

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS CERRO LARGO**  
**GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**CAROLINA ZIEMBOWICZ**

**JARDINS DE CHUVA: ESTUDO DE CASO EM UNIDADE HABITACIONAL DE  
CERRO LARGO - RS**

**CERRO LARGO**  
**2021**

**CAROLINA ZIEMBOWICZ**

**JARDINS DE CHUVA: ESTUDO DE CASO EM UNIDADE HABITACIONAL DE  
CERRO LARGO - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana Marques Schöntag  
Coorientador: Prof. Dr. Márcio Antônio Vendrusculo

**CERRO LARGO**

**2021**

### **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Ziembowicz, Carolina  
JARDINS DE CHUVA: ESTUDO DE CASO EM UNIDADE  
HABITACIONAL DE CERRO LARGO - RS / Carolina Ziembowicz.  
-- 2021.  
72 f.:il.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana Marques Schöntag  
Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Antônio Vendrusculo  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro  
Largo, RS, 2021.

1. Técnicas compensatórias. 2. Manejo de águas  
pluviais. 3. Sistema de biorretenção. 4. Controle na  
fonte. I. Schöntag, Juliana Marques, orient. II.  
Vendrusculo, Márcio Antônio, co-orient. III.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

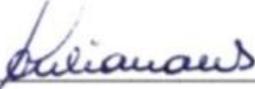
**CAROLINA ZIEMBOWICZ**

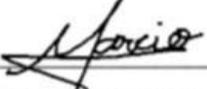
**JARDIM DE CHUVA: ESTUDO DE CASO EM UNIDADE HABITACIONAL EM  
CERRO LARGO - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho de conclusão foi defendido e aprovado pela banca em: 11/10/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Juliana Marques Schöntag - UFFS  
Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mário Antônio Vendrusculo  
Coorientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mario Sergio Wolski  
Avaliador

## RESUMO

As águas pluviais, antes vista como rejeito, eram destinadas ao rápido escoamento em direção aos corpos hídricos. Esse entendimento tornou o processo de drenagem urbana das cidades insustentável, principalmente as mais urbanizadas. Baseado nisso, novas alternativas passaram a ser desenvolvidas, a fim de remediar os impactos negativos que ocorrem nas áreas urbanas, como inundações e alagamentos. Essas novas alternativas pretendem integrar todo o sistema de drenagem, com o intuito de controlar a geração de escoamento desde o início do evento de precipitação. Uma dessas medidas de controle de águas pluviais na fonte, que atenuam o escoamento devido ao aumento da urbanização são os *jardins de chuva*. Os *Jardins de Chuva* são dispositivos que apresentam uma área vegetada rebaixada, que captura o escoamento das áreas impermeabilizadas ao seu redor, retendo e tratando os poluentes presentes nas águas das chuvas. Considerando a importância da drenagem urbana para a sociedade, este estudo realizou a aplicação de um *Jardim de Chuva*, como medida de controle das águas pluviais, em um lote habitacional localizado na cidade de Cerro Largo-RS, com a finalidade de analisar a sua eficiência como sistema de biorretenção, armazenamento e infiltração. O dispositivo foi concebido e dimensionado visando o armazenamento e infiltração das águas pluviais. A implementação desse dispositivo proporcionou um amortecimento de uma parcela da água da chuva, que era interceptada por este lote urbano, densamente pavimentado e gerava pontos de alagamento neste local, garantindo um manejo adequado das águas pluviais urbanas, e evitando danos materiais à residência, além de promover uma melhoria no ambiente, tornando-o mais agradável.

**Palavra chave:** Manejo de águas pluviais. Sistemas de biorretenção. Infiltração. Retenção.

## ABSTRACT

Rainwater, previously seen as tailings, was destined for rapid flow towards water bodies. This understanding made the process of urban drainage in cities unsustainable, especially the most urbanized ones. Based on this, new alternatives have been developed in order to remedy the negative impacts that occur in urban areas, such as flooding and flooding. These new alternatives intend to integrate the entire drainage system, in order to control the flow generation from the beginning of the precipitation event. One of these measures to control rainwater at the source, which attenuates runoff due to increased urbanization, is the *rain gardens*. The *Rain Gardens* are devices that feature a lowered vegetated area, which captures the runoff from the impermeable areas around them, retaining and treating the pollutants present in the rainwater. Considering the importance of urban drainage for society, this study carried out the application of a *Rain Garden*, as a measure of rainwater control, in a housing lot located in the city of Cerro Largo-RS, in order to analyze its efficiency as a bioretention, storage and infiltration system. The device was designed and dimensioned for the storage and infiltration of rainwater. The implementation of this device provided a dampening of a portion of the rainwater, which was intercepted by this densely paved urban lot and generated flooding points in this location, ensuring proper management of urban rainwater, and preventing material damage to the residence, in addition to promote an improvement in the environment, making it more pleasant.

**Key words:** Stormwater management. Bioretention systems. Infiltration. Retention.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Alterações do ciclo da água causadas pela impermeabilização dos solos.....   | 15 |
| Figura 2 - Consequências de uma urbanização não planejada.....  | 16 |
| Figura 3 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação.....                                     | 18 |
| Figura 4 - Classificação das técnicas compensatórias para o manejo de águas pluviais.....   | 19 |
| Figura 5 - Ilustração esquemática dos conceitos Reservação x Canalização.....   | 20 |
| Figura 6 - Bacia de retenção.....   | 22 |
| Figura 7 - Bacia de detenção.....   | 22 |
| Figura 8 - Reservatório <i>on-line</i> e <i>off-line</i> .....  | 23 |
| Figura 9 - Valeta de infiltração.....   | 26 |
| Figura 10 - Telhado verde.....  | 28 |
| Figura 11 - Trincheira de infiltração.....  | 29 |
| Figura 12 - Pavimento permeável de concreto ou asfalto poroso.....  | 31 |
| Figura 13 - Pavimento permeável de blocos de concreto vazado preenchidos com grama.....   | 31 |
| Figura 14 - Esquema de jardim de chuva.....   | 33 |
| Quadro 1 - Características de um jardim de chuva.....   | 34 |
| Figura 15 - Estrutura de um jardim de chuva mostrando as diversas camadas.....  | 35 |
| Figura 16 - Sequência de tratamentos.....   | 36 |
| Figura 17 - Fatores de seleção das medidas estruturais em escala de lote.....   | 37 |
| Figura 18 - Correlação entre técnicas compensatórias e os critérios de seleção.....   | 38 |
| Figura 19 - Mapa de situação da unidade habitacional, Cerro Largo - RS.....   | 39 |
| Figura 20 - Desnível apresentado no local de aplicação do jardim de chuva.....  | 41 |
| Quadro 2 - Valor do coeficiente de escoamento (C) baseado no tipo de superfície.....  | 45 |
| Figura 21 - Esquema do ensaio de infiltração.....   | 46 |
| Figura 22 - Realização prática do teste de infiltração.....   | 47 |
| Figura 23 - Movimento da água saindo do jardim de chuva piloto e se infiltrando no solo....   | 47 |
| Figura 24 - Camadas do jardim de chuva piloto construído na unidade habitacional.....   | 49 |
| Quadro 3 - Dados utilizados para encontrar a altura da camada de brita.....   | 51 |
| Figura 25 - Etapas da construção do jardim de chuva piloto: solo natural, areia, brita, geotêxtil, substrato e cobertura vegetal e dolomitas brancas..... | 53 |
| Figura 26 - Evento de chuva do dia 25/08/2021.....  | 54 |
| Figura 27 - Evento de chuva do dia 17/09/2021.....  | 54 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Conceito de Canalização x Conceito de Reservação.....                           | 21 |
| Tabela 2 - Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana.....                          | 44 |
| Tabela 3 - Caracterização da cobertura vegetal.....  | 50 |
| Tabela 4 - Cálculo da interpolação para determinar a altura da camada de brita.....        | 51 |
| Tabela 5 - Alturas de brita para os tempos de retorno ( <i>TR</i> ) de 2, 5 e 10 anos..... | 52 |
| Tabela 6 - Custo de montagem do jardim de chuva piloto.....                                | 54 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|         |  |
|---------|--|
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  |
| DEP POA | Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre |
| ASCE    | American Society of Civil Engineers              |
| IDF     | Intensidade - duração - frequência               |
| PNDA    | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios      |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                        |   |
|------------------------|---|
| $a, b, c \text{ e } d$ | Parâmetros característicos da curva IDF de cada local |
| $TR$                   | Tempo de retorno                                      |
| $t$                    | Duração da precipitação                               |
| $i$                    | Intensidade da precipitação                           |
| $Q$                    | Vazão máxima  |
| $C$                    | Coefficiente de escoamento                            |
| $A$                    | Área da bacia   |
| $V_E$                  | Volume de entrada                                     |
| $T$                    | Tempo   |
| $V_S$                  | Volume de saída                                       |
| $V_A$                  | Volume de armazenamento                               |
| $A_{inf}$              | Área de infiltração                                   |
| $I_{ac}$               | Infiltração acumulada                                 |
| $\eta_A$               | Porosidade da areia                                   |
| $\eta_B$               | Porosidade da brita                                   |
| $H_A$                  | Altura da camada de areia                             |
| $H_B$                  | Altura da camada de brita                             |
| $B$                    | Largura da base do dispositivo                        |
| $L$                    | Comprimento da base do dispositivo                    |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>  | <b>12</b> |
| 1.1 OBJETIVOS   | 13        |
| <b>1.1.1 Objetivo Geral</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.1.2 Objetivos Específicos</b>  | <b>13</b> |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>   | <b>14</b> |
| 2.1 AÇÃO ANTRÓPICA E SEUS IMPACTOS NA DRENAGEM                                    | 14        |
| 2.2 EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE AGRAVAMENTO DE CHEIAS E DOS SISTEMAS DE DRENAGEM      | 17        |
| 2.3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS ESTRUTURAIS X MEDIDAS NÃO CONVENCIONAIS               | 20        |
| <b>2.3.1 Medidas de armazenamento</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.3.2 Medidas de infiltração</b>   | <b>23</b> |
| 2.3.2.1 Valos e Valetas de Infiltração  | 25        |
| 2.3.2.2 Telhado Verde   | 27        |
| 2.3.2.3 Trincheira de Infiltração   | 29        |
| 2.3.2.4 Pavimento permeável   | 30        |
| 2.3.2.5 Jardim de chuva   | 32        |
| 2.4 ESCOLHA DA TÉCNICA ADEQUADA   | 35        |
| <b>3. METODOLOGIA</b>   | <b>39</b> |
| 3.1 ESTUDO DE CASO - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESCOLHA DA MEDIDA COMPENSATÓRIA | 39        |
| 3.2 CONCEPÇÃO PRELIMINAR DO PROJETO   | 40        |
| 3.3 PROJETO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL APLICADO NA ÁREA PILOTO                       | 42        |
| <b>3.3.1 Dimensionamento</b>  | <b>42</b> |
| 3.3.1.1 Área  | 42        |
| 3.3.1.2 Estrutura   | 42        |
| 3.3.1.2.1 Intensidade de precipitação   | 43        |
| 3.3.1.2.2 Alturas de precipitação   | 44        |
| 3.3.1.2.3 Volumes de entrada  | 44        |
| <b>3.3.2 Instalação</b>   | <b>48</b> |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>   | <b>51</b> |
| 4.1 CUSTOS DE MONTAGEM  | 53        |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>5. CONCLUSÃO</b>                  | <b>54</b> |
| <b>6. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES</b>  | <b>56</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> | <b>57</b> |
| <b>Apêndice</b>                      | <b>60</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, o aumento populacional e a expansão urbana descontrolada sem o devido planejamento urbano, originou áreas impermeabilizadas, acarretando significativas modificações na dinâmica dos sistemas de drenagem assim, amplificando os riscos de enchentes e inundações (SILVA, *et al.*, 2018). Fontes (2003) alega que o processo de urbanização provoca profundas alterações no uso do solo que, por sua vez, promovem marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, mostrando os efeitos mais consideráveis no aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial e na diminuição da infiltração.

Nas últimas décadas, tem-se evidenciado os limites nos sistemas de drenagem urbana baseados no imediato escoamento das águas pluviais em direção aos cursos hídricos, sobretudo nas cidades mais urbanizadas. Os sistemas clássicos são pouco flexíveis e adaptáveis às mudanças do uso do solo, que são frequentes em processos de urbanização. Percebe-se com isto a necessidade de levar em consideração três aspectos para um desenvolvimento eficaz dos sistemas de drenagem, sendo eles: econômico, social e ecológico (MELO, 2011).

A partir dessa ideia, algumas alternativas inovadoras estão sendo averiguadas com o objetivo de resguardar as estruturas naturais de escoamento, reduzindo as vazões a jusante, maximizando o controle de escoamento na fonte e mitigando os impactos ambientais. Esses sistemas de drenagem urbana, são chamados de técnicas compensatórias que, em grande parte, estão relacionados a detenção, retenção, interceptação, evapotranspiração, infiltração e armazenamento das águas pluviais, tendo como função recuperar o processo hidrológico das águas, evitando inundações e com o devido tratamento, reaproveitando a água (SAATKAMP, 2019). Trincheira de infiltração, pavimento permeável, e tetos verdes são exemplos de mecanismos que auxiliam no manejo sustentável das águas pluviais, onde o processo é executado na escala do lote, desta maneira, impedindo a transferência de volumes e excessos para ruas e vias (MELO, 2011).

Uma dessas novas alternativas, que visa compensar os efeitos negativos da drenagem urbana atual, é o *jardim de chuva*, que visa harmonia paisagística e a redução do acúmulo de água oriundo das precipitações. O *jardim de chuva* é um sistema de biorretenção que auxilia na infiltração, retenção e tratamento das águas advindas de superfícies impermeáveis, utilizando atividade biológica de plantas e microrganismos no seu tratamento (Silva *et al.*, 2018).

Assim, este trabalho apresenta um estudo experimental referente às funções de retenção e infiltração de um *jardim de chuva* instalado em uma unidade habitacional, na cidade de Cerro Largo-RS, avaliando seu desempenho como técnica compensatória no manejo de águas pluviais. O dispositivo instalado também é avaliado como estrutura de armazenamento das águas infiltradas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência de um *Jardim de Chuva* no controle da geração do escoamento superficial e minimização de pontos de alagamento, em uma unidade habitacional, no município de Cerro Largo - RS, através das funções de retenção e infiltração da água no solo.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Conceber, projetar e dimensionar o *Jardim de Chuva*, a partir das funções de retenção e infiltração;
- Construir o *Jardim de Chuva* como dispositivo de retenção e infiltração de água no solo;
- Avaliar qualitativamente o desempenho do *Jardim de Chuva* como dispositivo de amortecimento dos volumes de águas pluviais interceptados pelo lote urbano.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 AÇÃO ANTRÓPICA E SEUS IMPACTOS NA DRENAGEM**

A partir da década de 1970, a população brasileira sofreu um aumento expressivo e um intenso êxodo rural, principalmente pela perspectiva de oportunidades de empregos e serviços. O resultado desse processo iniciado há mais de cinco décadas pode ser observado através dos números apresentados pelo IBGE, na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNDA) 2015, segundo a qual 84,72% da população brasileira vive em áreas urbanas e 15,28% vivem em áreas rurais (IBGE, 2015). Isto significa que, como resultado, temos cidades extremamente populosas e sem infraestrutura adequada, por conta de um repentino crescimento.

Partindo do princípio que os centros urbanos se constituíram em meios naturais e que passaram a ser alterados pelo ser humano a fim de torná-los adequados às suas necessidades de sobrevivência, pode-se afirmar que o crescimento urbano descontrolado no país resultou em consequências desastrosas, no que tange a esfera ecológica. Essa modificação gera um quadro caótico em várias cidades, pois compromete e sobrecarrega os sistemas de infraestrutura existentes. Isso ocorre devido a falta de planejamento integrado entre as infraestruturas que constituem as cidades, profissionais especializados e legislações vigentes, principalmente nos contextos urbano e ambiental (MELO, 2011).

A urbanização, ao carecer de um planejamento integrado, tem gerado cada vez mais superfícies impermeabilizadas, como as edificações, execução de pavimentação e realização de outras obras. Na medida em que as áreas verdes, sem revestimento, são substituídas pelo cinza do concreto, o solo torna-se impermeável, já que as superfícies por onde a água poderia infiltrar são revestidas. Diante disso, como consequência direta da diminuição das áreas de infiltração das águas pluviais no solo, ocorre o aumento do volume de água proveniente do escoamento superficial, que é a água tentando encontrar um caminho em que consiga penetrar no solo e continuar seu ciclo natural. Conforme, Tucci (2016), produz um aumento da frequência e magnitude das inundações, redução do escoamento durante a estiagem, aumento da erosão e de material sólido carregados pelo escoamento superficial aumentado, o que piora a qualidade da água dos corpos hídricos.

A poluição dos corpos hídricos se deve ao transporte de poluentes, para rios e lagos, podendo ocorrer de forma direta ou indireta através dos sistemas de drenagem. Esse carregamento dos gases e partículas poluentes que ficam na atmosfera e sobre as superfícies

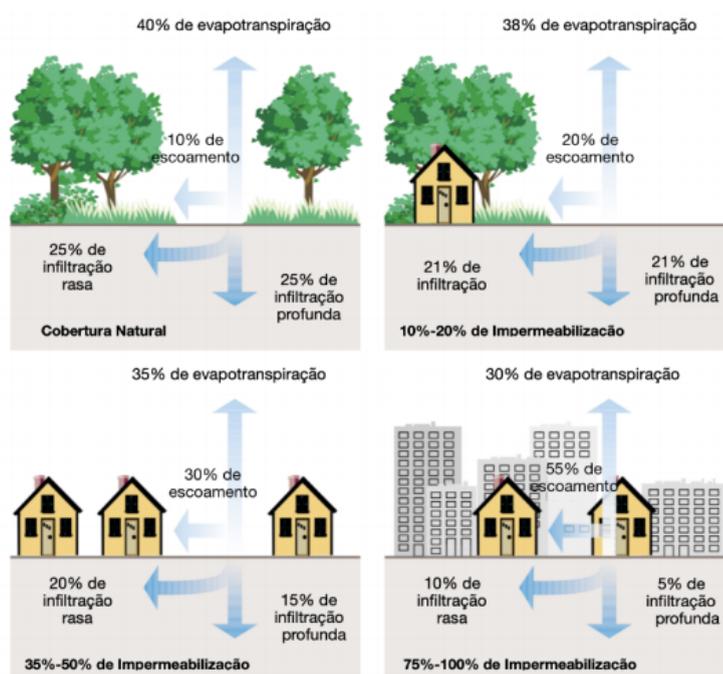
urbanas são provocados pela precipitação e posterior escoamento superficial da água, que consequentemente os carregam por longas distâncias (TUCCI, 2005).

As águas que antes retornavam ao ciclo hidrológico, principalmente pelos processos de infiltração, percolação e evapotranspiração, com a urbanização, escoam aceleradamente e com maior volume por telhados, calçadas, ruas, condutos e canais (MELO, 2011). A figura 1 apresenta essa relação do aumento da impermeabilização das superfícies associada à redução da capacidade de infiltração do solo.

Tucci & Bertoni (2003. p. 90), afirmam que:

O volume que, em condições naturais, escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pela vegetação, com a urbanização, passa a escoar em canais, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. Por essa ótica, os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

Figura 1 - Alterações do ciclo da água causadas pela impermeabilização dos solos

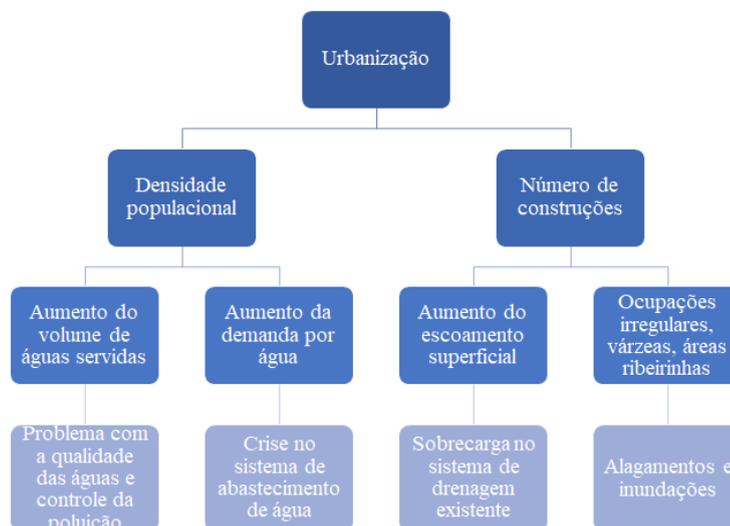


Fonte: Paz, R. A. (2004. p. 11).

Conforme ilustrado na Figura 1, não ocorre apenas a redução da infiltração no processo de impermeabilização das áreas urbanas, mas também a redução do processo de evapotranspiração, devido a retirada da vegetação urbana e o aumento da velocidade de escoamento superficial (MEDEIROS, 2019). Já a figura 2, apresenta consequências causadas

pelo acelerado crescimento da densidade demográfica e o número de construções, ocasionados por uma urbanização não planejada.

Figura 2 - Consequências de uma urbanização não planejada



Fonte: MELO ( 2011, p. 08).

De acordo com Melo (2011), e baseado na figura 2, o sistema de drenagem urbana torna-se bastante vulnerável a essas alterações de cobertura do solo, desencadeando uma diversidade de impactos que ocorrem sobre a população e o meio em que vive. Os principais problemas associados a esse sistema são:

- “Sobrecarga no sistema de drenagem existente - tanto pelo aumento do volume escoado, quanto pela carga de esgotos e resíduos sólidos recebidos de forma irregular.” (MELLO, 2011, p. 08)
- “Maior frequência de alagamentos e inundações - potencializados pela impermeabilização do solo e canalização de rios urbanos e canais;” (*Ibidem*, p. 08)
- “Deterioração da qualidade das águas - pela falta e/ou ineficiência de sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgotos, principalmente domésticos e industriais;” (*Ibidem*, p. 08)
- “Desastres naturais - pelo transbordamento de canais, inadequado uso e ocupação do solo (ocupação de áreas ribeirinhas com retirada de mata ciliar), processos erosivos e produção de sedimentos, que provocam o assoreamento de corpos hídricos, ” (*Ibidem*, p. 08)
- “Alteração da paisagem - mudança física no ambiente e poluição visual;” (*Ibidem*, p. 08).

- “Interferência na saúde pública - maior proliferação de vetores e doenças de veiculação hídrica devido à poluição nos sistemas de drenagem urbana, principalmente em canais urbanos” (*Ibidem*, p. 08).

Os impactos da urbanização na drenagem estão degradando o ambiente e as cidades através de eventos cada vez mais frequentes e agressivos. "Esse processo, infelizmente, não está sendo contido, e está sendo ampliado à medida que os limites urbanos aumentam ou a densificação se torna intensa" (TUCCI, 1997, p. 04). Essas consequências se fazem visíveis pela ampla divulgação na televisão e comunicações sociais, que mostram com frequência cenas catastróficas de perdas materiais e humanas em todas as regiões do Brasil (SAATKAMP, 2019).

## 2.2 EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE AGRAVAMENTO DE CHEIAS E DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

Juntamente com os problemas ocasionados pela urbanização, que se concretizaram a partir do desenvolvimento das cidades, surge o conceito higienista, fomentando a rápida evacuação das águas pluviais e servidas das áreas urbanas. Essa solução prevaleceu por séculos e foi uma solução eficiente para o período (RIMES, 2015).

De acordo com Moura (2004, p. 05):

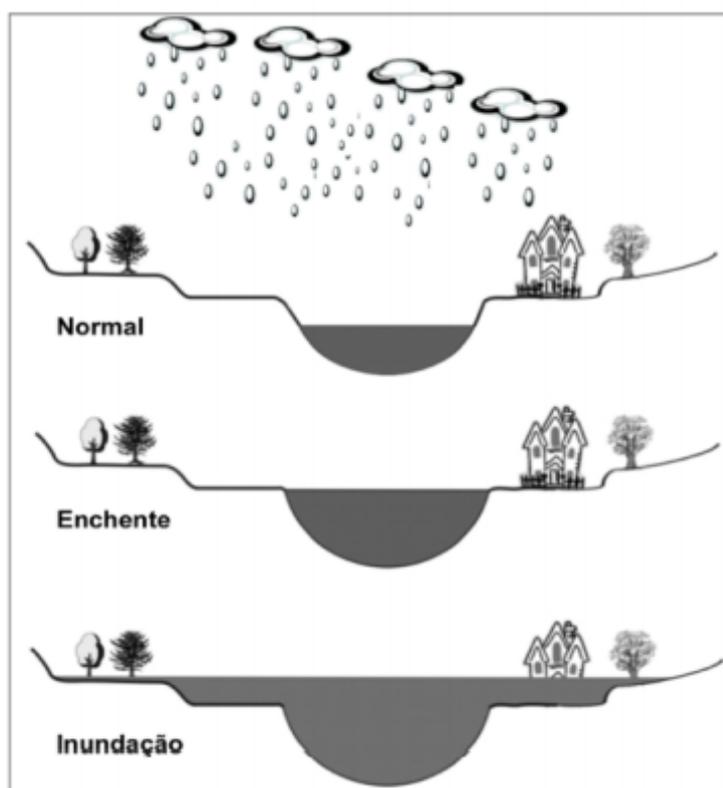
As técnicas clássicas de drenagem urbana são inspiradas nos princípios do higienismo. As águas pluviais são captadas e levadas a condutos artificiais, preferencialmente subterrâneos, funcionando por gravidade, sendo evacuadas das zonas urbanas e lançadas em corpos d'água rapidamente. Estas técnicas são dotadas de dispositivos de captação das águas superficiais, estruturas de condução, na forma de canais abertos ou condutos enterrados e obras complementares, tais como bueiros e dissipadores de energia. Este tipo de sistema é caracterizado, portanto, pela implantação de condutos que promovem uma maior eficiência hidráulica do escoamento, que passa a ocorrer com maior velocidade.

Entretanto, os sistemas clássicos se tornaram ultrapassados rapidamente, ocasionando problemas como alagamentos e inundações. Devido a dificuldade da instalação e da execução por causa dos processos de urbanização desenfreados, que acabavam por aumentar a velocidade de escoamento e por reduzir os períodos de concentração (CANHOLI, 2014). Dessa maneira, grandes investimentos são necessários para acompanhar a expansão dos centros urbanos, dificultando sua realização para o controle de enchentes (RIMES, 2015).

Segundo Canholi (2014), são as modificações causadas pela urbanização e as alterações do período de cheia natural dos rios que ocasionam as enchentes. Associados às

cheias naturais, estão os termos: alagamentos, enchentes, cheias e inundações, sendo necessário fazer uma distinção entre os mesmos. Conforme Goerl e Kobiyama (2005), uma enchente ou cheia ocorre quando as águas do rio elevam-se até atingir suas margens, porém não há transbordamento nas áreas adjacentes. Já a inundação ocorre a partir do momento em que as águas desse rio transbordam, como pode ser visto na figura 3.

Figura 3 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação.



Fonte: Goerl e Kobiyana (2005).

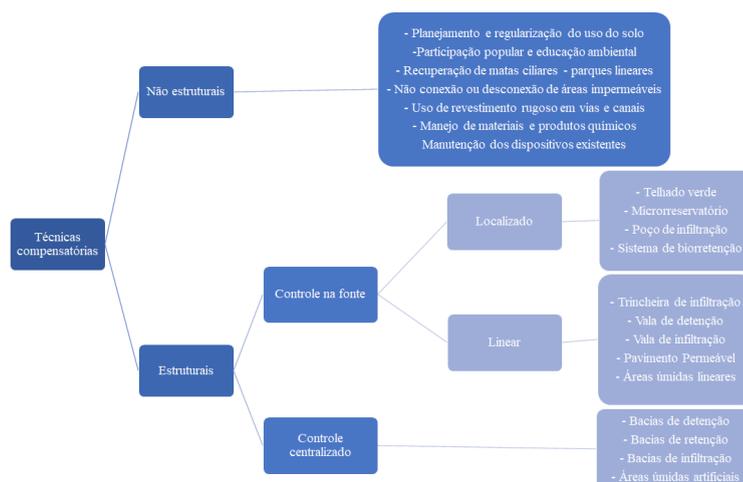
A tentativa de solucionar a perda das características naturais do meio, fez com que fosse necessária a criação de sistemas de drenagem relacionados a infiltração e armazenamento de águas pluviais. Com isso, na década de 70, surge uma nova abordagem para tratar os problemas de drenagem urbana, que são as técnicas compensatórias de drenagem, que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, resgatando seu ciclo e fluxo naturais e convivendo de maneira harmoniosa e pacífica com a população (RIMES, 2015).

Segundo Moura (2004. p. 05):

As técnicas compensatórias ou alternativas de drenagem urbana se opõem ao conceito de evacuação rápida das águas pluviais, baseiam-se na infiltração e retenção das águas precipitadas, acarretando uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o rearranjo temporal das vazões. Quando adequadamente concebidas, elas podem exercer um importante papel na melhoria da qualidade das águas pluviais. Elas podem assumir múltiplas formas, podendo ser utilizados em diferentes escalas, desde pequenas parcelas, até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras, além de poderem ser facilmente integrados ao meio ambiente, permitindo usos diversos pela população, como áreas de estacionamento, áreas para a prática de esportes, áreas de parques ou de lazer inundáveis.

As práticas de gestão e gerenciamento da drenagem urbana abrangem diferentes enfoques para tratar a questão e diversas combinações de medidas estruturais e não estruturais aplicáveis a cada situação específica (VILLANUEVA *et. al*, 2011). Dessa forma, as técnicas compensatórias para manejo de águas pluviais são classificadas em medidas estruturais e não estruturais (Figura 4).

Figura 4 - Classificação das técnicas compensatórias para o manejo de águas pluviais



Fonte: MELO ( 2011, p. 12).

Os sistemas de drenagem urbana atuais têm que assegurar a segurança dos indivíduos contra inundações e alagamentos, e propiciar a continuidade do desenvolvimento urbano sem sobrecarregar os orçamentos coletivos e particulares, auxiliando na recuperação da qualidade dos meios receptores (MOURA, 2004). Pômpeo (2000) ressalta que é preciso considerar três aspectos para uma adequada articulação entre drenagem urbana e o crescimento urbano: econômico, social e ecológico. A partir disso, algum modelo, estrutura ou proposta se tornará suficientemente eficaz.

## 2.3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS ESTRUTURAIS X MEDIDAS NÃO CONVENCIONAIS

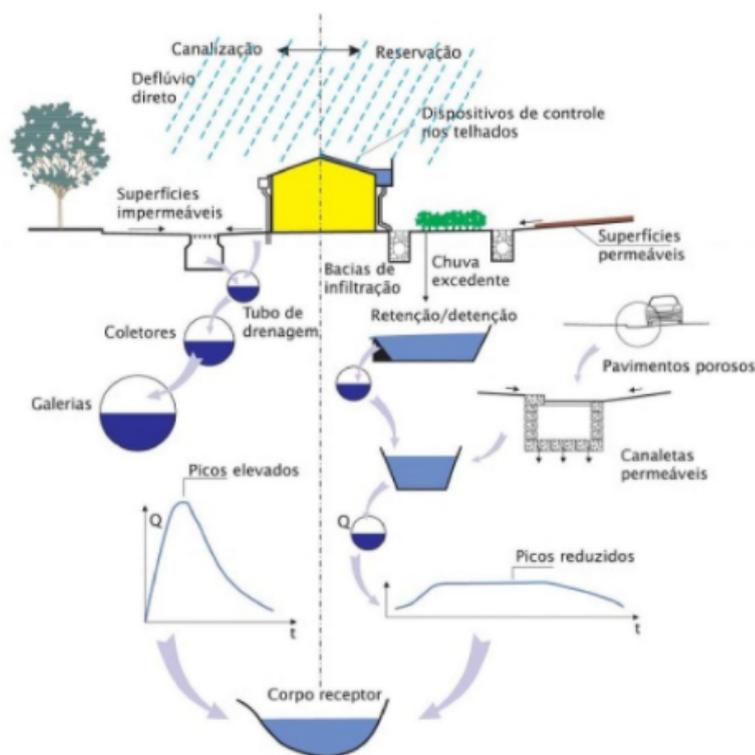
As técnicas de gestão e gerenciamento da drenagem urbana incluem diferentes enfoques para tratar as questões e as diversas combinações de medidas estruturais e não estruturais aplicáveis a cada situação específica (VILLANUEVA *et al*, 2011), o que segundo alguns autores, podem ser entendidas como medidas não convencionais.

Segundo Canholi (2014, p. 31):

As medidas não convencionais em drenagem urbana podem ser entendidas como estruturas, obras, dispositivos ou mesmo como conceitos diferenciados de projeto. São soluções que diferem do conceito tradicional de canalização, mas podem estar a ela associadas, para adequação ou otimização do sistema de drenagem. Dentre as medidas não convencionais mais frequentemente adotadas, destacam-se aquelas que visam incrementar o processo da infiltração; reter o escoamento em reservatórios; ou retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios.

Walesh (1989, *apud* Canholi, 2014, p. 31), “classifica as diretrizes gerais de projeto de drenagem urbana em “conceito de canalização” e “conceito de reservação””<sup>1</sup>. Na figura 5, é apresentado o esquema entre os principais dispositivos empregados em cada conceito.

Figura 5 - Ilustração esquemática dos conceitos de Reservação x Canalização



Fonte: Canholi, A.P. (2014, p. 36).

<sup>1</sup> Grifos do autor.

A diferença de canalização e reservação em relação às suas características como: função, aplicabilidade, impactos nos trechos a jusante (quantidade), impactos no trecho a jusante (qualidade), manutenção/operação e estudos hidrológicos/hidráulicos, é representada na tabela 1.

Tabela 1: Conceito de Canalização x Conceito de Reservação

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

Fonte: Canholi, A.P. (2014, p. 32).

Será abordado a seguir os conceitos de reservação, que para objetivo de estudo foram classificadas em dois grandes grupos: medidas de armazenamento e medidas de infiltração. Assim, os tópicos a seguir se destinam a examinar alguns desses dispositivos para posterior aplicabilidade em projetos de drenagem sustentável.

### 2.3.1 Medidas de armazenamento

As medidas de armazenamento se caracterizam pela possibilidade de reduzir o pico das enchentes, por meio do amortecimento conveniente das ondas de cheia, obtida pelo armazenamento de parte do volume escoado. São reservatórios para o armazenamento temporário das águas das chuvas e posterior liberação gradativa da água acumulada (RIMES, 2015).

Segundo Walesh (1989, *apud*, Canholi 2014), às estruturas de reserva podem ser diferenciadas em bacias de retenção e bacias de detenção. Bacias de retenção são reservatórios de superfície que sempre contém um volume de água permanente para servir às finalidades recreacionais, paisagísticas, ou até para abastecimento de água, pois favorecem o controle da qualidade da água (Figura 6).

Figura 6 - Bacia de retenção



Fonte: Canholi, A.P. (2014).

Bacias de detenção são áreas que ficam secas durante as estiagens, porém são projetadas para reter as águas superficiais apenas durante e após as chuvas (Figura 7). Também recebem o nome de reservatório de detenção os que se localizam nos lotes, porém possuem dimensões menores, mas com a mesma funcionalidade. O tempo de detenção tem relação com os picos máximos de vazão requeridos a jusante e com os volumes armazenados.

Figura 7 - Bacia de detenção

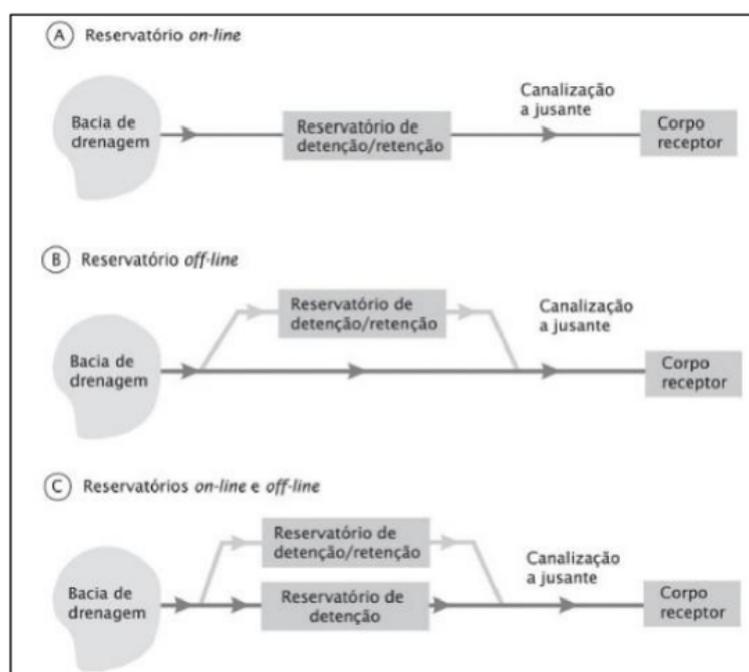


Fonte: Canholi, A.P. (2014).

Ainda pode ser dividida em dois tipos de reservatório, de acordo com o seu posicionamento e função nos sistemas de drenagem, que são os *on-line* e *off-line* (Figura 8).

“Reservatórios on-line encontram-se na linha principal do sistema e restituem os escoamentos de forma atenuada e retardada ao sistema de drenagem, de maneira contínua, normalmente por gravidade” (CANHOLI, 2014. p. 55). Enquanto “reservatórios off-line, retêm volumes de água desviados da rede de drenagem principal quando ocorre a cheia, e os devolvem para o sistema, geralmente por bombeamento, ou por válvulas controladas, após obtido o alívio nos picos de vazão” (*Ibidem.* p. 55).

Figura 8 - Reservatório on-line e off-line



Fonte: Canholi, A.P. (2014).

Ambos podem ter estruturas de infiltração na sua concepção. Na língua portuguesa, os termos detenção e retenção costumam ser sinônimos; entretanto, na linguagem técnica, estas bacias possuem diferenças tênues em suas estruturas (RIMES, 2015).

### 2.3.2 Medidas de infiltração

Segundo Canholi (2014), a contenção na fonte tem como objetivo:

Recuperar, o máximo possível, as condições hidrológicas locais anteriores a<sup>2</sup> ocupação da bacia. Essas técnicas, ditas alternativas ou compensatórias, buscam, por meio da utilização de diferentes processos físicos e biológicos e da visão multidisciplinar e sistêmica do problema, garantir a diminuição do volume escoado após a urbanização, a manutenção do tempo de concentração da bacia, o controle das

<sup>2</sup> Grafia utilizada pelo autor.

velocidades de escoamento, a manutenção da qualidade da água e o uso da água de chuva. Esses dispositivos são de pequenas dimensões e localizados próximos aos locais onde os escoamentos são gerados (fonte)”.

“Esse tipo de solução apresenta algumas vantagens, como o fato destes dispositivos serem normalmente compostos por pequenas unidades de reservação, que podem ser padronizadas” (CANHOLI, 2014. p. 37).

Canholi (2014. p. 37) reitera sobre a disposição na fonte:

Este tipo de reservação das águas precipitadas é tipicamente voltado ao controle em lotes residenciais e vias de circulação, constituído por obras ou dispositivos que promovam ou incrementem a infiltração e percolação das águas coletadas. O objetivo é reduzir os picos das vazões veiculadas para a rede de drenagem. A possibilidade de promover a recarga de aquíferos e o possível aproveitamento das águas reservadas para usos diversos constituem vantagens adicionais.

De acordo com Rimes (2015), para obter melhor resultado das medidas de infiltração é relevante conhecer o comportamento do solo e sua permeabilidade. O solo é formado de partículas sólidas que deixam espaços vazios de diferentes tamanhos entre elas. Pode-se definir como permeabilidade a capacidade do solo de permitir a passagem de água através de seus vazios. Por isso, a permeabilidade sofre influência de diversos fatores como:

- “Estrutura do solo – a disposição geométrica das partículas influencia na quantidade de ar e de água contidos nele” (RIMES, p. 39, 2015);
- “Estratificação do terreno – um terreno é formado por diversos tipos de solo dispostos em estratos que foram formados através da deposição de material ao longo do tempo” (*Ibidem*, p. 39);
- “O grau de saturação – quando o solo é saturado, todos os poros estão preenchidos e são condutores” (*Ibidem*, p. 39);
- “Índice de vazios – quanto maior a dimensão dos poros – volume de vazios – maior será a permeabilidade” (*Ibidem*, p. 39);
- “Temperatura – quanto maior é a temperatura, menor é a viscosidade, isto significa que a água escoará pelos poros do solo mais facilmente” (*Ibidem*, p. 39);
- “Granulometria – o tamanho das partículas que constitui o solo influencia na facilidade ou na dificuldade da água se deslocar por entre os vazios com certa velocidade” (*Ibidem*, p. 39).

Uma ampla variedade de estruturas de infiltração está disponível para auxiliar a concepção de um projeto de drenagem. Apesar de que possam ser desenvolvidas

individualmente, diferentes soluções podem surgir quando combinadas, otimizando o controle do escoamento e a remoção de poluentes (RIMES, 2015). A seguir, serão relacionadas as principais técnicas de um amplo conjunto de tecnologias de infiltração aplicadas à drenagem.

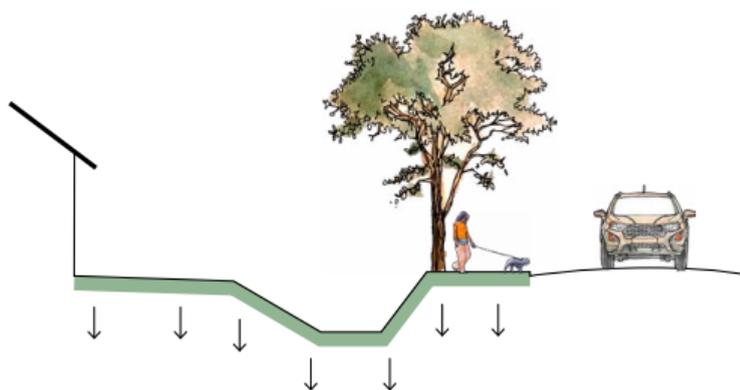
#### 2.3.2.1 Valos e Valetas de Infiltração

De acordo com Pinto (2011), valas e valetas de infiltração são as técnicas compensatórias mais antigas em drenagem urbana, funcionando inicialmente apenas para transporte e infiltração da vazão afluente. São técnicas compensatórias lineares, que constituem um sistema de condução, compostas por depressões escavadas no solo e/ou taludes inclinados, podendo ser revestidas com vegetação ou agregado graúdo (AGRA, 2001). Elas influenciam na drenagem urbana através da infiltração das águas pluviais ao longo do seu comprimento, funcionando como um canal, promovendo diminuição da velocidade do escoamento e possibilitando o armazenamento temporário de parte do volume de água até sua penetração no solo (FRELLO, 2016).

Uma característica importante das valas de infiltração é a facilidade da sua integração com o ambiente urbano, podendo ser instaladas próximo a ruas, estradas, ou estacionamentos, de forma a favorecer a infiltração (CANHOLI, 2014). As valas de infiltração funcionam por meio da introdução das águas de forma direta por escoamento superficial até a estrutura (Figura 9). O armazenamento é feito em superfície livre, no interior da estrutura. A evacuação das águas pluviais é efetuada por infiltração para o interior da vala e por escoamento superficial, diretamente para o corpo receptor (PACHECO, 2015).

Durante eventos de pequena magnitude, além de atuar no controle do escoamento superficial, as valas de infiltração promovem a remoção de poluentes na fonte, que é obtida por decantação, filtração e infiltração no subsolo. Desse modo, participam do tratamento da água resultante da drenagem, evitando a contaminação dos lençóis subterrâneos (RIMES, 2015).

Figura 9 - Valeta de infiltração



Fonte: FRANÇA, 2020.

Pinto (2011) afirma que as principais vantagens e desvantagens da utilização de valas de infiltração, como técnicas compensatórias em drenagem urbana, são:

Vantagens:

- Diminuição dos picos de enchentes, aumentando o tempo de concentração e diminuindo a velocidade de escoamento;
- retirada de poluentes do escoamento superficial;
- possibilidade de recarga do lençol freático;
- fácil execução;
- baixo custo de construção e manutenção;
- integração paisagística e valorização do espaço urbano.

Desvantagens:

- Não é recomendada a sua utilização em situações de grande fluxo e alta velocidade de água pluvial, podendo resultar na erosão da vala;
- não deve ser implantada em terrenos muito íngremes e que possuem lençol freático a menos de 1,2 m do fundo da vala;
- necessidade de terrenos com solos de permeabilidade suficiente;
- risco de entupimento;
- necessidade de manutenção periódica;
- provocam o eventual acúmulo de lixo.

### 2.3.2.2 Telhado Verde

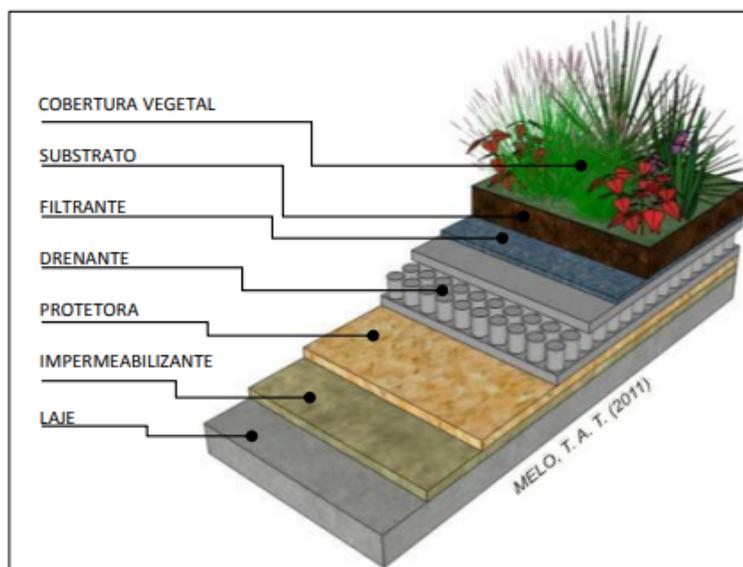
Telhado verde é uma alternativa que visa compensar os efeitos da urbanização, utilizando para isso a própria estrutura impactante, ou seja, o telhado que impermeabiliza a área, dessa forma, não demanda de área extra para sua implantação (AGRA, 2001). Estes dispositivos são estruturas que apresentam coberturas vegetadas, projetadas para interceptar e armazenar provisoriamente as águas de chuva e, dessa forma, permitir seu encaminhamento à rede de drenagem ou a outro exutório, por meio de um dispositivo de regulação específico. Portanto, o telhado verde colabora no manejo das águas pluviais, controlando a geração do escoamento das águas, resgatando processos do ciclo hidrológico e minimizando as vazões de pico (RIMES, 2015).

Os dispositivos são compostos pelas seguintes camadas: 1. impermeabilizante - que impede a infiltração na laje; 2. protetora - prevenção de danos sobre a laje; 3. drenante - regula a retenção e drenagem das águas; 4. filtrante (opcional) - formado por geotêxtil ou membranas filtrantes que impedem a passagem de substratos e finos para a camada drenante; 5. substrato - base de nutriente para a camada vegetal; 6. cobertura vegetal - utilização de plantas nativas e rústicas, conforme ilustrado na figura 10 (MELO, 2011). A construção do dispositivo deve ser prevista no projeto, pois exige reforço estrutural, devido ao peso do substrato e das plantas.

Os telhados verdes são classificados em duas classes, de acordo com sua manutenção, em intensivo e extensivo. O sistema intensivo proporciona uma variação no tipo e porte de vegetação - desde gramíneas até árvores, necessitando assim, de uma camada mais profunda de substrato (maior que 20 cm, geralmente), tornando esse tipo de cobertura mais pesada, custosa e de manutenção constante. Já os sistemas extensivos não necessitam de muita atenção, pois utilizam uma cobertura vegetal mais leve, de menor porte e mais adaptáveis ao clima local (MACIVOR & LUNDHOLM, 2010, *apud*, MELO 2011).

Além de intensivos ou extensivos, os telhados verdes também podem ser classificados em acessíveis ou inacessíveis. Os telhados inacessíveis permitem o acesso de pessoas apenas para manutenção periódica, enquanto os acessíveis também podem ser utilizados para recreação e contemplação (LOPES, 2007). Os telhados verdes acessíveis apresentam exigências de segurança, aumentam a área útil da edificação e proporcionam benefícios sociais à população com a disponibilidade de uma área verde.

Figura 10 - Telhado verde



Fonte: MELO, 2011.

De acordo com Pinto, (2011), algumas vantagens e desvantagens da aplicação do telhado verde são:

Vantagens:

- Área vegetada que permite volume significativo de armazenamento;
- promove a evapotranspiração;
- possibilita melhora na qualidade da água;
- a água retida pode ser reutilizada para rega do jardim;
- pode ser implantado em novos empreendimentos ou em construções existentes, desde que seja realizada a verificação estrutural e de impermeabilização;
- retarda os tempos de pico.

Desvantagens:

- Custo significativo no caso de implantação em telhados existentes e caso haja necessidade de reforço estrutural;
- limitação da área de armazenamento em função do espaço disponível;
- grande dificuldade e custo de manutenção da estrutura impermeável e da vegetação desenvolvida;
- baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas;
- limitações estruturais e arquitetônicas podem impedir seu uso.

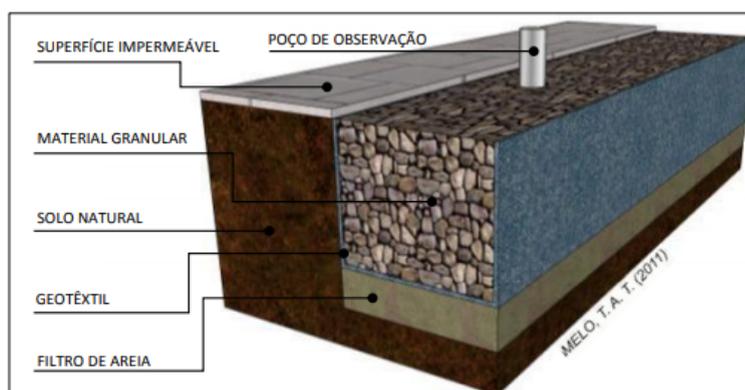
### 2.3.2.3 Trincheira de Infiltração

As trincheiras de infiltração são dispositivos lineares, em que o comprimento pondera sobre a largura e a profundidade. Funcionam como um sistema de reservatório convencional de amortecimento de cheias, uma vez que recebem as águas que escoam perpendicularmente ao seu comprimento, promovendo a retenção e/ou infiltração das águas pluviais, dessa forma, ocorre a redução dos volumes escoados e dos picos de vazão (SILVA, 2007).

A trincheira é preenchida por material granular - brita, seixos rolados, protegido e separado do solo por um geotêxtil, a fim de evitar a entrada de partículas finas e elementos contaminantes (Figura 11). Caso o local da implantação do dispositivo seja passível de poluição e contaminantes em excesso, pode-se adicionar à estrutura, uma camada de areia abaixo do material granular, reforçando a segurança das águas subterrâneas e do solo (MELO, 2011).

De acordo com Souza (2002), as trincheiras de infiltração podem ser divididas em dois grupos: superficiais e subterrâneas. As trincheiras superficiais são aquelas normalmente aplicadas em áreas residenciais, sendo escavações rasas. Já as trincheiras subterrâneas podem receber escoamentos mais concentrados, porém devem ser equipados com uma estrutura de entrada, de forma a reter sedimentos.

Figura 11 - Trincheira de infiltração



Fonte: MELO, 2011.

Pinto (2011) afirma que algumas vantagens e desvantagens da aplicação da trincheira de infiltração são:

Vantagens:

- A infiltração das águas de chuva possibilita a redução do escoamento superficial lançado na rede de drenagem e, conseqüentemente;

- o aumento dos tempos de pico dos hidrogramas;
- possibilidade de redução nas dimensões das redes de drenagem a jusante das trincheiras;
- fácil implantação;
- baixo custo;
- valorização paisagística;
- preservação natural da recarga do lençol freático
- melhora a qualidade da água.

#### Desvantagens:

- Durante a construção devem ser tomados cuidados com a contaminação e entupimento da trincheira;
- as trincheiras deverão ser inspecionadas regularmente, principalmente após grandes chuvas, em virtude de possíveis represamentos dentro do reservatório;
- a colmatção pode ocorrer em função do tipo de solo;
- limitação quanto à permeabilidade do solo;
- manutenção periódica e;
- possibilidade de contaminação do lençol freático.

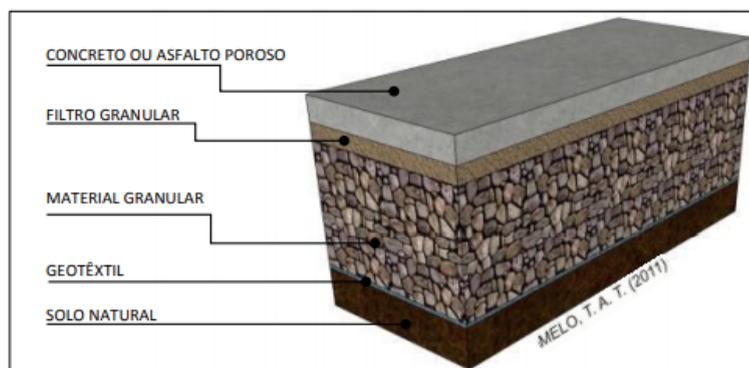
#### 2.3.2.4 Pavimento permeável

Pavimentos permeáveis são constituídos de superfície perfurada ou porosa, que apresentam espaços livres na estrutura por onde a água e o ar podem passar . O dispositivo promove a redução do escoamento superficial, além de diminuir a área impermeabilizada, desempenhando também a função de reservatório, por possibilitar o armazenamento de águas em seu interior (VASCONCELOS, 2014). Pode-se afirmar ainda, que os pavimentos permeáveis podem promover a recarga do lençol freático e a melhora significativa da qualidade da água que infiltra .

Essa alternativa se adequa a áreas urbanizadas, pois não exige área extra, mantendo a área útil do terreno e proporcionando um uso duplo do espaço, sendo comumente utilizado em passeios, calçadas e estacionamentos (RIMES, 2015). É formado por um revestimento poroso (bloco vazado, concreto ou asfalto poroso), por uma camada de agregado fino, um geotêxtil e uma camada de agregado graúdo (material granular). A disposição estrutural varia de acordo com o objetivo de cada projeto (MELO, 2011).

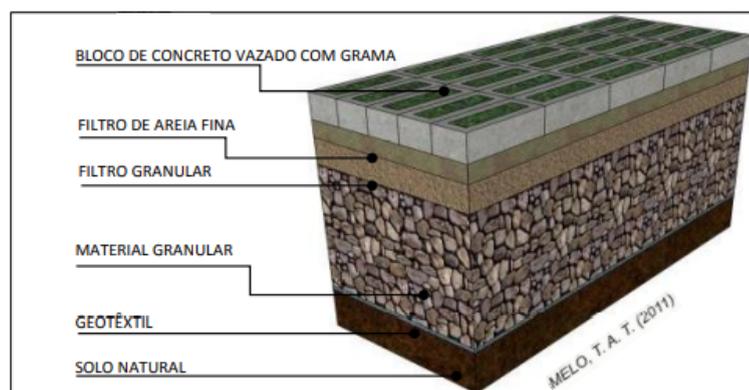
Os revestimentos mais comumente utilizados para a aplicação de pavimentos permeáveis são classificados em dois tipos: revestimento permeável e revestimento poroso. De acordo com Pinto (2011), os revestimentos permeáveis permitem a penetração da água entre eles. Isso ocorre com os blocos de concreto que apresentam pequenos ou grandes vazios por onde a água infiltra, podendo ser preenchidos com grama, areia ou brita (Figura 13). Já os revestimentos porosos, são aqueles que permitem que a água penetre por entre seus poros (Figura 12).

Figura 12 - Pavimento permeável de concreto ou asfalto poroso



Fonte: MELO, 2011.

Figura 13 - Pavimento permeável de blocos de concreto vazado preenchidos com grama



Fonte: MELO, 2011.

Segundo Pinto (2011), algumas vantagens e desvantagens da aplicação de pavimento permeável são:

Vantagens:

- Permite a recarga do lençol freático;

- melhora a qualidade das águas infiltradas ou mesmo das encaminhadas para o sistema de drenagem;
- reduz significativamente o volume de escoamento superficial, promovendo o amortecimento dos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração da bacia, onde o dispositivo está instalado;
- controla de erosão do solo;
- filtra poluentes;

Desvantagens:

- Possibilita contaminação do lençol freático;
- necessita de inspeções regulares para verificar a eficiência dos sistemas;
- mão de obra qualificada para execução da obra, com a finalidade de prevenir a obstrução prematura do pavimento;
- manutenção periódica com lavagem a vácuo;
- caso seja obstruído, a reabilitação do pavimento é difícil e cara.

#### 2.3.2.5 Jardim de chuva

Os jardins de chuva, também chamados de sistemas de biorretenção, são montados em depressões rasas, com preparação do solo com materiais permeáveis e cobertas por uma camada de cobertura vegetal, que retém temporariamente a água pluvial acumulada, para então infiltrar lentamente, ou ir para a atmosfera através da evapotranspiração (BATTEMARCO et al, 2018). Portanto, esses sistemas são projetados para imitar as condições hidrológicas naturais, relacionados ao controle do volume de escoamento superficial e tratamento das águas, além de restituir ao meio urbano parte de sua paisagem natural (SAATKAMP, 2019). Esse sistema valoriza a desconexão das áreas impermeáveis, direcionando o escoamento para si, de modo a auxiliar no manejo das águas pluviais no contexto urbano, proporcionando benefícios ambientais, paisagísticos, ecológicos e econômicos (MELO *et al*, 2014).

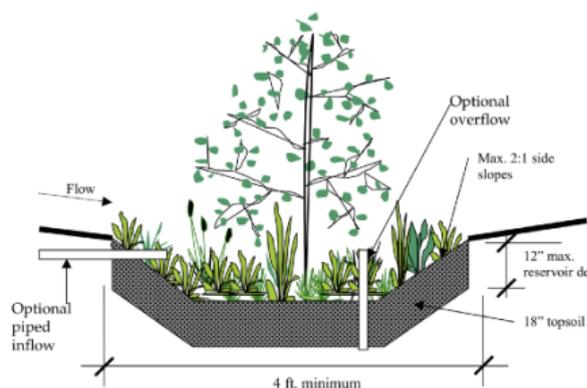
Li e Zhao (2008), descrevem o jardim de chuva como uma estrutura hidrológica funcional na paisagem, de baixo investimento e simples manutenção. Que atua através do sistema solo-planta-atmosfera e dos processos de infiltração, retenção e absorção. Purificando e absorvendo as águas pluviais de pequenas áreas, acarretando na redução do volume escoado e proteção da qualidade das águas subterrâneas.

A vegetação do jardim de chuva serve para filtrar (qualidade da água) e transpirar (quantidade de água) o escoamento superficial. As plantas absorvem os poluentes, o solo permite armazenamento e promove a infiltração das águas pluviais. Devidamente projetadas, as técnicas de biorretenção imitam os ecossistemas naturais através da diversidade de espécies, da distribuição de vegetação e do uso de espécies nativas (PA BMP Manual, 2006, *apud*, Saatkamp, 2019, p. 43).

Flexíveis quanto a sua implantação, e fácil de inserir nos projetos paisagísticos, são capazes de ser utilizados para uma grande variedade de aplicações, desde áreas reduzidas, como em um lote, ou grandes áreas públicas. São capazes de gerir e tratar o escoamento, além do que têm potencial de reduzir o volume e a taxa de escoamento (RIMES, 2015).

Os gestores do condado de Prince George (2017) afirmam que as estruturas de biorretenção proporcionam benefícios ambientais aos moradores e às cidades, pois promovem a conservação de plantas, melhoram a qualidade do ar, amenizam as ilhas de calor e valorizam as propriedades em torno de 20%. Dessa forma, os jardins de chuva ganham popularidade entre projetistas por conta de sua estética que se adapta ao ambiente e à paisagem, e pela capacidade de atender aos requisitos de drenagem de águas pluviais. Na figura 14 é apresentado um esquema de jardim de chuva quando instalado em um pequeno local, demonstrando assim a sua flexibilidade e adaptação.

Figura 14 - Esquema de jardim de chuva



Fonte: PA BMP Manual, 2006, *apud* Saatkamp, 2019.

O quadro 1, apresenta as principais características de um jardim de chuva, desde seus elementos de projeto, até o potencial de aplicação, funções de drenagem e efeitos na qualidade da água.

Quadro 1 - Características de um jardim de chuva

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Elementos de Projeto</b></p> <p>Flexível em termos de tamanho e capacidade de infiltração; volume de retenção controlado a fim de promover rápido esvaziamento (em algumas situações pode requerer maiores profundidades); estrutura aceita plantas e árvores; é recomendado o uso de solo orgânico; exige manutenção para bom funcionamento; promove a redução de poluentes; condições de armazenamento e infiltração estáveis.</p> | <p><b>Potencial de Aplicação</b></p> <p>Comercial: Sim.<br/>Residencial: Sim.<br/>Industrial: Sim.<br/>Retrofit: Sim.<br/>Estradas e Rodovias: Sim.</p>         |
|  | <p><b>Funções de Drenagem</b></p> <p>Qualidade da Água: Alto.<br/>Recarga de Aquífero: Alto.<br/>Redução do escoamento: Médio.<br/>Controle do Pico: Médio.</p> |
|  | <p><b>Efeitos na Qualidade da Água</b></p> <p>Redução de Sólidos Suspensos: 85%.<br/>Redução de Fósforo: 85%.<br/>Redução de Nitratos: 30%.</p>                 |

Fonte: PA BMP Manual, 2006, *apud* Saatkamp, 2019, p. 45.

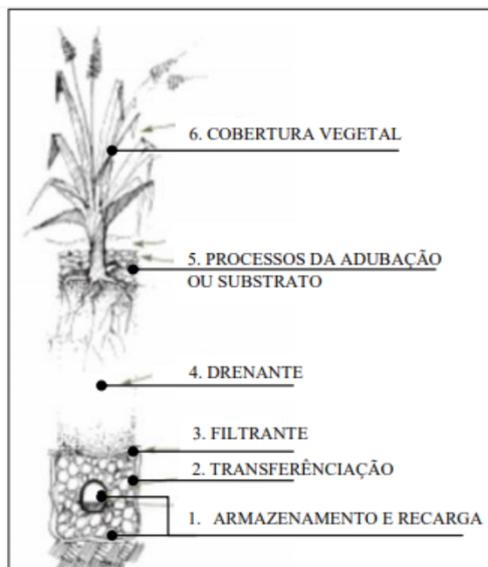
Sharkey (2006) reitera que os procedimentos de remoção de poluentes dentro de uma área de biorretenção são físicos, químicos e biológicos. Físico inclui a captura de sólidos, a sedimentação e retenção de óleos e graxas. Enquanto os mecanismos de remoção química e biológica são muito semelhantes e incluem a ligação de metais pesados à matéria orgânica e a minerais do próprio solo.

O projeto e implantação do sistema, camadas do jardim de chuva, funcionamento do sistema e, efeitos desses sistemas nas áreas instaladas, são alguns dos aspectos que devem ser considerados para que, o jardim de chuva cumpra suas funções positivamente como técnica compensatória no manejo das águas pluviais (MELO, 2011).

Segundo Dunnett & Clayden (2007, *apud* MELO, 2014), a estrutura de um jardim de chuva é geralmente composta por seis camadas, conforme apresentado na figura 15. Sendo elas: 1. armazenamento e recarga - onde a água infiltrada pode ser destinada para armazenamento, recarga subterrânea e/ou sistema combinado; 2. transferência - onde a água é temporariamente armazenada antes de ser infiltrada pelo solo natural, formada por brita ou cascalho; 3. filtrante - constituída por uma geomembrana ou geotêxtil, destinada à retenção de finos carregados no processo de infiltração; 4. drenante - formada por areia, para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo; 5. adubação - concentração de

nutrientes ou substrato que darão suporte à cobertura vegetal utilizada e; 6. cobertura vegetal, onde são dispostas as vegetações do jardim de chuva.

Figura 15 - Estrutura de um jardim de chuva mostrando as diversas camadas



Fonte: Dunnnett & Clayden (2007, *apud* Melo, 2011).

Muthanna, *et. al.* (2008); Li & Zhao, (2008, *apud* Melo, 2011) assinalam que algumas vantagens e desvantagens da aplicação de um jardim de chuva, são:

- Redução do volume de escoamento e da taxa de pico dos hidrogramas de maneira sustentável;
- recarga das águas subterrâneas e restabelecimento do fluxo de base;
- amenização dos efeitos erosivos ocasionados pelo escoamento superficial;
- intensificação dos processos do ciclo hidrológico, principalmente a infiltração e evapotranspiração;
- melhora da qualidade das águas;
- menor custo de implantação e manutenção;
- maior aceitabilidade pela população;
- auxílio no equilíbrio urbano-ambiental das cidades.

#### 2.4 ESCOLHA DA TÉCNICA ADEQUADA

Qualquer área impermeabilizada necessitará ser drenada para remover a lâmina d'água superficial. De acordo com Rimes (2015, p. 53):

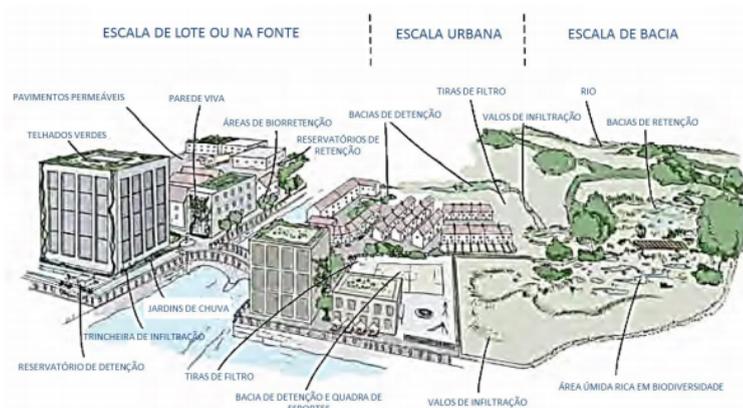
Sistemas de drenagem sustentável são projetados usando os mesmos princípios subjacentes de hidrologia e hidráulica como os sistemas de drenagem tradicionais, mas também precisam abraçar as oportunidades mais amplas para o gerenciamento de qualidade da água, melhoria ambiental, aparência estética agradável, aceitação da comunidade e desenho urbano.

Diversas técnicas compensatórias podem ser utilizadas em um projeto. Desse modo, torna-se essencial a definição de critérios para que seja feita a avaliação dos sistemas possíveis, à luz dos diferentes aspectos intervenientes, e de uma metodologia que subsidie a identificação dos arranjos viáveis e o processo de escolha (MOURA, *et al*, 2009).

Um projeto de drenagem sustentável possui três escalas fundamentais para o controle de enchentes: escala de lote (ou na fonte), urbana, e de bacia (figura 16). Rimes (2015, p. 53) reitera que:

Medidas de tratamento de águas pluviais, quando distribuídas em todas as escalas de controle, incorporam uma variedade de tratamentos menores que simulam melhor o ciclo natural da água. O conceito de soluções em série promove a divisão da área a ser drenada em sub-bacias com diferentes características do uso da terra, cada uma com a sua própria estratégia de drenagem. Controlar a água na origem reduz a quantidade e a necessidade de transportar a água para fora do terreno, diminuindo o fluxo para o tratamento subsequente.

Figura 16 - Sequência de tratamentos

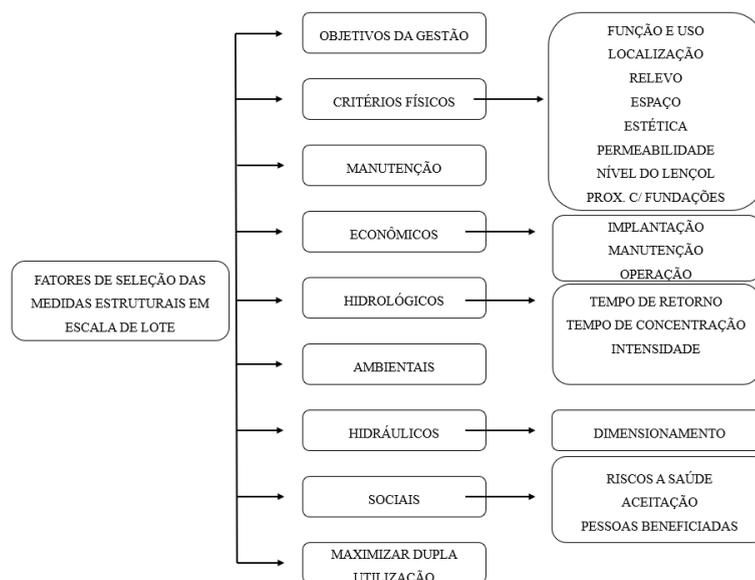


Fonte: Rimes, 2015, p. 54.

Ainda segundo Rimes (2015, p. 54):

As medidas compensatórias de águas pluviais variam em tamanho, forma, posicionamento de inserção e o princípio de funcionamento por ela oferecido. A etapa da escolha da técnica a ser empregada é de suma importância e alta complexidade, devido aos inúmeros e diversos aspectos dos sistemas de drenagem. Por isso, a melhor escolha do sistema a ser utilizado vai depender de uma série de critérios (figura 17).

Figura 17 - Fatores de seleção das medidas estruturais em escala de lote



Fonte: Rimes, 2015, p. 56.

A figura 18, expõe as técnicas compensatórias apresentadas e as correlaciona com os critérios de seleção: quantidade e qualidade da água; características do local; operacionalidade; aceitação pela comunidade e fatores ligados ao meio ambiente. Propõe-se simplificar a escolha da técnica adequada para cada projeto, conforme as especificidades do local e critérios priorizados no projeto (A = Alto; M = Médio; B = Baixo; S = Sim; N = Não; n/a = não aplicável).

Figura 18 - Correlação entre técnicas compensatórias e os critérios de seleção

| CRITÉRIOS DE ESCOLHA                        |                                 | TÉCNICAS   |                           |                  |                       |                 |     |
|---|---------------------------------|--|---------------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-----|
|   |                                 | VALOS DE INFILTRAÇÃO   | TRINCHERAS DE INFILTRAÇÃO | JARDINS DE CHUVA | PAVIMENTOS PERMEÁVEIS | TELHADOS VERDES |     |
| QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA              | TRATAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA | REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS   | A                         | A                | A                     | A               | n/a |
|   |                                 | REMOÇÃO DE METAIS PESADOS  | M                         | A                | A                     | A               | n/a |
|   |                                 | REMOÇÃO DE NUTRIENTES  | M                         | A                | A                     | A               | n/a |
|   |                                 | CAPACIDADE DE TRATAMENTO DE SEDIMENTOS FINOS SUSPENSOS E DISSOLUÇÃO DE POLUENTES | A                         | A                | A                     | A               | A   |
|   | CONTROLE HIDRÁULICO             | REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL  | M                         | A                | B                     | A               | A   |
| CONTROLE DE VAZÃO                           |                                 | 1 - 2 ANOS   | A                         | A                | A                     | A               | A   |
|   |                                 | 10 - 30 ANOS   | A                         | A                | M                     | A               | A   |
|   |                                 | 100 ANOS   | A                         | B                | B                     | B               | B   |
| CARACTERÍSTICAS DO LOCAL                    | SOLO                            | IMPERMEÁVEL  | S                         | N                | S                     | S               | S   |
|   |                                 | PERMEÁVEL  | S                         | S                | S                     | S               | S   |
|   | ÁREA DE DRENAGEM                | 0 - 10.000 m <sup>2</sup>  | S                         | S                | S                     | S               | S   |
|   |                                 | > 10.000 m <sup>2</sup>  | N                         | N                | N                     | S               | N   |
|   | PROF. DO LENÇOL FREÁTICO        | 0 - 1 m  | N                         | N                | N                     | N               | S   |
|   |                                 | > 1 m  | S                         | S                | S                     | S               | S   |
|   | DECLIVIDADE DO SOLO             | 0 - 5 %  | S                         | S                | S                     | S               | S   |
|   |                                 | > 5 %  | N                         | S                | N                     | N               | S   |
|   | ESPAÇO DISPONÍVEL               | MENOR  | N                         | S                | N                     | S               | S   |
|   |                                 | MAIOR  | S                         | S                | S                     | S               | S   |
| COMUNIDADE E MEIO-AMBIENTE OPERACIONALIDADE | MANUTENÇÃO                      | B  | B                         | A                | M                     | A               |     |
|   | ACEITAÇÃO DA COMUNIDADE         | M*   | M                         | A                | M                     | A               |     |
|   | CUSTO                           | B  | B                         | M                | M                     | A               |     |
|   | POTENCIAL CRIAÇÃO DE ECOSISTEMA | M  | B                         | A                | B                     | A               |     |

Fonte: Rimes, 2015, p. 57.

Para uma determinada área, podem existir várias possibilidades de escolha de técnicas compensatórias. Por isso, Moura *et. al.*, afirmam que dentre os fatores determinantes para esta limitação de uso mais sistemático, destacam-se:

As dificuldades para a escolha das técnicas adequadas e a avaliação dos diferentes sistemas viáveis, incorporando as diversas técnicas. A multiplicidade dos aspectos envolvidos leva à impossibilidade de identificação clara das vantagens associadas às diferentes alternativas estudadas, dificultando a comparação e a hierarquização das alternativas de projeto (2009, n.p).

Quando um único sistema não contemplar todos os critérios de escolha, é possível articulá-lo com outro dispositivo de drenagem sustentável, de forma a complementá-lo (RIMES, 2015).

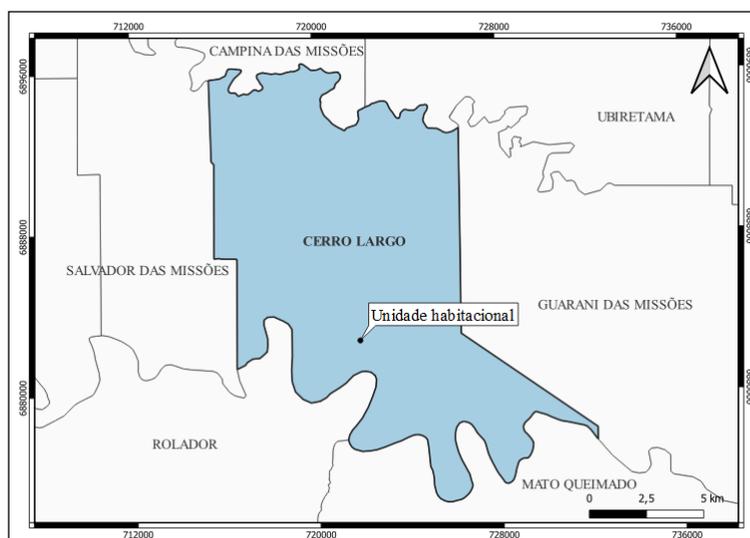
### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ESTUDO DE CASO - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESCOLHA DA MEDIDA COMPENSATÓRIA

A área piloto escolhida como estudo de caso, considerando o contexto de drenagem sustentável, com a aplicação de técnicas compensatórias, foi uma unidade habitacional, que está localizada na cidade de Cerro Largo, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 19). A residência sofre com problemas recorrentes de infiltração ocasionada pelas águas da chuva, devido ao seu acúmulo em um trecho do terreno completamente impermeabilizado. A necessidade local por um dispositivo ou sistema que amenize o problema veio de encontro a esse trabalho, o que propiciou esse estudo.

A medida compensatória escolhida foi o *Jardim de chuva*, buscando a contenção e infiltração das águas no solo, de forma adequada e servindo como um “*poço de infiltração*”. A ideia é que os problemas recorrentes de infiltração dentro da residência sejam amenizados, evitando danos às paredes do imóvel e aos móveis na parte interna. Além do que, problemas de infiltração, quando não corrigidos, agravam-se ao longo do tempo, podendo causar problemas estruturais à residência.

Figura 19 - Mapa de situação da unidade habitacional, Cerro Largo - RS



Fonte: Elaborado pela autora.

Quando se introduzem questões relacionadas à umidade na edificação, estas sempre trazem consigo grande desconforto, além de degradar muito rapidamente a construção (MONTECIELO, 2016). No caso específico, o acúmulo da água da chuva no corredor, que

circunda a casa, danificou os rejuntes do piso cerâmico, provocando desgaste e rachaduras. Em alguns pontos, o rejunte deteriorou-se por completo. Esse fenômeno possibilita a infiltração das águas da chuva na residência, quando acumuladas pela precipitação intensa.

Essa infiltração acontece por falhas na argamassa de assentamento, ou na interface dos blocos, quando há respingo de água, podendo ser em áreas molhadas, ou áreas que tem exposições as precipitações, gerando umidade no local e manchas. Para evitar esses tipos de ocorrência, é necessário fazer manutenção preventiva, pois, devido às tensões sofridas nas edificações, os problemas possivelmente aparecem. Devido a isso, há constantes solicitações como: a ação do vento, a dilatação dos materiais, as vibrações, perfurações, recalque diferencial das fundações e o mal uso das edificações, isso acarreta evidências de manifestações patológicas. Um exemplo disso são as chuvas, quando o assentamento apresenta danos, é mais propícia a infiltração e aumento da umidade no ambiente interno das residências (MACHADO, 2019).

Segundo Belon (2019), as patologias ocasionadas pela umidade são: infiltração, goteiras e manchas, mofo e bolor, eflorescência, criptoflorescência, corrosão de armaduras, físsuras e, bolhas e descascamento. Os problemas provindos da umidade nas edificações são um grande desafio para a construção civil, por esse motivo é de suma importância chegar a uma solução eficiente e executá-la de maneira adequada, visando a melhor solução do problema, de forma a evitar maiores danos (MONTECIELO, 2016). Dessa forma, devido a isso, considerando esse aspecto, para resolver o problema de acúmulo de água no corredor que circunda a casa será construído o *Jardim de Chuva*, visando a contenção e infiltração das águas no solo, além do que, todo o rejunte do piso cerâmico será revitalizado, com o intuito de evitar que essa água infiltre para o interior da residência.

### 3.2 CONCEPÇÃO PRELIMINAR DO PROJETO

Melo (2011) afirma que os sistemas de biorretenção foram inicialmente pensados como solução para problemas de drenagem urbana em grandes áreas. Contudo, devido às taxas de eficiência e seus efeitos secundários, como a melhora da qualidade da água, passaram a ser empregados também em áreas menores, ainda por conta de sua flexibilidade de forma e tamanho. Assim, conforme os sistemas de *Jardins de Chuva* foram se tornando mais populares no campo da drenagem urbana, começaram a surgir diferentes métodos de dimensionamento a fim de otimizar a gestão das águas urbanas e o controle de poluentes (SAATKAMP, 2019).

Apesar do surgimento de diversas técnicas de dimensionamento para os *Jardins de Chuva*, ainda não existe um padrão ou modelo mais adequado para projetá-los, sendo que muitos aspectos da sua estrutura podem ser alterados para maximizar a quantidade de água a ser retida ou o controle de qualidade (MELO, 2011). Li e Zhao (2008), apontam que os fatores determinantes no projeto são: a área de superfícies impermeáveis, a profundidade da camada do aquífero e a permeabilidade do solo. Além disso, outros aspectos importantes a serem considerados são o estudo topográfico e os índices pluviométricos da região.

Dessa forma, a concepção do projeto para a área de estudo adota a proposta de drenagem sustentável, considerando a inserção de um *Jardins de Chuva* que visa privilegiar a infiltração no solo. Os dispositivos aplicados deverão ser capazes de remover os poluentes normalmente encontrados nos deflúvios para que estes não contaminem o lençol freático, e o recarreguem.

O local não apresenta declividades significativas na implantação do jardim, o desnível é mais acentuado antes de chegar no ralo que se apresenta após o corredor, por isso a água acaba por se acumular no mesmo, conforme observado na figura 20. A área livre disponível é suficiente para a inserção dos dispositivos de infiltração, que podem ser projetados longe das fundações existentes.

Figura 20 - Desnível apresentado no local de aplicação do jardim de chuva



Fonte: Elaborado pela autora.

O fato observado na figura 20 ocorreu no dia 11 de abril de 2021. Neste dia, de acordo com a estação meteorológica da UFFS - *Campus* Cerro Largo - IRIOGRAN38,

sucedeu uma precipitação acumulada de aproximadamente 18 mm até o momento em que a foto foi tirada (WEATHER UNDERGROUND, 2021). Portanto, quando a precipitação acumulada era da ordem de 18 mm ou mais, registrava-se o problema.

### 3.3 PROJETO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL APLICADO NA ÁREA PILOTO

#### 3.3.1 Dimensionamento

O *jardim de chuva* projetado para a unidade habitacional foi dimensionado em duas etapas: área e estrutura. Na primeira fase, foram determinadas as dimensões e o formato do jardim; já na segunda fase, foram estruturados os perfis dos jardins, ou seja, o dimensionamento de duas camadas internas.

##### 3.3.1.1 Área

Conforme citado anteriormente, o dimensionamento de um *jardim de chuva* pode ser realizado de inúmeras maneiras. No presente trabalho, a metodologia adotada para o dimensionamento do jardim se baseia na área das superfícies impermeáveis. De acordo com Li e Zhao (2008), na Nova Zelândia, o tamanho adotado para um *jardim de chuva* geralmente é de 5% a 10% das áreas impermeáveis.

A área impermeabilizada na unidade habitacional é de 7 m<sup>2</sup>, que somado às paredes laterais da casa e do muro de divisa, tem-se o total de área impermeável de 12,25 m<sup>2</sup> e, considerando 5% dessa área, o *jardim de chuva* piloto deveria dispor uma área de 0,6125 m<sup>2</sup>. Para eficiência dos cálculos e regularidade no desenho do dispositivo, a área adotada foi de 1,034 m<sup>2</sup>, representando aproximadamente 8,44% da área impermeável.

Foi aplicado um desenho baseado na forma retangular, sendo 0,47 m de largura por 2,20 m de comprimento as paredes do experimento. Essa área é estimada ínfima se comparada com outras técnicas compensatórias como trincheira de infiltração ou telhado verde. O entorno da área de estudo não causa nenhuma obstrução sobre o *jardim de chuva*, pois permite a livre precipitação sobre o jardim de chuva e recepção do volume advindo da chuva.

##### 3.3.1.2 Estrutura

A estrutura do perfil do *jardim de chuva* varia conforme as características específicas da área e com a necessidade de armazenamento, podendo ser projetada com areia e/ou brita para aumentar a infiltração. Por motivos de segurança e eficácia do sistema, foram projetadas

camadas de dreno e filtro, focando na camada de armazenamento, ou seja, a camada de brita, tendo como base o jardim piloto projetado por Melo (2011).

Para calcular a estrutura e as camadas do jardim projetado para a unidade habitacional, se fez necessário seguir uma sequência de etapas de cálculo: intensidade de precipitação, alturas de precipitação, volumes de entrada, volumes de saída e altura da camada de brita. Após a resolução de todas as etapas é exposto o perfil do *jardim de chuva*, isto é, as camadas que concebem, especificando os materiais utilizados e suas respectivas alturas.

### 3.3.1.2.1 Intensidade de precipitação

A intensidade de precipitação é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, sendo expressa, normalmente, em mm/h ou mm/min. É determinada através da relação intensidade, duração e frequência, nomeada de curva IDF. A equação que determina essa intensidade da chuva, varia de local para local, pois depende de parâmetros empíricos locais, do tempo de retorno do dispositivo a ser implantado e da duração de uma chuva de projeto (equação 1) (TUCCI, 2001).

$$i = \frac{aTR^b}{(t+c)^d} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são parâmetros característicos da I/D/F de cada local;  $TR$  é o tempo de retorno em anos e;  $t$  é a duração da precipitação em minutos.

Para a determinação da intensidade de precipitação, utilizou-se a equação IDF proposta por Denardin e Freitas, que iniciaram o estudo da curva IDF para o estado do Rio Grande do Sul em 1980, baseado nos dados analisados por Pfafstetter (1957). Como Cerro Largo não apresenta uma estação meteorológica, com registros históricos de longo período, os dados obtidos para a equação da intensidade de precipitação, utilizados neste trabalho, são da cidade de São Luiz Gonzaga - RS, sendo esta, a mais próxima. Os registros que basearam a equação 2 resultaram de 21,52 anos de dados.

$$i = \frac{1038,51 \times TR^{0,15}}{(t+6)^{0,76}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:  $TR$  período de retorno, em anos,  $t$  duração da chuva, em minutos,  $i$  é a intensidade de chuva, em mm/h.

Para o presente trabalho, a adoção do tempo de retorno teve como base o Manual de Drenagem de Porto Alegre (Tabela 2). Com isso, foi escolhido o valor frequente de tempo de retorno para projetos residenciais (2 anos). Os valores apropriados do tempo de duração da chuva para projetos de microdrenagem são de 5, 10 e 15 minutos (TUCCI, 2001). Foi

escolhido então, com base no projeto da Melo (2011), o valor de 15 minutos de duração da chuva. Mesmo que o tempo de retorno tenha sido definido, o cálculo das intensidades de precipitação foi realizado adotando-se diferentes tempos de retorno (2, 5 e 10 anos). Esses valores são apresentados no Apêndice 1.

Tabela 2 - Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana

| Sistema                         | Característica              | Intervalo TR (anos) | Valor frequente (anos) |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|
| Microdrenagem                   | Residencial                 | 2 - 5               | 2                      |
|                                 | Comercial                   | 2 - 5               | 5                      |
|                                 | Áreas de prédios públicos   | 2 - 5               | 5                      |
|                                 | Aeroporto                   | 5 - 10              | 5                      |
|                                 | Áreas comerciais e avenidas | 5 - 10              | 10                     |
| Macrodrenagem                   |                             | 10 - 25             | 10                     |
| Zoneamento de áreas ribeirinhas |                             | 5 - 100             | 100                    |

Fonte: DEP POA, 2005.

#### 3.3.1.2.2 Alturas de precipitação

De acordo com Tucci (2001), a altura de precipitação é a espessura média da lâmina de água precipitada em determinada região, considerando que essa água não infiltre, não evapore e não escoe para áreas de menor cota. Após a determinação das intensidades para os variados tempos de retorno e de duração da chuva de projeto, foram determinadas as alturas de precipitação por meio do produto das intensidades pelos seus respectivos tempos em horas como apresentado no Apêndice 2.

#### 3.3.1.2.3 Volumes de entrada

O volume de entrada é a quantidade de escoamento superficial direto a ser armazenado pelo *jardim de chuva*. O valor do volume de entrada foi determinado a partir do Método Racional (Equação 3). Esse método é aplicado em bacias pequenas, com área inferior ou igual a 2 km<sup>2</sup>, e tem como finalidade transformar a intensidade de precipitação (mm/h) em vazão (m<sup>3</sup>/s). Segundo Tucci (2001), para validar essa metodologia de transformação da precipitação em vazão, deve-se considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração e não considerar o volume de cheia e a distribuição temporal das vazões.

$$Q = \frac{C \times i \times A \times 10^{-3}}{3600} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:  $Q$  representa a vazão máxima (m<sup>3</sup>/s),  $C$  é o coeficiente de escoamento,  $i$  é a intensidade da precipitação (mm/h) e  $A$  é a área da bacia (m<sup>2</sup>).

O valor do coeficiente de escoamento é tabelado e pode ser baseado no tipo de superfície, ou baseado no tipo de ocupação. Para este trabalho, foi utilizada a tabela da *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 1969), baseando os valores de  $C$  de acordo com o tipo de superfície (Quadro 2).

Quadro 2 - Valor do coeficiente de escoamento (C) baseado no tipo de superfície

| SUPERFÍCIE                |                | CONSIDERAÇÕES |                |
|---------------------------|----------------|---------------|----------------|
|                           |                | INTERVALO     | VALOR ESPERADO |
| Pavimento                 | Asfalto        | 0,70 - 0,95   | 0,83           |
|                           | Concreto       | 0,80 - 0,95   | 0,88           |
|                           | Calçada        | 0,75 - 0,85   | 0,80           |
|                           | Telhado        | 0,75 - 0,95   | 0,85           |
| Cobertura: grama, arenoso | Plano (2%)     | 0,05 - 0,10   | 0,08           |
|                           | Médio (2 a 7%) | 0,10 - 0,15   | 0,13           |
|                           | Alta (7%)      | 0,15 - 0,20   | 0,18           |
| Grama, solo pesado        | Plano (2%)     | 0,13 - 0,17   | 0,15           |
|                           | Médio (2 a 7%) | 0,18 - 0,22   | 0,20           |
|                           | Alta (7%)      | 0,25 - 0,35   | 0,30           |

Fonte: MELO, 2011

No quadro 2 é possível perceber que, os valores para a superfície de telhado se enquadram entre 0,75 - 0,95. O valor esperado (0,85), normalmente é o valor recomendado para os cálculos, portanto, será o valor adotado neste trabalho para o coeficiente de escoamento. Já as outras unidades, intensidade e área, são representadas pelos valores que foram encontrados pelas equações anteriores.

O resultado obtido por esse método é em m<sup>3</sup>/s, contudo, para calcular o volume de entrada em litros foi utilizada a equação 4, onde o resultado do volume de entrada em m<sup>3</sup> será transformado em litros. Os volumes de entrada, em litros, são apresentados no Apêndice 3.

$$V_E = Q \times T \quad (\text{Equação 4})$$

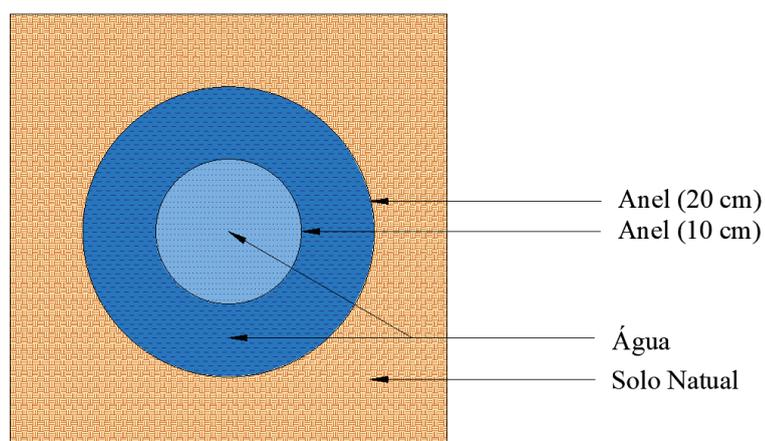
Onde:  $V_E$  é o volume de entrada (m<sup>3</sup>),  $Q$  representa a vazão máxima (m<sup>3</sup>/s) e,  $T$  é o tempo (s).

#### 3.3.1.2.4 Volume de saída

O volume de saída da camada de brita corresponde a quantidade de água que sai do jardim de chuva e se infiltra no solo abaixo da estrutura. Sua determinação tem como base a lâmina d'água acumulada, em conformidade com o teste de infiltração e o comportamento das águas infiltradas no dispositivo.

Para a realização do teste de infiltração, foram utilizados os anéis concêntricos (Figura 21). O anel exterior apresenta um diâmetro de 20 cm e o interior de 10 cm. Inicialmente os anéis foram dispostos a 10 cm de profundidade no solo, e verificado o nível. O próximo passo foi preencher o anel exterior de água, isolando o menor. Após foi preenchido o anel interno, e posicionado a régua para realizar a medida da lâmina d'água, que foi executada a cada dois minutos (Figura 22). Sua determinação ocorre após toda a água do anel interior ter se infiltrado no solo. Já o volume total de saída é o produto da lâmina acumulada pela área do dispositivo ( $1,034 \text{ m}^2$ ), resultando em um volume de saída total de 103,4 L (Apêndice 4).

Figura 21 - Esquema do ensaio de infiltração



Fonte: Elaborado pela autora.

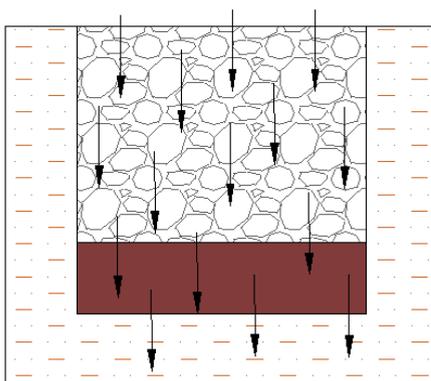
Figura 22 - Realização prática do teste de infiltração



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao comportamento das águas infiltradas, foi adotada apenas uma hipótese de movimento, por isso a utilização dos anéis concêntricos. A hipótese considerada foi apenas a infiltração na direção vertical, sem perdas de água pelas paredes do dispositivo. Para a composição do jardim de chuva piloto foi prevista uma camada de areia do tipo média entre a camada de brita e o solo natural, a qual desempenhava a função de filtro natural no sistema (Figura 23). Baseado em Di Bernardi e Dantas (2005), a porosidade da areia com tamanho de grãos entre 0,60 a 2,0 mm, é de até 0,52. Porém, no presente trabalho foi utilizado o valor de porosidade de 0,5.

Figura 23 - Movimento da água saindo do jardim de chuva piloto e se infiltrando no solo



Fonte: Elaborado pela autora

O volume na camada de armazenamento foi obtido pela diferença entre o volume que entra e o que sai do sistema (Equação 5).

$$V_A = V_E - V_S \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:  $V_A$  é o volume de armazenamento (L),  $V_E$  é o volume de entrada (L) e,  $V_S$  é o volume de saída (L).

O volume de saída é representado pelo produto da infiltração acumulada pela área de base do dispositivo (Equação 6).

$$V_S = A_{inf} \times I_{ac} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:  $V_S$  é o volume de saída (L),  $A_{inf}$  é a área de infiltração e,  $I_{ac}$  é a infiltração acumulada no tempo considerado.

A variação no armazenamento pode ser expressa pela soma dos volumes armazenados na camada de brita e areia (Equação 7).

$$V_A = (B \times L \times H_B \times \eta_B) + (B \times L \times H_A \times \eta_A) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:  $V_A$  é o volume de armazenamento ( $m^3$ ),  $B$  e  $L$  são as dimensões de largura e comprimento da base do dispositivo (m),  $H_B$  é a altura da camada de brita (m),  $H_A$  é a altura da camada de areia (m),  $\eta_B$  e  $\eta_A$  são as porosidades da brita e da areia, respectivamente. Assim, combinando das equações 3 e 7, a altura da camada de brita é determinada pela equação 8.

$$H_B = \frac{\left( C \cdot i \cdot A \cdot T \cdot \frac{10^{-3}}{3600} \cdot B \cdot L \cdot I_{ac} - H_A \cdot B \cdot L \cdot \eta_A \right)}{B \cdot L \cdot \eta_B} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:  $H_B$  é a altura de brita (m),  $C$  é o coeficiente de escoamento,  $I$  é a intensidade da precipitação (mm/h),  $T$  é o tempo do teste de infiltração (s),  $A$  é a área da bacia ( $m^2$ ).  $B$  e  $L$  são as dimensões de largura e comprimento da base do dispositivo (m),  $I_{ac}$  é a infiltração acumulada,  $H_A$  é a altura da camada de areia (m),  $\eta_B$  e  $\eta_A$  são as porosidades da brita e da areia, respectivamente.

A brita utilizada no projeto foi do tipo 2 e apresenta normalmente uma porosidade de 40% a 60% (CRITTENDEN *et al.*, 2012). Portanto, no presente trabalho foi adotada o valor de porosidade de 0,6.

No processo de colmatção, pode ser que os poros existentes no sistema, tenham seus espaços preenchidos pelo acúmulo de partículas finas ou agregados, carreados junto com a água infiltrada. Esse processo favorece o entupimento dos poros existentes, mesmo com uma manutenção do dispositivo desempenhada adequadamente. Isso pode reduzir o desempenho hidráulico do sistema e comprometer a vida útil do dispositivo, devido a alteração no

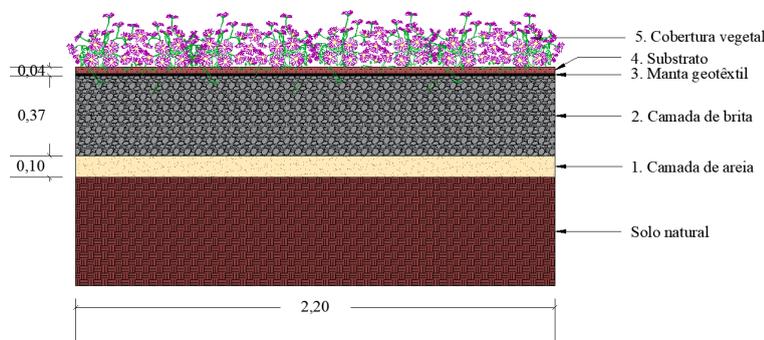
movimento da água no solo e de algumas funções como a condutividade hidráulica (SOUZA, 2002).

### 3.3.2 Instalação

Os jardins de chuva apresentam uma disposição de camadas que tendem a suprir suas funções de retenção, infiltração e filtração de maneira mais eficiente (MELO, 2011). Já a maioria das técnicas compensatórias descritas neste trabalho, baseiam-se em um perfil que, além de minimizar o escoamento superficial e melhorar a qualidade das águas, armazena determinado volume de água em seu próprio interior.

Conseqüentemente, a composição das camadas do jardim de chuva concebida para esse trabalho foi baseada na união de conceitos e métodos estruturais referentes a outras técnicas compensatórias, unindo o princípio de retenção, próprio dos sistemas de biorretenção; a concepção de estrutura de armazenamento interno, através da utilização de uma camada de brita e; o processo de infiltração, inerente a ambos. O jardim de chuva piloto foi concebido com cinco camadas distribuídas em uma profundidade de 0,5 m (Figura 24).

Figura 24 - Camadas do jardim de chuva piloto construído na unidade habitacional



Fonte: Elaborado pela autora.

1. Areia - 10 cm - filtro natural para as águas infiltradas no sistema, antecipando seu movimento no solo natural;
2. brita - 37 cm - facilita o movimento da água no sistema e desempenha a função de reservatório para as águas infiltradas no dispositivo;
3. geotêxtil - geomembrana para retenção de finos e filtração primária das águas;
4. substrato - 3 cm - composto por terra preta;
5. cobertura vegetal - disposta no local para retenção da água, devido a diferença de altura em relação à superfície do solo - charco. Foram utilizadas as plantas

popularmente conhecidas como ‘*Flor da Fortuna*’, por serem adaptáveis às condições climáticas do local.

A escolha da cobertura vegetal foi definida com base na utilização dessas plantas em jardins e canteiros da região. São consideradas plantas miúdas, geralmente alcançam uma altura máxima de 30 cm, sendo adequada para a harmonia paisagística, considerando ser um corredor estreito. Além disso, são plantas que não necessitam de muita manutenção, e seu custo é relativamente baixo, R\$ 6,00 reais cada muda, apresentando aspectos positivos no custo-benefício, por ser uma planta muito resistente (Tabela 3).

Na superfície do jardim de chuva piloto, há um leve desnível em relação a superfície do piso. Para solucionar esse problema definiu-se que esse desnível fosse preenchido com pedras dolomitas (brancas), de forma a ficar mais harmônico com a unidade habitacional (Figura 25).

Tabela 3 - Caracterização da cobertura vegetal

| <b>COBERTURA VEGETAL</b>   |  |
|--|--|
|  |  |
| Nome Popular   | Flor da Fortuna  |
| Nome Científico  | <i>Kalanchoe Blossfeldiana</i>                         |
| Família  | Crassulaceae   |
| Origem   | África   |
| Características  | Sol pleno  |
|  | Rústica com floração rosa, branca, laranja e vermelho. |

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A construção do *jardim de chuva* obedeceu às etapas descritas na metodologia: inicialmente delimitou-se a área 1,034 m<sup>2</sup> (equivalente a quatro placas de cerâmica existente no corredor), sendo baseado na forma retangular, apresentando 0,47 m de largura por 2,20 m de comprimento as paredes do experimento. O próximo passo foi escavar uma vala com essa área, onde o solo do local foi retirado até obter-se uma profundidade média de 50 cm. Posteriormente, foi realizado o teste de infiltração e os cálculos para encontrar a taxa de infiltração e a altura da camada de brita (Quadro 3), conforme descrito na metodologia.

Quadro 3 - Dados utilizados para encontrar a altura da camada de brita

| Variável                                  | Valor                |
|---|----------------------|
| Coeficiente de escoamento: C              | 0,85                 |
| Área da bacia: A                          | 1,034 m <sup>2</sup> |
| Largura: B                                | 0,47 m               |
| Comprimento: L                            | 2,20 m               |
| Altura da camada de areia: H <sub>A</sub> | 0,1 m                |
| Porosidade da areia: $\eta_A$             | 0,5                  |
| Porosidade da brita: $\eta_B$             | 0,6                  |

Considerando o tempo de retorno de 2 anos, os valores da intensidade de precipitação e infiltração acumulada para o tempo de 15 minutos são, 114,114 mm/h e 0,017 m respectivamente.

O ensaio de infiltração realizado não fornece dados no tempo de 15 min, sendo os tempos mais próximos de 14 min e 16 min. Portanto, foi realizada uma interpolação entre esses tempos e suas respectivas alturas de brita conforme a Tabela 4 e a Equação 9. Os resultados da interpolação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 - Cálculo da interpolação para determinar a altura da camada de brita

|     | TEMPO     | ALTURA DE BRITA |
|-----|-----------|-----------------|
|     | (s)       | H               |
| I   | $t_I$     | $H_I$           |
| II  | $t_{II}$  | $H_{II}$        |
| III | $t_{III}$ | $H_{III}$       |

$$H_{II} = \frac{H_I(t_{II}-t_{III})-H_{III}(t_{II}-t_I)}{t_I-t_{III}} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:  $H_{II}$  é a altura da camada de brita para o tempo desejado (m),  $H_I$  é a altura de brita no tempo anterior (m),  $H_{III}$  é a altura de brita no tempo posterior (m),  $t_{II}$  é o tempo equivalente a altura de brita que se deseja determinar (s) e,  $t_I$  e  $t_{III}$  são os tempos anterior e posterior, respectivamente (s).

Tabela 5 - Alturas de brita para os tempos de retorno (*TR*) de 2, 5 e 10 anos.

|     | Tempo (h:min:s) | H2 (m) | H5 (m) | H10 (m) |
|-----|-----------------|--------|--------|---------|
| I   | 00:14:00        | 0,35   | 0,42   | 0,48    |
| II  | 00:15:00        | 0,37   | 0,44   | 0,50    |
| III | 00:16:00        | 0,38   | 0,45   | 0,51    |

A camada de brita foi determinada não só para potencializar o movimento da água no sistema, mas também armazenar as águas infiltradas em caso de chuvas muito intensas ou, caso o solo abaixo da estrutura esteja em estado saturado. Considerando que o tempo de duração da chuva de projeto foi de 15 min, o tempo de retorno de 2 anos e que o movimento da água ocorre somente na direção vertical, a altura da camada de brita adotada, foi de 0,37 m (37 cm).

A taxa de infiltração é limitada pela capacidade de infiltração do solo e pela intensidade da chuva, sendo expressa, normalmente em mm/min ou mm/h, no caso, é o volume de água que penetra no perfil do solo expresso por unidade de área, por unidade de tempo (Apêndice 1). Então se infiltra em 10 cm (100 mm) de lâmina em 1 hora e 50 minutos (1,83333 h), a taxa de infiltração é 54,55 mm/h. Após, o teste de infiltração, determinação da taxa de infiltração e cálculo da espessura da camada de brita, deu-se a colocação das diferentes camadas conforme apresentada na figura 25.

Figura 25 - Etapas da construção do jardim de chuva piloto: solo natural, areia, brita, geotêxtil, substrato e cobertura vegetal e dolomitas brancas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, neste capítulo do trabalho é apresentada a avaliação da eficiência do *jardim de chuva* piloto, a partir das observações e comportamento do dispositivo. O *jardim de chuva*, foi desenvolvido de forma satisfatória, tendo realizado os cálculos para encontrar as dimensões que foram adotadas, focando na camada de armazenamento.

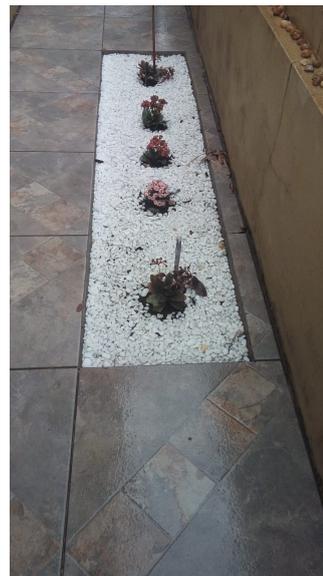
O fato observado na figura 26, ocorreu no dia 25 de agosto de 2021, neste dia, de acordo com a estação meteorológica da UFFS - *Campus* Cerro Largo - IRIOGRAN38, sucedeu uma precipitação acumulada de aproximadamente 49 mm no momento em que a foto foi tirada. Já a figura 27, foi registrada no dia 17 de setembro de 2021, verificou-se uma precipitação acumulada de aproximadamente 28,7 mm, no momento em que a foto foi tirada (WEATHER UNDERGROUND, 2021). Desta forma, o jardim proporcionou um amortecimento dos volumes produzidos no próprio lote, garantindo o manejo adequado das águas pluviais urbanas, evitando assim, danos na unidade habitacional. Além de causar uma melhoria no ambiente, tornando-o mais agradável.

Figura 26 - Evento de chuva do dia  
25/08/2021



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27 - Evento de chuva do dia  
17/09/2021



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.1 CUSTOS DE MONTAGEM

Os custos para a montagem do jardim de chuva piloto são apresentados na tabela 6, podendo-se observar que seu custo é relativamente baixo. O custo de montagem foi determinado a partir do produto do preço unitário pela sua respectiva quantidade utilizada para a construção do *jardim de chuva*.

Tabela 6 - Custo de montagem do jardim de chuva piloto

| Item                       | Unidade        | Preço Unitário | Quantidade | Preço Final       |
|----------------------------|----------------|----------------|------------|-------------------|
| Areia                      | m <sup>3</sup> | R\$ 120,00     | 0,38       | R\$ 45,96         |
| Brita                      | m <sup>3</sup> | R\$ 90,00      | 0,10       | R\$ 90,00         |
| Pedra dolomita<br>(branca) | saco 20 Kg     | R\$ 40,00      | 2,00       | R\$ 80,00         |
| Substrato                  | saco 30 Kg     | R\$ 25,00      | 1,50       | R\$ 37,50         |
| Manta geotextil            | m              | R\$ 12,00      | 2,00       | R\$ 24,00         |
| Cimentcola                 | saco 20 Kg     | R\$ 25,00      | 1,00       | R\$ 25,00         |
| Mão de obra                | empreitada     | R\$ 120,00     | 1,00       | R\$ 120,00        |
| Flor da fortuna            | vaso           | R\$ 06,00      | 5,00       | R\$ 30,00         |
| Frete                      | viagem         | R\$ 25,00      | 1,00       | R\$ 25,00         |
| <b>Preço total</b>         |                |                |            | <b>R\$ 396,46</b> |

## 5. CONCLUSÃO

As soluções clássicas de drenagem urbana visavam o princípio do higienismo, que com a implantação de condutos propiciavam uma maior eficiência hidráulica do escoamento, de forma a remover rapidamente as águas pluviais das zonas urbanas e lançar em corpos hídricos, portanto, ocorre aumento da velocidade dos escoamentos e transferem os problemas para jusante. Diante da importância e da necessidade do desenvolvimento de técnicas e alternativas que auxiliem no manejo das águas pluviais de maneira eficiente e sustentável, é essencial a realização de estudos e exploração das mesmas, pois essas alternativas minimizam os efeitos negativos ocasionados pela urbanização descontrolada.

Foi apresentado neste trabalho, uma alternativa de manejo de águas pluviais que vai ao encontro das práticas que visam maximizar as áreas de infiltração, a fim de aproximar das condições naturais hidrológicas. A proposta do trabalho foi dimensionar um *jardim de chuva*, uma estrutura de biorretenção, em uma unidade habitacional com a finalidade de auxiliar no manejo das águas pluviais urbanas. O dispositivo do experimento foi avaliado a partir das análises de retenção, infiltração e armazenamento.

Um grande benefício esperado ao aplicar o dispositivo *jardim de chuva* é a oportunidade de integrar às atividades locais, com baixo impacto ambiental e a saúde da população. Além disso, o dimensionamento do *jardim de chuva* se mostra bastante flexível, visto que essas estruturas de retenção podem ser instaladas em basicamente qualquer superfície com capacidade de infiltração disponível, podendo adotar vários tamanhos ou formatos, dependendo do volume de escoamento a ser retido e infiltrado por cada estrutura.

Dessa forma foi constatado que o jardim de chuva é uma estrutura adequada para efetuar o amortecimento dos volumes produzidos por uma superfície impermeável. Dessarte, o *jardim de chuva* mostra-se como uma excelente alternativa compensatória no manejo de águas pluviais urbanas, comprovado pelo seu desempenho hidráulico e hidrológico.

## 6. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Estudos sobre a eficiência e viabilidade da incorporação de novos dispositivos que auxiliem os sistemas de drenagem existentes são fundamentais para minimizar as consequências causadas pelas águas pluviais nos centros urbanos, intensificadas pelas limitações dos dispositivos de drenagem urbana atual e pelo crescente aumento de áreas impermeáveis. O conhecimento dos valores históricos dos eventos chuvosos, possibilita determinar a localização para implementação dos jardins de chuva.

A estrutura do jardim de chuva é composta por diferentes camadas, as quais podem ser suprimidas ou variar em espessura, dependendo dos objetivos aos quais o sistema foi projetado. Com isso, é necessário o aprofundamento de estudos e análises que mostrem a melhoria da qualidade das águas, além das vantagens e desvantagens das diferentes estruturas dos jardins de chuva, considerando os materiais utilizados e a espessura das camadas.

O uso de jardins de chuva como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas ainda mostra-se carente de informações e parâmetros relacionados ao seu desempenho. Assim, é necessário desenvolver maiores avanços sobre esses dispositivos, principalmente por serem adaptáveis em formato e tamanho, podendo ser implementados nos centros urbanos.

Para que essa concepção mude é necessário a integração de várias áreas do conhecimento como planejamento urbano, meio ambiente, paisagismo, hidrologia, hidráulica, ciência do solo, fluxo de água na superfície e no subsolo e, biologia das plantas. Portanto, a otimização de ações, alternativas e orientações para esse tipo de técnica requer a aproximação, engajamento e interesse dos profissionais envolvidos, sujeitos públicos e privados e, principalmente, a população.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, S. G. **Estudo experimental de micro reservatórios para controle do escoamento superficial.** Porto Alegre, 2001.

BATTEMARCO, Bruna Peres, *et al.* **Sistema de espaços livres e drenagem urbana: um exemplo de integração entre o manejo sustentável de águas pluviais e o planejamento urbano.** Paisag. Ambiente: Ensaio, São Paulo, n. 42, p. 55 - 74, 2018.

BELON, Karine. **Principais manifestações patológicas ocasionadas pela umidade: uma revisão bibliográfica.** 4º Simpósio paranaense de patologia das construções, 2019.

CANHOLI, A.P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CRITTENDEN, John, *et al.* **MWH's Water Treatment: Principles and Design.** John Wiley & Sons, Inc., 2012.

DENARDIN, José Eloir; FREITAS, Pedro Luiz de. **Características fundamentais da chuva no Brasil.** Pesq. agropec. bras Brasília, 1982.

DEP POA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana - Manual de Drenagem Urbana - Volume VI.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** São Carlos: RiMa, volume 1, 2005.

FONTES; A.R.M.; BARBASSA, A.P. **Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbana.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v.8, n.2, p. 37-142, abr-jun. 2003.

FRANÇA, E. *et al.* **Manual de desenho urbano e obras viárias.** São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 2020.

FRELLO, A. S. **Avaliação quantitativa de uma vala de infiltração como técnica compensatória em drenagem urbana.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. 2016.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as Inundações no Brasil.** XVI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Anais... Porto Alegre, ABRH, 2005.

IBGE. **População Rural e Urbana.** 2015. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>>

LI, J. Q. & ZHAO, W. W. **Design and Hydrologic Estimation Method of Multipurpose Rain Garden: Beijing Case Study.** International Low Impact Development Conference. Seattle, Washington. 2008.

LOPES, D. A. R., 2007. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura.** Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo/ Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.

MACHADO, K. M.; ALENCAR, E. A. B. de.. **Levantamento de patologia causadas por umidade nas edificações na cidade de Manaus - AM.** Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, N°. 000166, 2019.

MEDEIROS, I. R.. **Análise comparativa de sistemas de drenagem compensatórias: vala de infiltração e jardim de chuva.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

MELO, T. A. T. de. **Jardins de chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas.** Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. **Jardim de Chuva: Sistema de Biorretenção Como Técnica Compensatória no Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

MONTECIELO, Janaina; EDLER, Marco Antônio Ribeiro. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações.** UNICRUZ, 2016.

MOURA, P. M. *et al.* **Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana.** REGA – Vol. 6, no. 1. 2009.

MOURA. P. M.. **Contribuição para avaliação global de sistemas de drenagem urbana.** Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

PACHECO, E. F.. **Avaliação Quali-quantitativa de uma Vala de Infiltração Pluvial em Termos de Retenção de Contaminantes. Estudo de Caso: Distrito do Campeche - Florianópolis Santa Catarina".** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 2015.

PAZ, A. R. da. **Hidrologia Aplicada.** Caxias do Sul, UERGS. 2004.

PINTO, L. C. A.. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 2011.

POMPÊO, C. A.. **Drenagem urbana sustentável.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, n. 1, 2000.

RIMES, L. A. G.. **Medidas compensatórias de infiltração na drenagem urbana sustentável.** Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2015.

SAATKAMP, G. **Jardim De Chuva: Estudo comparativo de um Sistema de Biorretenção e uma Bacia de Amortecimento Pluvial.** Porto Alegre, UFRGS. 2019.

SETO, K. C. *et al.* **Previsões globais de expansão urbana até 2030 e impactos diretos na biodiversidade e reservatórios de carbono.** 2012. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/109/40/16083.full>>.

SHARKEY, Lucas John. **The Performance Of Bioretention Areas In North Carolina: A Study Of Water Quality, Water Quantity, And Soil Media.** 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, 2006.

SILVA, Marianne R.V. da, et al. **Jardins de chuva: técnicas compensatórias para sistema de drenagem.** Ciências exatas e tecnologias. Alagoas, 2018.

SILVA, J. A. da. **Direito Urbanístico Brasileiro.** 2a ed. rev. At. 2a tiragem. São Paulo MALHEIROS EDITORES, 1997, 421p.

SOUZA, V. C. B.. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial.** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grand do Sul, Porto Alegre. 2002.

TIEPPO, *et al.* **Jardins de chuva: um estudo de caso para Cascavel.** 15º Encontro Científico Cultural Interinstitucional e 1º Encontro Internacional, 2017.

TUCCI, Carlos E. M. **Água no meio urbano.** In: Água Doce. 1997.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas.** Ministério das cidades. 2005.

TUCCI, Carlos E.M. **Hidrologia aplicada: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre UFRGS. 2001.

TUCCI, Carlos. E. M. **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil.** Rega, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p.29-42, jan. 2016.

TUCCI, Carlos E. M., BERTONI, Juan C.. **Inundações urbanas na América do Sul.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

VASCONCELOS, Aná Floriano. **Estudo e proposição de critérios de projeto para implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte.** Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2014.

VILLANUEVA, Adolfo O. N. et al. **Gestão de drenagem urbana, da formação à implementação.** REGA. Rio Grande do Sul, v.8, n.1, p. 5-18, 2011.

WEATHER UNDERGROUND, 2021. **Condições meteorológicas da UFFS - Campus Cerro Largo - IRIOGRAN38.** Disponível em: <<https://www.wunderground.com/weather/br/cerro-largo/IRIOGRAN38>>. Acesso em: 21/09/2021.

## Apêndice

### Apêndice 1 - Resultados da taxa de infiltração

A taxa de infiltração foi determinada a partir da divisão da variação da lâmina pela variação do tempo.

|    | Tempo (h:min:s) | $\Delta$ tempo (min) | Lâmina | $\Delta$ lâmina (mm) | Taxa (mm/min) |
|----|-----------------|----------------------|--------|----------------------|---------------|
| 1  | 00:00:00        | 0                    | 10     | 0                    | 0             |
| 2  | 00:02:00        | 2                    | 9,75   | 0,25                 | 0,125         |
| 3  | 00:04:00        | 2                    | 9,5    | 0,25                 | 0,125         |
| 4  | 00:06:00        | 2                    | 9,3    | 0,2                  | 0,1           |
| 5  | 00:08:00        | 2                    | 9      | 0,3                  | 0,15          |
| 6  | 00:10:00        | 2                    | 8,85   | 0,15                 | 0,075         |
| 7  | 00:12:00        | 2                    | 8,65   | 0,2                  | 0,1           |
| 8  | 00:14:00        | 2                    | 8,4    | 0,25                 | 0,125         |
| 9  | 00:16:00        | 2                    | 8,2    | 0,2                  | 0,1           |
| 10 | 00:18:00        | 2                    | 8      | 0,2                  | 0,1           |
| 11 | 00:20:00        | 2                    | 7,8    | 0,2                  | 0,1           |
| 12 | 00:22:00        | 2                    | 7,6    | 0,2                  | 0,1           |
| 13 | 00:24:00        | 2                    | 7,45   | 0,15                 | 0,075         |
| 14 | 00:26:00        | 2                    | 7,2    | 0,25                 | 0,125         |
| 15 | 00:28:00        | 2                    | 6,95   | 0,25                 | 0,125         |
| 16 | 00:30:00        | 2                    | 6,7    | 0,25                 | 0,125         |
| 17 | 00:32:00        | 2                    | 6,5    | 0,2                  | 0,1           |
| 18 | 00:34:00        | 2                    | 6,3    | 0,2                  | 0,1           |
| 19 | 00:36:00        | 2                    | 6,15   | 0,15                 | 0,075         |
| 20 | 00:38:00        | 2                    | 5,95   | 0,2                  | 0,1           |
| 21 | 00:40:00        | 2                    | 5,75   | 0,2                  | 0,1           |
| 22 | 00:42:00        | 2                    | 5,6    | 0,15                 | 0,075         |
| 23 | 00:44:00        | 2                    | 5,4    | 0,2                  | 0,1           |
| 24 | 00:46:00        | 2                    | 5,2    | 0,2                  | 0,1           |
| 25 | 00:48:00        | 2                    | 5      | 0,2                  | 0,1           |
| 26 | 00:50:00        | 2                    | 4,85   | 0,15                 | 0,075         |

|    |          |   |      |      |       |
|----|----------|---|------|------|-------|
| 27 | 00:52:00 | 2 | 4,7  | 0,15 | 0,075 |
| 28 | 00:54:00 | 2 | 4,5  | 0,2  | 0,1   |
| 29 | 00:56:00 | 2 | 4,35 | 0,15 | 0,075 |
| 30 | 00:58:00 | 2 | 4,2  | 0,15 | 0,075 |
| 31 | 01:00:00 | 2 | 4    | 0,2  | 0,1   |
| 32 | 01:02:00 | 2 | 3,8  | 0,2  | 0,1   |
| 33 | 01:04:00 | 2 | 3,65 | 0,15 | 0,075 |
| 34 | 01:06:00 | 2 | 3,5  | 0,15 | 0,075 |
| 35 | 01:08:00 | 2 | 3,35 | 0,15 | 0,075 |
| 36 | 01:10:00 | 2 | 3,2  | 0,15 | 0,075 |
| 37 | 01:12:00 | 2 | 3    | 0,2  | 0,1   |
| 38 | 01:14:00 | 2 | 2,9  | 0,1  | 0,05  |
| 39 | 01:16:00 | 2 | 2,8  | 0,1  | 0,05  |
| 40 | 01:18:00 | 2 | 2,65 | 0,15 | 0,075 |
| 41 | 01:20:00 | 2 | 2,5  | 0,15 | 0,075 |
| 42 | 01:22:00 | 2 | 2,35 | 0,15 | 0,075 |
| 43 | 01:24:00 | 2 | 2,25 | 0,1  | 0,05  |
| 44 | 01:26:00 | 2 | 2    | 0,25 | 0,125 |
| 45 | 01:28:00 | 2 | 1,95 | 0,05 | 0,025 |
| 46 | 01:30:00 | 2 | 1,85 | 0,1  | 0,05  |
| 47 | 01:32:00 | 2 | 1,75 | 0,1  | 0,05  |
| 48 | 01:34:00 | 2 | 1,6  | 0,15 | 0,075 |
| 49 | 01:36:00 | 2 | 1,35 | 0,25 | 0,125 |
| 50 | 01:38:00 | 2 | 1,2  | 0,15 | 0,075 |
| 51 | 01:40:00 | 2 | 1    | 0,2  | 0,1   |
| 52 | 01:42:00 | 2 | 0,7  | 0,3  | 0,15  |
| 53 | 01:44:00 | 2 | 0,5  | 0,2  | 0,1   |
| 54 | 01:46:00 | 2 | 0,3  | 0,2  | 0,1   |
| 55 | 01:48:00 | 2 | 0,1  | 0,2  | 0,1   |
| 56 | 01:50:00 | 2 | 0    | 0,1  | 0,05  |

## Apêndice 2 - Intensidades de precipitação

As intensidades de precipitação foram determinadas a partir do tempos de ensaio de infiltração realizados na superfície do solo natural e baseadas na equação idf de Denardin e Freitas.

|    | Tempo de retorno |             | 2         | 5         | 10         |
|----|------------------|-------------|-----------|-----------|------------|
|    | Tempo (h:min:s)  | Tempo (min) | i2 (mm/h) | i5 (mm/h) | i10 (mm/h) |
| 1  | 00:00:00         | 0           | 295,237   | 338,736   | 375,851    |
| 2  | 00:02:00         | 2           | 237,256   | 272,212   | 302,038    |
| 3  | 00:04:00         | 4           | 200,247   | 229,750   | 254,924    |
| 4  | 00:06:00         | 6           | 174,336   | 200,022   | 221,939    |
| 5  | 00:08:00         | 8           | 155,063   | 177,909   | 197,403    |
| 6  | 00:10:00         | 10          | 140,099   | 160,740   | 178,353    |
| 7  | 00:12:00         | 12          | 128,103   | 146,977   | 163,081    |
| 8  | 00:14:00         | 14          | 118,245   | 135,667   | 150,532    |
| 9  | 00:16:00         | 16          | 109,983   | 126,187   | 140,013    |
| 10 | 00:18:00         | 18          | 102,945   | 118,112   | 131,054    |
| 11 | 00:20:00         | 20          | 96,869    | 111,142   | 123,319    |
| 12 | 00:22:00         | 22          | 91,564    | 105,055   | 116,566    |
| 13 | 00:24:00         | 24          | 86,887    | 99,688    | 110,611    |
| 14 | 00:26:00         | 26          | 82,728    | 94,917    | 105,317    |
| 15 | 00:28:00         | 28          | 79,003    | 90,643    | 100,574    |
| 16 | 00:30:00         | 30          | 75,644    | 86,789    | 96,299     |
| 17 | 00:32:00         | 32          | 72,599    | 83,295    | 92,422     |
| 18 | 00:34:00         | 34          | 69,823    | 80,111    | 88,888     |
| 19 | 00:36:00         | 36          | 67,282    | 77,195    | 85,653     |
| 20 | 00:38:00         | 38          | 64,944    | 74,513    | 82,677     |
| 21 | 00:40:00         | 40          | 62,787    | 72,038    | 79,931     |
| 22 | 00:42:00         | 42          | 60,789    | 69,745    | 77,387     |
| 23 | 00:44:00         | 44          | 58,932    | 67,614    | 75,023     |
| 24 | 00:46:00         | 46          | 57,201    | 65,629    | 72,820     |
| 25 | 00:48:00         | 48          | 55,584    | 63,773    | 70,761     |
| 26 | 00:50:00         | 50          | 54,068    | 62,034    | 68,832     |

|    |          |     |        |        |        |
|----|----------|-----|--------|--------|--------|
| 27 | 00:52:00 | 52  | 52,645 | 60,402 | 67,020 |
| 28 | 00:54:00 | 54  | 51,306 | 58,866 | 65,315 |
| 29 | 00:56:00 | 56  | 50,043 | 57,417 | 63,708 |
| 30 | 00:58:00 | 58  | 48,850 | 56,048 | 62,189 |
| 31 | 01:00:00 | 60  | 47,721 | 54,752 | 60,752 |
| 32 | 01:02:00 | 62  | 46,651 | 53,524 | 59,389 |
| 33 | 01:04:00 | 64  | 45,634 | 52,358 | 58,095 |
| 34 | 01:06:00 | 66  | 44,668 | 51,249 | 56,864 |
| 35 | 01:08:00 | 68  | 43,747 | 50,193 | 55,692 |
| 36 | 01:10:00 | 70  | 42,869 | 49,186 | 54,575 |
| 37 | 01:12:00 | 72  | 42,031 | 48,224 | 53,508 |
| 38 | 01:14:00 | 74  | 41,230 | 47,305 | 52,488 |
| 39 | 01:16:00 | 76  | 40,464 | 46,426 | 51,512 |
| 40 | 01:18:00 | 78  | 39,729 | 45,583 | 50,578 |
| 41 | 01:20:00 | 80  | 39,025 | 44,775 | 49,681 |
| 42 | 01:22:00 | 82  | 38,349 | 44,000 | 48,821 |
| 43 | 01:24:00 | 84  | 37,700 | 43,255 | 47,994 |
| 44 | 01:26:00 | 86  | 37,075 | 42,538 | 47,199 |
| 45 | 01:28:00 | 88  | 36,474 | 41,848 | 46,434 |
| 46 | 01:30:00 | 90  | 35,895 | 41,184 | 45,697 |
| 47 | 01:32:00 | 92  | 35,337 | 40,544 | 44,986 |
| 48 | 01:34:00 | 94  | 34,799 | 39,926 | 44,301 |
| 49 | 01:36:00 | 96  | 34,279 | 39,330 | 43,639 |
| 50 | 01:38:00 | 98  | 33,777 | 38,753 | 43,000 |
| 51 | 01:40:00 | 100 | 33,291 | 38,197 | 42,382 |
| 52 | 01:42:00 | 102 | 32,822 | 37,658 | 41,784 |
| 53 | 01:44:00 | 104 | 32,367 | 37,136 | 41,205 |
| 54 | 01:46:00 | 106 | 31,927 | 36,631 | 40,645 |
| 55 | 01:48:00 | 108 | 31,501 | 36,142 | 40,102 |
| 56 | 01:50:00 | 110 | 31,087 | 35,667 | 39,575 |

### Apêndice 3 - Alturas de precipitação

As alturas de precipitação foram determinadas a partir do produto das intensidades calculadas pelos seus respectivos tempos de infiltração em horas. O conhecimento da altura de precipitação auxilia na quantificação do volume de entrada.

|    | Tempo de retorno |           | 2       | 5       | 10       |
|----|------------------|-----------|---------|---------|----------|
|    | Tempo (h:min:s)  | Tempo (h) | h2 (mm) | h5 (mm) | h10 (mm) |
| 1  | 00:00:00         | 0,000     | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 2  | 00:02:00         | 0,033     | 7,91    | 9,07    | 10,07    |
| 3  | 00:04:00         | 0,067     | 13,35   | 15,32   | 16,99    |
| 4  | 00:06:00         | 0,100     | 17,43   | 20,00   | 22,19    |
| 5  | 00:08:00         | 0,133     | 20,68   | 23,72   | 26,32    |
| 6  | 00:10:00         | 0,167     | 23,35   | 26,79   | 29,73    |
| 7  | 00:12:00         | 0,200     | 25,62   | 29,40   | 32,62    |
| 8  | 00:14:00         | 0,233     | 27,59   | 31,66   | 35,12    |
| 9  | 00:16:00         | 0,267     | 29,33   | 33,65   | 37,34    |
| 10 | 00:18:00         | 0,300     | 30,88   | 35,43   | 39,32    |
| 11 | 00:20:00         | 0,333     | 32,29   | 37,05   | 41,11    |
| 12 | 00:22:00         | 0,367     | 33,57   | 38,52   | 42,74    |
| 13 | 00:24:00         | 0,400     | 34,75   | 39,88   | 44,24    |
| 14 | 00:26:00         | 0,433     | 35,85   | 41,13   | 45,64    |
| 15 | 00:28:00         | 0,467     | 36,87   | 42,30   | 46,93    |
| 16 | 00:30:00         | 0,500     | 37,82   | 43,39   | 48,15    |
| 17 | 00:32:00         | 0,533     | 38,72   | 44,42   | 49,29    |
| 18 | 00:34:00         | 0,567     | 39,57   | 45,40   | 50,37    |
| 19 | 00:36:00         | 0,600     | 40,37   | 46,32   | 51,39    |
| 20 | 00:38:00         | 0,633     | 41,13   | 47,19   | 52,36    |
| 21 | 00:40:00         | 0,667     | 41,86   | 48,03   | 53,29    |
| 22 | 00:42:00         | 0,700     | 42,55   | 48,82   | 54,17    |
| 23 | 00:44:00         | 0,733     | 43,22   | 49,58   | 55,02    |
| 24 | 00:46:00         | 0,767     | 43,85   | 50,32   | 55,83    |
| 25 | 00:48:00         | 0,800     | 44,47   | 51,02   | 56,61    |
| 26 | 00:50:00         | 0,833     | 45,06   | 51,70   | 57,36    |

|    |          |       |       |       |       |
|----|----------|-------|-------|-------|-------|
| 27 | 00:52:00 | 0,867 | 45,63 | 52,35 | 58,08 |
| 28 | 00:54:00 | 0,900 | 46,18 | 52,98 | 58,78 |
| 29 | 00:56:00 | 0,933 | 46,71 | 53,59 | 59,46 |
| 30 | 00:58:00 | 0,967 | 47,22 | 54,18 | 60,12 |
| 31 | 01:00:00 | 1,000 | 47,72 | 54,75 | 60,75 |
| 32 | 01:02:00 | 1,033 | 48,21 | 55,31 | 61,37 |
| 33 | 01:04:00 | 1,067 | 48,68 | 55,85 | 61,97 |
| 34 | 01:06:00 | 1,100 | 49,13 | 56,37 | 62,55 |
| 35 | 01:08:00 | 1,133 | 49,58 | 56,88 | 63,12 |
| 36 | 01:10:00 | 1,167 | 50,01 | 57,38 | 63,67 |
| 37 | 01:12:00 | 1,200 | 50,44 | 57,87 | 64,21 |
| 38 | 01:14:00 | 1,233 | 50,85 | 58,34 | 64,74 |
| 39 | 01:16:00 | 1,267 | 51,25 | 58,81 | 65,25 |
| 40 | 01:18:00 | 1,300 | 51,65 | 59,26 | 65,75 |
| 41 | 01:20:00 | 1,333 | 52,03 | 59,70 | 66,24 |
| 42 | 01:22:00 | 1,367 | 52,41 | 60,13 | 66,72 |
| 43 | 01:24:00 | 1,400 | 52,78 | 60,56 | 67,19 |
| 44 | 01:26:00 | 1,433 | 53,14 | 60,97 | 67,65 |
| 45 | 01:28:00 | 1,467 | 53,50 | 61,38 | 68,10 |
| 46 | 01:30:00 | 1,500 | 53,84 | 61,78 | 68,55 |
| 47 | 01:32:00 | 1,533 | 54,18 | 62,17 | 68,98 |
| 48 | 01:34:00 | 1,567 | 54,52 | 62,55 | 69,40 |
| 49 | 01:36:00 | 1,600 | 54,85 | 62,93 | 69,82 |
| 50 | 01:38:00 | 1,633 | 55,17 | 63,30 | 70,23 |
| 51 | 01:40:00 | 1,667 | 55,49 | 63,66 | 70,64 |
| 52 | 01:42:00 | 1,700 | 55,80 | 64,02 | 71,03 |
| 53 | 01:44:00 | 1,733 | 56,10 | 64,37 | 71,42 |
| 54 | 01:46:00 | 1,767 | 56,40 | 64,72 | 71,81 |
| 55 | 01:48:00 | 1,800 | 56,70 | 65,06 | 72,18 |
| 56 | 01:50:00 | 1,833 | 56,99 | 65,39 | 72,55 |

#### Apêndice 4 - Volume de entrada

A determinação dos volumes de entrada é essencial para o cálculo da estrutura de armazenamento, visto que mesmo que as águas não se infiltrem no solo abaixo do dispositivo, elas tendem a se armazenar dentro da estrutura.

|    | Tempo de retorno (anos) |           | 2       | 5       | 10       |
|----|-------------------------|-----------|---------|---------|----------|
|    | Tempo (h:min:s)         | Tempo (s) | Ve2 (L) | Ve5 (L) | Ve10 (L) |
| 1  | 00:00:00                | 0         | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 2  | 00:02:00                | 120       | 82,35   | 94,48   | 104,83   |
| 3  | 00:04:00                | 240       | 139,00  | 159,49  | 176,96   |
| 4  | 00:06:00                | 360       | 181,53  | 208,27  | 231,09   |
| 5  | 00:08:00                | 480       | 215,28  | 247,00  | 274,06   |
| 6  | 00:10:00                | 600       | 243,13  | 278,95  | 309,52   |
| 7  | 00:12:00                | 720       | 266,77  | 306,08  | 339,62   |
| 8  | 00:14:00                | 840       | 287,29  | 329,61  | 365,73   |
| 9  | 00:16:00                | 960       | 305,38  | 350,38  | 388,77   |
| 10 | 00:18:00                | 1080      | 321,57  | 368,95  | 409,38   |
| 11 | 00:20:00                | 1200      | 336,22  | 385,75  | 428,02   |
| 12 | 00:22:00                | 1320      | 349,58  | 401,09  | 445,04   |
| 13 | 00:24:00                | 1440      | 361,88  | 415,20  | 460,70   |
| 14 | 00:26:00                | 1560      | 373,27  | 428,27  | 475,20   |
| 15 | 00:28:00                | 1680      | 383,89  | 440,45  | 488,71   |
| 16 | 00:30:00                | 1800      | 393,82  | 451,85  | 501,36   |
| 17 | 00:32:00                | 1920      | 403,17  | 462,57  | 513,25   |
| 18 | 00:34:00                | 2040      | 411,99  | 472,69  | 524,48   |
| 19 | 00:36:00                | 2160      | 420,34  | 482,27  | 535,12   |
| 20 | 00:38:00                | 2280      | 428,28  | 491,38  | 545,22   |
| 21 | 00:40:00                | 2400      | 435,85  | 500,06  | 554,85   |
| 22 | 00:42:00                | 2520      | 443,07  | 508,35  | 564,05   |
| 23 | 00:44:00                | 2640      | 449,99  | 516,29  | 572,86   |
| 24 | 00:46:00                | 2760      | 456,63  | 523,91  | 581,31   |
| 25 | 00:48:00                | 2880      | 463,01  | 531,23  | 589,44   |

|    |          |      |        |        |        |
|----|----------|------|--------|--------|--------|
| 26 | 00:50:00 | 3000 | 469,15 | 538,28 | 597,26 |
| 27 | 00:52:00 | 3120 | 475,08 | 545,08 | 604,80 |
| 28 | 00:54:00 | 3240 | 480,80 | 551,64 | 612,09 |
| 29 | 00:56:00 | 3360 | 486,34 | 557,99 | 619,13 |
| 30 | 00:58:00 | 3480 | 491,70 | 564,15 | 625,96 |
| 31 | 01:00:00 | 3600 | 496,90 | 570,11 | 632,58 |
| 32 | 01:02:00 | 3720 | 501,94 | 575,90 | 639,00 |
| 33 | 01:04:00 | 3840 | 506,84 | 581,52 | 645,24 |
| 34 | 01:06:00 | 3960 | 511,61 | 586,99 | 651,31 |
| 35 | 01:08:00 | 4080 | 516,25 | 592,32 | 657,21 |
| 36 | 01:10:00 | 4200 | 520,77 | 597,50 | 662,97 |
| 37 | 01:12:00 | 4320 | 525,18 | 602,56 | 668,58 |
| 38 | 01:14:00 | 4440 | 529,48 | 607,50 | 674,06 |
| 39 | 01:16:00 | 4560 | 533,68 | 612,32 | 679,41 |
| 40 | 01:18:00 | 4680 | 537,79 | 617,02 | 684,63 |
| 41 | 01:20:00 | 4800 | 541,80 | 621,63 | 689,74 |
| 42 | 01:22:00 | 4920 | 545,73 | 626,13 | 694,74 |
| 43 | 01:24:00 | 5040 | 549,57 | 630,54 | 699,63 |
| 44 | 01:26:00 | 5160 | 553,34 | 634,86 | 704,42 |
| 45 | 01:28:00 | 5280 | 557,02 | 639,10 | 709,12 |
| 46 | 01:30:00 | 5400 | 560,64 | 643,24 | 713,72 |
| 47 | 01:32:00 | 5520 | 564,19 | 647,32 | 718,24 |
| 48 | 01:34:00 | 5640 | 567,67 | 651,31 | 722,67 |
| 49 | 01:36:00 | 5760 | 571,09 | 655,23 | 727,03 |
| 50 | 01:38:00 | 5880 | 574,45 | 659,08 | 731,30 |
| 51 | 01:40:00 | 6000 | 577,75 | 662,87 | 735,50 |
| 52 | 01:42:00 | 6120 | 580,99 | 666,59 | 739,63 |
| 53 | 01:44:00 | 6240 | 584,18 | 670,25 | 743,69 |
| 54 | 01:46:00 | 6360 | 587,31 | 673,85 | 747,68 |
| 55 | 01:48:00 | 6480 | 590,40 | 677,39 | 751,61 |
| 56 | 01:50:00 | 6600 | 593,44 | 680,87 | 755,47 |

## Apêndice 5 - Volume de saída

Por meio dos volumes de saída é possível determinar as alturas de brita para os vários tempos do ensaio. Sua determinação foi possível através da lâmina acumulada do ensaio (10cm), e da área do dispositivo (1,034m<sup>2</sup>).

|    | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Tempo (h:min:s) | Lâmina (cm) | Lac (cm) | VSaída (L) |
|----|---------------------------|-----------------|-------------|----------|------------|
| 1  | 0                         | 00:00:00        | 10,00       | 0,00     | 0,000      |
| 2  | 25,85                     | 00:02:00        | 9,75        | 0,25     | 2,585      |
| 3  | 25,85                     | 00:04:00        | 9,50        | 0,50     | 5,170      |
| 4  | 20,68                     | 00:06:00        | 9,30        | 0,70     | 7,238      |
| 5  | 31,02                     | 00:08:00        | 9,00        | 1,00     | 10,340     |
| 6  | 15,51                     | 00:10:00        | 8,85        | 1,15     | 11,891     |
| 7  | 20,68                     | 00:12:00        | 8,65        | 1,35     | 13,959     |
| 8  | 25,85                     | 00:14:00        | 8,40        | 1,60     | 16,544     |
| 9  | 20,68                     | 00:16:00        | 8,20        | 1,80     | 18,612     |
| 10 | 20,68                     | 00:18:00        | 8,00        | 2,00     | 20,680     |
| 11 | 20,68                     | 00:20:00        | 7,80        | 2,20     | 22,748     |
| 12 | 20,68                     | 00:22:00        | 7,60        | 2,40     | 24,816     |
| 13 | 15,51                     | 00:24:00        | 7,45        | 2,55     | 26,367     |
| 14 | 25,85                     | 00:26:00        | 7,20        | 2,80     | 28,952     |
| 15 | 25,85                     | 00:28:00        | 6,95        | 3,05     | 31,537     |
| 16 | 25,85                     | 00:30:00        | 6,70        | 3,30     | 34,122     |
| 17 | 20,68                     | 00:32:00        | 6,50        | 3,50     | 36,190     |
| 18 | 20,68                     | 00:34:00        | 6,30        | 3,70     | 38,258     |
| 19 | 15,51                     | 00:36:00        | 6,15        | 3,85     | 39,809     |
| 20 | 20,68                     | 00:38:00        | 5,95        | 4,05     | 41,877     |
| 21 | 20,68                     | 00:40:00        | 5,75        | 4,25     | 43,945     |
| 22 | 15,51                     | 00:42:00        | 5,60        | 4,40     | 45,496     |
| 23 | 20,68                     | 00:44:00        | 5,40        | 4,60     | 47,564     |
| 24 | 20,68                     | 00:46:00        | 5,20        | 4,80     | 49,632     |
| 25 | 20,68                     | 00:48:00        | 5,00        | 5,00     | 51,700     |
| 26 | 15,51                     | 00:50:00        | 4,85        | 5,15     | 53,251     |

|    |       |          |      |                   |                    |
|----|-------|----------|------|-------------------|--------------------|
| 27 | 15,51 | 00:52:00 | 4,70 | 5,30              | 54,802             |
| 28 | 20,68 | 00:54:00 | 4,50 | 5,50              | 56,870             |
| 29 | 15,51 | 00:56:00 | 4,35 | 5,65              | 58,421             |
| 30 | 15,51 | 00:58:00 | 4,20 | 5,80              | 59,972             |
| 31 | 20,68 | 01:00:00 | 4,00 | 6,00              | 62,040             |
| 32 | 20,68 | 01:02:00 | 3,80 | 6,20              | 64,108             |
| 33 | 15,51 | 01:04:00 | 3,65 | 6,35              | 65,659             |
| 34 | 15,51 | 01:06:00 | 3,50 | 6,50              | 67,210             |
| 35 | 15,51 | 01:08:00 | 3,35 | 6,65              | 68,761             |
| 36 | 15,51 | 01:10:00 | 3,20 | 6,80              | 70,312             |
| 37 | 20,68 | 01:12:00 | 3,00 | 7,00              | 72,380             |
| 38 | 10,34 | 01:14:00 | 2,90 | 7,10              | 73,414             |
| 39 | 10,34 | 01:16:00 | 2,80 | 7,20              | 74,448             |
| 40 | 15,51 | 01:18:00 | 2,65 | 7,35              | 75,999             |
| 41 | 15,51 | 01:20:00 | 2,50 | 7,50              | 77,550             |
| 42 | 15,51 | 01:22:00 | 2,35 | 7,65              | 79,101             |
| 43 | 10,34 | 01:24:00 | 2,25 | 7,75              | 80,135             |
| 44 | 25,85 | 01:26:00 | 2,00 | 8,00              | 82,720             |
| 45 | 5,17  | 01:28:00 | 1,95 | 8,05              | 83,237             |
| 46 | 10,34 | 01:30:00 | 1,85 | 8,15              | 84,271             |
| 47 | 10,34 | 01:32:00 | 1,75 | 8,25              | 85,305             |
| 48 | 15,51 | 01:34:00 | 1,60 | 8,40              | 86,856             |
| 49 | 25,85 | 01:36:00 | 1,35 | 8,65              | 89,441             |
| 50 | 15,51 | 01:38:00 | 1,20 | 8,80              | 90,992             |
| 51 | 20,68 | 01:40:00 | 1,00 | 9,00              | 93,060             |
| 52 | 31,02 | 01:42:00 | 0,70 | 9,30              | 96,162             |
| 53 | 20,68 | 01:44:00 | 0,50 | 9,50              | 98,230             |
| 54 | 20,68 | 01:46:00 | 0,30 | 9,70              | 100,298            |
| 55 | 20,68 | 01:48:00 | 0,10 | 9,90              | 102,366            |
| 56 | 10,34 | 01:50:00 | 0,00 | 10,00             | 103,400            |
|    |       |          |      | <b>10,00 (cm)</b> | <b>103,400 (L)</b> |
|    |       |          |      | <b>0,1 (m)</b>    | <b>0,1034 (m³)</b> |

## Apêndice 6 - Altura da brita

A altura de brita foi determinada considerando a hipótese de movimento da água na estrutura, sendo somente no movimento vertical.

| Tempo de retorno (anos) |                 | 2      | 5      | 10      |
|-------------------------|-----------------|--------|--------|---------|
|                         | Tempo (h:min:s) | H2 (m) | H5 (m) | H10 (m) |
| 1                       | 00:00:00        | -0,08  | -0,08  | -0,08   |
| 2                       | 00:02:00        | 0,05   | 0,06   | 0,08    |
| 3                       | 00:04:00        | 0,13   | 0,17   | 0,19    |
| 4                       | 00:06:00        | 0,20   | 0,24   | 0,28    |
| 5                       | 00:08:00        | 0,25   | 0,30   | 0,34    |
| 6                       | 00:10:00        | 0,29   | 0,35   | 0,40    |
| 7                       | 00:12:00        | 0,32   | 0,39   | 0,44    |
| 8                       | 00:14:00        | 0,35   | 0,42   | 0,48    |
| 9                       | 00:16:00        | 0,38   | 0,45   | 0,51    |
| 10                      | 00:18:00        | 0,40   | 0,48   | 0,54    |
| 11                      | 00:20:00        | 0,42   | 0,50   | 0,57    |
| 12                      | 00:22:00        | 0,44   | 0,52   | 0,59    |
| 13                      | 00:24:00        | 0,46   | 0,54   | 0,62    |
| 14                      | 00:26:00        | 0,47   | 0,56   | 0,64    |
| 15                      | 00:28:00        | 0,48   | 0,58   | 0,65    |
| 16                      | 00:30:00        | 0,50   | 0,59   | 0,67    |
| 17                      | 00:32:00        | 0,51   | 0,60   | 0,69    |
| 18                      | 00:34:00        | 0,52   | 0,62   | 0,70    |
| 19                      | 00:36:00        | 0,53   | 0,63   | 0,72    |
| 20                      | 00:38:00        | 0,54   | 0,64   | 0,73    |
| 21                      | 00:40:00        | 0,55   | 0,65   | 0,74    |
| 22                      | 00:42:00        | 0,56   | 0,66   | 0,75    |
| 23                      | 00:44:00        | 0,57   | 0,67   | 0,76    |
| 24                      | 00:46:00        | 0,57   | 0,68   | 0,77    |
| 25                      | 00:48:00        | 0,58   | 0,69   | 0,78    |
| 26                      | 00:50:00        | 0,59   | 0,70   | 0,79    |
| 27                      | 00:52:00        | 0,59   | 0,71   | 0,80    |

|    |          |      |      |      |
|----|----------|------|------|------|
| 28 | 00:54:00 | 0,60 | 0,71 | 0,81 |
| 29 | 00:56:00 | 0,61 | 0,72 | 0,82 |
| 30 | 00:58:00 | 0,61 | 0,73 | 0,83 |
| 31 | 01:00:00 | 0,62 | 0,74 | 0,84 |
| 32 | 01:02:00 | 0,62 | 0,74 | 0,84 |
| 33 | 01:04:00 | 0,63 | 0,75 | 0,85 |
| 34 | 01:06:00 | 0,63 | 0,75 | 0,86 |
| 35 | 01:08:00 | 0,64 | 0,76 | 0,87 |
| 36 | 01:10:00 | 0,64 | 0,77 | 0,87 |
| 37 | 01:12:00 | 0,65 | 0,77 | 0,88 |
| 38 | 01:14:00 | 0,65 | 0,78 | 0,88 |
| 39 | 01:16:00 | 0,66 | 0,78 | 0,89 |
| 40 | 01:18:00 | 0,66 | 0,79 | 0,90 |
| 41 | 01:20:00 | 0,66 | 0,79 | 0,90 |
| 42 | 01:22:00 | 0,67 | 0,80 | 0,91 |
| 43 | 01:24:00 | 0,67 | 0,80 | 0,92 |
| 44 | 01:26:00 | 0,68 | 0,81 | 0,92 |
| 45 | 01:28:00 | 0,68 | 0,81 | 0,93 |
| 46 | 01:30:00 | 0,68 | 0,82 | 0,93 |
| 47 | 01:32:00 | 0,69 | 0,82 | 0,94 |
| 48 | 01:34:00 | 0,69 | 0,83 | 0,94 |
| 49 | 01:36:00 | 0,69 | 0,83 | 0,94 |
| 50 | 01:38:00 | 0,70 | 0,83 | 0,95 |
| 51 | 01:40:00 | 0,70 | 0,84 | 0,95 |
| 52 | 01:42:00 | 0,70 | 0,84 | 0,95 |
| 53 | 01:44:00 | 0,70 | 0,84 | 0,96 |
| 54 | 01:46:00 | 0,70 | 0,84 | 0,96 |
| 55 | 01:48:00 | 0,70 | 0,84 | 0,96 |
| 56 | 01:50:00 | 0,71 | 0,85 | 0,97 |