integrado de Soluções baseadas na Natureza é essencial para a resiliência urbana.** 2020. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/planejamento-integrado-de-solucoes-baseadas-na-natureza-e-essencial-para-resiliencia>> Acesso em 03 set. 2022.



BONZI, R. S. **Andar sobre Água Preta: a aplicação da infraestrutura verde em áreas densamente urbanizadas.** Dissertação de Mestrado. FAUUSP. São Paulo. 2015.

BRANDÃO, F. C. A. S., CRESPO, H. A. **Diretrizes Relacionadas à Implantação da Infraestrutura Verde para Aumentar a Resiliência Urbana às Mudanças Climáticas.** Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2016.

BRASIL, C. I. 2019. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-10/estudo-diz-que-sudeste-reune-maior-numero-de-residentes-422>> Acesso em: 27 mar. 2022.

CACCIA, L. **Políticas públicas de soluções baseadas na natureza avançam em cidades brasileiras.** 2020. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/politicas-publicas-de-solucoes-baseadas-na-natureza-avancam-em-cidades-brasileiras>> Acesso em 03 set. 2022.

CAMPOS, M. s/d. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>> Acesso em: 27 mar. 2022.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2ed. São Paulo. Oficina de Textos. 2014.

CARDIM Paisagismo. s/d. Disponível em: <<http://www.cardimpaisagismo.com.br/portfolio/largo-das-araucarias/#lightbox-gallery-bGlnaHRib3g=/0/>> Acesso em: 07 jul. 2022.

CASTAGNA, G. **Aula Assíncrona 02.** Programa de Pós Graduação de Especialização em Paisagismo Ecológico: Planejamento e Projeto da Paisagem. PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2021.

CBC NEWS. 2022. Disponível em: <<https://www.cbc.ca/news/canada/saskatoon/saskatoon-flooding-update-2022-1.6499409>> Acesso em: 09 jul. 2022.

CINGAPURA. Public Utilities Board (“PUB”). **ABC Waters Design Guidelines.** 4º Edição. Cingapura: Public Utilities Board (“PUB”). Cingapura. 2018.

CORMIER, N. S., PELLEGRINO, P. R. M. **Infra-Estrutura Verde: uma Estratégia Paisagística para a Água Urbana.** Paisagem e Ambiente n. 25. São Paulo. 2008.

CRED (ONU). **The human cost of disasters: An overview of the last 20 years 2000-2019.** Center for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED. UNISDR - The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Relatório. Brussels. Geneva. 2020.

DREISEITL. s/d. Disponível em: <<https://www.dreiseitlconsulting.com/tanner-springs-park>> Acesso em: 08 jul. 2022.

EVERS, H., INCAU, B., CACCIA, L., CORRÊA, F. 2022. **Soluções baseadas na Natureza para adaptação em cidades: o que são e por que implementá-las.** Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-para-adaptacao-em-cidades-o-que-sao-e-por-que-implementa-las>> Acesso em 03 set. 2022

FIPT. **Guia metodológico para implantação de infraestrutura verde.** Livro eletrônico. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo. 2020.

FLETCHER, T. D. et al. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage.** Urban Water Journal. Vol. 12 n. 7. 525 - 542. 2014.

FLUXUS. s/d. Disponível em: <<http://fluxus.eco.br/portfolio/jardim-de-chuva-largo-das-araucarias/#toggle-id-2>> Acesso em: 07 jul. 2022.

GAMA, M. 2022. **Soluções baseadas em Natureza (NBS): Barreiras e viabilizadores para adotá-las.** Disponível em: <<https://marcioeconomiaverde.com/2022/07/26/o-que-sao-solucoes-baseadas-em-natureza-nbs-e-quais-as-barreiras-e-viabilizadores-para-adota-las/>> Acesso em 03 set. 2022

GREEN WORKS. s/d. Disponível em: <<https://greenworkspc.com/ourwork/tanner-springs-park>> Acesso em: 08 jul. 2022.

HERZOG, C. P. **Infra-Estrutura Verde para cidades mais sustentáveis.** Seção IV: Ambiente construído. ICLEI. 2010.

HERZOG, C. P. **Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza.** Rio de Janeiro: Mauad Editora e Inverde. 2013. 312p.

HERZOG, C. P. **Introdução a Infra Verde: Aula Assíncrona.** Programa de Pós Graduação de Especialização em Paisagismo Ecológico: Planejamento e Projeto da Paisagem. PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2021.

HERZOG, C. P. **Introdução a SBN: Aula Assíncrona.** Programa de Pós Graduação de Especialização em Paisagismo Ecológico: Planejamento e Projeto da Paisagem. PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2021.

HERZOG, C. P., ROSA, L. Z. **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: 21 ago. 2022.

IBGE. 2014. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21633-desastres-naturais-59-4-dos-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-riscos>> Acesso em: 27 mar. 2022.

ICLEI. 2021. **Organizações se unem para estimular o uso de Soluções baseadas na Natureza no Brasil.** Disponível em: <<https://americadosul.iclei.org/organizacoes-se-unem-para-estimular-uso-de-solucoes-baseadas-na-natureza-no-brasil/>> Acesso em 03 set. 2022.

INEA. **Manejo das águas urbanas: nova perspectiva para o Jockey Club Brasileiro.** Revista Ineana/Instituto Estadual do Ambiente. Especial (mar. 2022) - Rio de Janeiro: INEA. 2022 p. 6-27.

LICCO, E. A., DOWELL, S. F. M. **Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança.** Iniciação. Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística.

Edição Temática em Sustentabilidade. Vol. 5. nº. 3. Centro Universitário Senac. São Paulo. dezembro 2015.

**MCTI. Os Desafios das águas e as SBN para o desenvolvimento de cidades sustentáveis - Soluções baseadas na Natureza para o desenvolvimento de cidades sustentáveis.** 2020.

**MCTIC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Aquecimento Global de 1,5º C.** Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC). Brasil. julho de 2019.

**MELO, C. L. Evolução da contaminação na área do vazamento de óleo cru na repar (2000): Estudo do sistema “Banhado 4” e aplicação do método de polarização induzida na investigação da biodegradação de hidrocarbonetos.** Volume I. Tese de Doutorado em Ciências. UFRGS. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre. 2006.

**MIGUEZ, M. G., REZENDE, O. M., VERÓL, A. P. Interações entre o Rio dos Macacos e a Lagoa Rodrigo de Freitas sob a ótica dos problemas de drenagem urbana e ações integradas de revitalização ambiental.** Oecologia Australis, 16(3): 615-650. 2012.

**MIGUEZ, M.G., VERÓL, A., REZENDE, O. M. Drenagem urbana - do projeto tradicional a sustentabilidade.** E-book. 1ed: Elsevier. Rio de Janeiro. 2015.

**MOTTA, R. S. Oportunidades e Barreiras no Financiamento de Soluções baseadas na Natureza.** Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2020.

**MOURA, N. C. B. Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas das chuvas.** São Paulo. 2013.

**NETO, P. L. A., ALVARENGA, M. C. S. Análise do uso de resíduos da construção civil reciclados como agregado miúdo na produção do concreto.** Rio Paranaíba. 2019.

**NETO, P. S. G, VEROL, A. P., MIGUEZ, M. G., VAZQUEZ, E. G. Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil.** Brazilian Journal of Development. 2019.

**NEVES, E. T. Curso de Hidráulica.** 1970.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ONU. s/d. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>> Acesso em: 15 abr. 2022.

OICS, s/d. **Catálogo Brasileiro de Soluções baseadas na Natureza.** Disponível em: <<https://catalogo-sbn-oics.cgee.org.br/capitulos/planejamento-sistemico-para-sbn/aspectos-legais-e-normativos/>> Acesso em 03 set. 2022

OICS. s/d. Disponível em: <[https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/canteiro-pluvial-em-bairro-residencial-de-sao-paulo\\_5d10cdd145e3fa1e721b1d6d](https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/canteiro-pluvial-em-bairro-residencial-de-sao-paulo_5d10cdd145e3fa1e721b1d6d)> Acesso em: 08 jul. 2022.

OICS. s/d. Disponível em: <[https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/parque-da-nascente-do-rio-tanner-tanner-springs-park-\\_5cf1451445e3fa1e72191d81](https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/parque-da-nascente-do-rio-tanner-tanner-springs-park-_5cf1451445e3fa1e72191d81)>  
Acesso em: 08 jul. 2022.

OPAS. **Desastres Naturais e Saúde no Brasil**. il. Série Desenvolvimento Sustentável e Saúde, 2. Organização Pan-Americana da Saúde. Ministério da Saúde. Brasília. 2014. 49p.

PAULEIT, S. et al. **Chapter 03 - Natured-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green**. 2017.

PELLEGRINO, P., MOURA, N. B. **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri, SP: Manole. 1ed. São Paulo. 2017.

PEREIRA, M. C., GOBATTI, L., SOARES, M. C., LEITE, B. C. C., MARTINS, J. R. S. **Soluções Baseadas na Natureza - Quadro da Ocupação da Cidade de São Paulo por células de Biorretenção**. Revista LABVerde. FAUUSP. São Paulo. v.11, n. 01, 2021. (95 - 120 p.)

PEZENTE, M. F. M. **Relação entre urbanização e rios: Um estudo da cidade de Francisco Beltrão (PR)**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Florianópolis. 2018.

PINHEIRO, M. B. **Curso Online de Infraestrutura Verde - Soluções Baseadas na Natureza para a Gestão de Águas Urbanas**. Universidade Livre Oswaldo Cruz. São Paulo. Outubro 2021.

PINHEIRO, M. B. **Plantas para Infraestrutura Verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: Indicação de critérios para a seleção de espécies**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2017. 367p.

PRIZIBISCZKI, C. 2022. Disponível em: <<https://oeco.org.br/reportagens/o-brasil-no-relatorio-do-ipcc-o-que-podemos-esperar-do-futuro-no-cenario-de-mudancas-climaticas/>> Acesso em: 27 mar. 2022.

REZENDE, O. M. **Análise Quantitativa da Resiliência a Inundações para o Planejamento Urbano: Caso da Bacia do Canal do Mangue no Rio de Janeiro**. UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro. 2018.

REZENDE, O. M. **Introdução a Hidrologia: Aula Assíncrona**. Programa de Pós Graduação de Especialização em Paisagismo Ecológico: Planejamento e Projeto da Paisagem. PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2020.

RIO-ÁGUAS. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana**. Subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas. Secretaria Municipal de obras. Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2019.

RIO-ÁGUAS. **Plano municipal de saneamento básica da cidade do rio de janeiro. Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**. Secretaria Municipal de Saneamento e Recursos Hídricos. Prefeitura do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Dezembro de 2015.

SASKATODAY. 2021. Disponível em: <<https://www.sasktoday.ca/central/local-news/dry-storm-pond-project-partially-complete-4741286>> Acesso em: 09 jul. 2022.

SCHUSTER, R. C. **Desenvolvimento de um modelo hidrológico de transformação chuva-vazão e propagação de vazão em reservatórios.** Monografia graduação Engenharia Ambiental. UFRGS. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2014. Porto Alegre.

SILVA, B. R. **Telhados verdes em clima tropical: uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica.** UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro. 2016.

SILVA, J. C. A. **Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e difusas - estudo de caso: córrego Ibiraporã e do Sapé.** São Paulo. 2014. 192p.

SILVA, L. H., FILHO, F. C. M. M., RODRIGUES, A. L. M., MORAIS, E. B. **Sistemas de biorretenção para manejo das águas pluviais: panorama internacional e critérios para projeto.** Research, Society and Development, v.9, n. 11. Brasil. 2020.

SILVA, S. R. **A Contribuição da Infraestrutura Verde para as Cidades.** Rio de Janeiro. 2017.

SPU. **Green Stormwater Infrastructure 2017-2018 Overview and Accomplishment Report.** Seattle Public Utilities (SPU). s/d.

THE EMERGENCY EVENTS DATABASE. Disponível em: <[https://www.emdat.be/emdat\\_atlas/sub\\_html\\_pages/sub\\_html\\_BRA.html](https://www.emdat.be/emdat_atlas/sub_html_pages/sub_html_BRA.html)> Acesso em: 13 jul. 2021.

THE FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP. Disturbance Affecting Stream Corridors. In: **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices.** Relatório. p.171-198. 1998. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1043244>> Acesso em: 17 jul. 2021.

THE WORLD BANK GROUP. **Climate Risk Profile: Brazil.** 2021.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e Cheias: Medidas de controle na fonte.** Dissertação. São Paulo. 2013. 137p.

UACDC (University of Arkansas Community Design Center). **Low Impact Development: A Design Manual for Urban Areas.** University of Arkansas Press. 2010.

VASCONCELLOS, A. A. **Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana.** 1 ed. Appris. Curitiba. 2015. 229p.

VIANA, V. J., DUARTE, G. O., SANTOS, C. M. S., MORAES, L. L. **Base Legal de Implementação de Infraestrutura Verde Aplicada à Redução de Riscos de Inundação no Rio de Janeiro.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. 15º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Caldas. 2018.

VICK, M. 2022. Disponível em:  
<<https://www.nexojornal.com.br/expresso/2022/03/21/Como-as-cidades-tentam-se-adaptar-%C3%A0-mudan%C3%A7a-clim%C3%A1tica>> Acesso em: 27 mar. 2022.

VOLSCHAN, I., TSUTIYA, M. T., MARTINS, R. H. O., YAZAKI, L. F. O. **Sistema Unitário X Sistema Separador Absoluto**. Revista DAE. 2009. Companhia de Saneamento básico do estado de São Paulo. Sabesp. n. 180 p. 40-43. São Paulo. maio de 2009.