

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**Wevelton Ney Machado de Oliveira**

**O Impacto da Implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis  
(SUDS) – Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Bairro Bom Pastor,  
Juiz de Fora - MG**

Juiz de Fora

2024

**Wevelton Ney Machado de Oliveira**

**O Impacto da Implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis  
(SUDS) – Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Bairro Bom Pastor,  
Juiz de Fora - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientador: Professor Doutor Jonathas Batista Gonçalves Silva

Coorientadora: Professora Doutora Maria Helena Rodrigues Gomes

Juiz de Fora

2024

Oliveira, Wevelton Ney Machado de.

O impacto da implantação dos sistemas urbanos de drenagem sustentáveis (SUDS) - Estudo de caso na bacia hidrográfica do bairro Bom Pastor, Juiz de Fora - MG / Wevelton Ney Machado de Oliveira. -- 2024.

111 f. : il.

Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva

Coorientadora: Maria Helena Rodrigues Gomes

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2024.

1. Drenagem urbana. 2. Alagamentos. 3. Sustentabilidade. I. Silva, Jonathas Batista Gonçalves, orient. II. Gomes, Maria Helena Rodrigues, coorient. III. Título.

WEVELTON NEY MACHADO DE OLIVEIRA

O Impacto da Implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS) – Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Bairro Bom Pastor

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Ambiente Construído, Programa da Universidade Federal de Juiz de Fora com requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.  
Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 13 de setembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Jonathas Batista Gonçalves Silva - Orientador e Presidente  
da Banca Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Maria Helena Rodrigues Gomes -  
Coorientador(a) Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr César Barra Rocha - Membro titular interno

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr Henrique da Silva Pizzo - Membro titular externo

Companhia de Saneamento Municipal –Cesama

Juiz de Fora, 13/09/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Henrique da Silva Pizzo, Usuário Externo**, em 13/09/2024, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jonathas Batista Gonçalves Silva, Professor(a)**, em 13/09/2024, às 16:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Helena Rodrigues Gomes, Professor(a)**, em 16/09/2024, às 09:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cezar Henrique Barra Rocha, Professor(a)**, em 01/10/2024, às 09:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-U ([www2.u.br/SEI](http://www2.u.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1963694** e o código CRC **BF1922F1**.

**Wevelton Ney Machado de Oliveira**

**O Impacto da Implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis  
(SUDS) – Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Bairro Bom Pastor,  
Juiz de Fora - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Aprovado em 13 de setembro de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Doutor Jonathas Batista Gonçalves Silva - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professora Doutora Maria Helena Rodrigues Gomes - Coorientadora  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professor Doutor César Barra Rocha  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Doutor Henrique da Silva Pizzo  
Companhia de Saneamento Municipal – Cesama

## RESUMO

O crescimento urbano e a impermeabilização do solo geram e intensificam os processos do escoamento superficial, o que sobrecarrega os sistemas de drenagem e gera problemas decorrentes dos eventos pluviométricos. O objetivo do trabalho foi analisar os efeitos da adoção dos sistemas urbanos de drenagens sustentáveis na bacia hidrográfica do bairro Bom Pastor na cidade de Juiz de Fora, MG. Realizando um estudo das características morfométricas e pluviométricas da região para a determinação do escoamento superficial no ponto exutório. Foram selecionados entre os diversos sistemas de drenagens; o telhado verde, o microrreservatório e o pavimento permeável como sendo os mais adequados à realidade local. Fez-se um comparativo do volume do escoamento superficial gerado considerando-se a situação atual e após a implantação dos sistemas de drenagens. Obteve-se uma redução de 21,23% do escoamento superficial que chega ao ponto exutório, através da redução do volume de escoamento gerado pela fonte. Busca-se contribuir com as informações geradas da região e estimular a implantação desses sistemas de drenagens visando amenizar os transtornos causados pelo excessivo escoamento superficial local.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana. Alagamentos. Sustentabilidade.

## **Abstract**

Urban growth and soil sealing generate and intensify surface runoff processes, which overloads drainage systems and creates problems arising from rainfall events. The objective of the work was to analyze the effects of adopting sustainable urban drainage systems in the river basin of the Bom Pastor neighborhood in the city of Juiz de Fora, MG. Carrying out a study of the morphometric and rainfall characteristics of the region to determine surface runoff at the outlet point. They were selected from the various drainage systems; the green roof, the micro-reservoir and the permeable pavement as being the most appropriate to the local reality. A comparison was made of the volume of surface runoff generated considering the current situation and after the implementation of drainage systems. A 21.23% reduction in surface runoff reaching the outlet point was achieved, through the reduction in the volume of runoff generated by the source. The aim is to contribute to the information generated in the region and encourage the implementation of these drainage systems in order to alleviate the problems caused by excessive local surface runoff.

**Key words:** Urban drainage. Flooding. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do Ciclo Hidrológico .....	17
Quadro 1 - Impactos decorrentes da impermeabilização .....	18
Figura 2 - Esquema exemplificando enchente, inundação e alagamento .....	20
Figura 3 - Linha do tempo da evolução da drenagem urbana .....	23
Figura 4 - Modelo de captação e uso das águas dos microrreservatórios .....	25
Figura 5 - Componentes de um poço de infiltração .....	27
Figura 6 - Jardins de Chuva .....	29
Figura 7 - Faixa Gramada .....	30
Figura 8 - Vala de Infiltração .....	32
Figura 9 - Camadas de um telhado verde .....	33
Figura 10 - Pavimento com infiltração total no solo .....	36
Figura 11 - Pavimento com infiltração parcial no solo .....	36
Figura 12 - Pavimento sem nenhuma infiltração no solo .....	37
Figura 13 - Asfalto permeável .....	38
Figura 14 - Concreto permeável .....	40
Figura 15 - Piso Intertravado .....	40
Figura 16 - Fluxograma das etapas adotadas .....	42
Figura 17 - Mapa de localização da cidade de Juiz de Fora/ Brasil .....	43
Figura 18 - Mapa de localização bairro Bom Pastor .....	44
Figura 19 - Áreas de contribuição do escoamento superficial .....	45
Figura 20 - Ponto exutório ampliado .....	46
Quadro 2 - Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade .....	50
Figura 21 - Relatório dos dados regionais para aplicação na fórmula .....	51
Figura 22 - Tabela do coeficiente de Manning para escoamento superficial .....	52

Figura 23 - Trechos utilizados para o cálculo da declividade .....	54
Quadro 3 - Valores dos trechos utilizados para cálculo da declividade .....	54
Figura 24 - Coeficiente de infiltração .....	62
Figura 25 - Fator de segurança para o coeficiente de infiltração .....	62
Figura 26 - Porosidade efetiva do material para o pavimento .....	63
Figura 27 - Cálculo da vazão sem os SUDS .....	64
Figura 28 - Cálculo da vazão com a área reduzida pelos SUDS .....	64
Quadro 4 - Dimensões da área de contribuição .....	65
Figura 29 - Hipsometria da área de contribuição .....	66
Figura 30 - Relevo da área de contribuição .....	67
Figura 31 - Declividade da área de contribuição .....	68
Figura 32 - Curvas de nível das áreas de contribuição (Bom Pastor).....	69
Figura 33 - Fluxo de direção das áreas de contribuição .....	70
Figura 34 - Visão 3D da área de contribuição .....	70
Quadro 5 - Curva IDF com tempo de retorno para 5 anos.....	72
Quadro 6 - Curva IDF com tempo de retorno para 10 anos .....	73
Figura 35 - Gráfico da Curva IDF para 5 e 10 anos .....	73
Figura 36 -. Uso e cobertura do solo (Bom Pastor) .....	75
Quadro 7 - Tempo de concentração .....	74
Quadro 8 - Dados locais sem uso dos SUDS .....	76
Quadro 9 - Dados da utilização dos telhados verdes .....	77
Quadro 10 - Dados da utilização dos microrreservatórios .....	77
Quadro 11 - Dados locais com a utilização dos pavimentos permeáveis .....	78
Quadro 12 - Resultado da aplicação dos cem telhados verdes .....	79
Quadro 13 - Resultado da aplicação dos cem microrreservatórios .....	79
Quadro 14 - Resultado da aplicação dos cem pavimentos permeáveis .....	80
Quadro 15 - Resultado da aplicação de todos os SUDS .....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUDS	Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável
MG	Minas Gerais
CEAGESP	Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo
PND	Planos Nacionais de Desenvolvimento
EUA	Estados Unidos da América
UFG	Universidade Federal de Goiás
USA	United States of América
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PJF	Prefeitura de Juiz de Fora
MDE	Modelo Digital de Elevação
QGIS	Quantum Geographic Information System
SCS	Serviço de Conservação dos Solos
RGB	Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue)
C	Coeficiente de Runoff
IDF	Intensidade, Duração e Frequência

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\Sigma$  Somatório
- $\varphi$  Coeficiente de retardo
- $\emptyset$  Porosidade efetiva do material de preenchimento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>14</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
3.1	CONCEITOS RELEVANTES .....	15
<b>3.1.1</b>	<b>Ciclo Hidrológico</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Escoamento Superficial</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Enchentes, Inundações e Alagamentos</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Águas Urbanas</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Poluição das Águas</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Drenagem Urbana</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.7</b>	<b>Macro drenagens e Micro drenagens</b> .....	<b>24</b>
3.2	SISTEMAS URBANOS DE DRENAGENS SUSTENTÁVEIS (SUDS) .....	24
<b>3.2.1</b>	<b>Microrreservatórios</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Poços de Infiltração</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Jardins de Chuva</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Faixa Gramada</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Vala de Infiltração</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Telhados Verdes</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Pavimentos Permeáveis</b> .....	<b>34</b>
3.2.7.1	<i>Infiltração completa para o solo</i> .....	35
3.2.7.2	<i>Infiltração parcial para o solo</i> .....	36
3.2.7.3	<i>Nos casos de solos onde não pode haver infiltração</i> .....	37
3.2.7.4	<i>Alguns requisitos que o relevo deve atender</i> .....	37
3.2.7.5	<i>Camadas de revestimentos dos Pavimentos Permeáveis</i> .....	38
3.2.7.6	<i>Vantagens e desvantagens na utilização do pavimento permeável</i> .....	40
3.3	MANUAL DE DRENAGEM URBANA DE JUIZ DE FORA .....	41
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>42</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DE JUIZ DE FORA .....	42
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	44
<b>4.2.1</b>	<b>Área e perímetro da região de contribuição</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Relevo da bacia de contribuição</b> .....	<b>46</b>

4.2.3	<b>Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade .....</b>	<b>47</b>
4.2.4	<b>Índices Pluviométricos .....</b>	<b>50</b>
4.2.5	<b>Tempo de Concentração .....</b>	<b>51</b>
4.2.6	<b>Uso e ocupação do solo.....</b>	<b>54</b>
4.3	<b>SELEÇÃO DOS SUDS .....</b>	<b>55</b>
4.3.1	<b>Telhados Verdes .....</b>	<b>55</b>
4.3.2	<b>Microrreservatórios .....</b>	<b>55</b>
4.3.3	<b>Pavimento Permeável .....</b>	<b>56</b>
4.4	<b>CÁLCULO DA VAZÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO PARA CENÁRIO ATUAL (SEM SUDS) .....</b>	<b>56</b>
4.5	<b>DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL (SUDS) .....</b>	<b>58</b>
4.5.1	<b>Cálculo de um Modelo de Telhado verde .....</b>	<b>59</b>
4.5.2	<b>Cálculo de um Modelo de Microrreservatório .....</b>	<b>60</b>
4.5.3	<b>Cálculo de um Modelo de Pavimento Permeável .....</b>	<b>61</b>
4.6	<b>COMPARATIVO DA ADOÇÃO DOS SUDS NA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO .....</b>	<b>64</b>
5	<b>RESULTADOS E DISSCUSSÕES .....</b>	<b>65</b>
5.1	<b>CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS .....</b>	<b>65</b>
5.1.1	<b>Área e perímetro da bacia de contribuição .....</b>	<b>65</b>
5.1.2	<b>Hipsometria, Relevo e Declividade Média do Relevo .....</b>	<b>66</b>
5.1.3	<b>Curvas de Nível, Fluxo de Direção e Vista 3d .....</b>	<b>68</b>
5.1.4	<b>Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade .....</b>	<b>72</b>
5.1.5	<b>Índices de Pluviosidade .....</b>	<b>72</b>
5.1.6	<b>Tempo de Concentração .....</b>	<b>74</b>
5.1.7	<b>Uso e ocupação do solo .....</b>	<b>74</b>
5.2	<b>SIMULAÇÕES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM .....</b>	<b>75</b>
5.2.1	<b>Sem SUDS .....</b>	<b>75</b>
5.2.2	<b>Cálculo da capacidade de retenção dos SUDS .....</b>	<b>76</b>
5.2.2.1	<i>Telhado Verde .....</i>	<i>76</i>
5.2.2.2	<i>Microrreservatório .....</i>	<i>77</i>
5.2.2.3	<i>Pavimento permeável .....</i>	<i>78</i>

5.2.3	Representativo da adoção individual dos SUDS na área de contribuição .....	78
5.2.4	Representativo da adoção simultânea dos SUDS na área de contribuição (em edificações distintas) .....	80
6	CONCLUSÃO .....	83
	REFERÊNCIAS .....	84
	APÊNDICE A – Cálculo do fator de forma .....	90
	APÊNDICE B – Cálculo do coeficiente de compacidade .....	91
	APÊNDICE C – Cálculo do índice de circularidade .....	92
	APÊNDICE D – Cálculo do tempo de concentração .....	93
	APÊNDICE E – Cálculo da declividade equivalente .....	94
	APÊNDICE F – Cálculo da vazão da área de contribuição para o cenário atual (sem SUDS) .....	97
	APÊNDICE G – Cálculo da vazão de pré-desenvolvimento e o volume necessário para armazenamento considerando a área de 200 m <sup>2</sup> .....	98
	APÊNDICE H – Cálculo da vazão de pré-desenvolvimento e o volume necessário para armazenamento considerando a área de 1000 m <sup>2</sup> .....	99
	APÊNDICE I – Cálculo do modelo do telhado verde (reservatório) ...	100
	APÊNDICE J – Cálculo do modelo do microrreservatório (altura) ....	101
	APÊNDICE L – Cálculo do modelo do pavimento permeável .....	102
	APÊNDICE M – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (100 telhados verdes) .....	105
	APÊNDICE N – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (100 microrreservatórios) ...	106
	APÊNDICE O – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (100 pavimentos permeáveis) .....	107
	APÊNDICE P – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (todos simultaneamente) ....	108

## 1 INTRODUÇÃO

Desde que o homem começou a viver em comunidade, a ocupação urbana tem alterado as características do solo, tornando-o mais impermeável, contribuindo para o aumento do escoamento superficial e a diminuição da infiltração de água no solo. Com o aumento dessas áreas impermeabilizadas, o volume de água que esco superficialmente é maior, o que tem causado o aumento dos alagamentos e inundações urbanas além da degradação da qualidade das águas (VIRGILIIS, 2009).

Nas últimas décadas, com a constante urbanização e o desenvolvimento populacional, econômico e social, houve o surgimento de grandes centros urbanos e a necessidade da melhoria das vias de circulação, além da extrema ocupação do solo por parte das edificações, características como volume e qualidade do ciclo da água são alteradas. Com isso, o solo, que antes era descoberto e permeável, passou por vários processos de impermeabilização, acarretando vários problemas relacionados à drenagem, aumentando a ocorrência de alagamentos e diminuindo a qualidade das águas pluviais (JABUR, 2013).

Essa alta taxa de impermeabilização do solo e o alto índice de ocupação de forma irregular ou sem planejamento, tornou-se um fator contribuinte para a ineficácia dos sistemas de drenagem urbana, sendo necessário o uso de novas técnicas para mitigar os efeitos da urbanização, aumentando a infiltração das águas no solo e o tempo de retardo do escoamento superficial na fonte, mantendo assim a água nas bacias hidrográficas urbanas por mais tempo (BARRETO, 2018).

As enchentes, inundações e alagamentos, especialmente em áreas urbanas, afetam a sustentabilidade nas cidades e trazem prejuízos à população. A redução da permeabilidade do solo contribui para a não recarga do lençol freático, podendo acarretar problemas sérios de secas em períodos de grandes estiagens. O uso do solo sem planejamento racional e a ocupação desordenada das áreas onde naturalmente ocorrem enchentes, tais como: as planícies de inundação de canais fluviais, associados à impermeabilização do solo, têm ampliado o quadro de insustentabilidade, prejudicando a infraestrutura das cidades e colocando em risco a vida de milhões de pessoas, sobretudo as que vivem em regiões de várzeas dos rios (TUCCI & BERTONI, 2003).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), no Brasil em 2023, segundo o relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, ressaltando os efeitos climáticos extremos no país, estima-se que foram utilizados 64,18 trilhões de litros de água no ano. Sendo cerca de 80% do volume dessa água utilizada para a irrigação (50,5%), para o abastecimento urbano (23,9%) e para a indústria (9,4%). Nesse cenário ainda se constata que mais de 1,5 milhão de pessoas foram afetadas por algum evento hidrológico (alagamento, enxurradas e inundações), enquanto 7 milhões de pessoas foram afetadas por secas e estiagens, sendo quase a metade dessas ocorrências no Nordeste.

Segundo a Agência Brasil (2020), as fortes chuvas em um único dia chegam a gerar prejuízos em torno de R\$110 milhões para o comércio do estado de São Paulo, sendo a região metropolitana a maior prejudicada. O cálculo leva em conta os danos causados pelas vias alagadas e a falta de possibilidade de locomoção.

Ainda segundo os cálculos, a paralisação das atividades na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), grande central de abastecimento e comercialização de produtos como frutas, legumes, verduras, o prejuízo para um único dia chega a cerca de R\$ 21 milhões.

Entendendo que os alagamentos estão relacionados com os processos de construção de ambientes urbanos caracterizados pela insustentabilidade dos altos níveis de impermeabilização, o que torna ineficientes os atuais sistemas de drenagens, tornou-se necessário ampliar o estudo de materiais relacionados à construção de um ambiente capaz de minimizar seus efeitos negativos.

## **2 OBJETIVO**

Objetivou-se identificar a possibilidade da aplicação dos sistemas urbanos de drenagem sustentáveis (SUDS) para reduzir o escoamento superficial e os problemas de alagamentos causados pelos excessos de áreas impermeabilizadas no bairro Bom Pastor na cidade de Juiz de Fora.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Analisar hidrologicamente a bacia de contribuição da área de estudo.

Selecionar os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) que melhor se adaptam à realidade da área de estudo.

Determinar a eficiência de todos os SUDS selecionados e avaliar cenários considerando o uso dos mesmos.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

Segundo Fontes e Barbassa (2003) o processo de urbanização traz profundas modificações na permeabilidade do solo, que por sua vez acarretam respostas hidrológicas deficientes nas áreas urbanizadas, apresentando implicações como o aumento do escoamento superficial e a diminuição da infiltração. Esta camada de impermeabilização, quando submetida a um maior volume de chuva durante um curto espaço de tempo, faz com que o revestimento não seja capaz de drenar toda água para os canais captadores e tão pouco absorver para o solo. A parcela da água não infiltrada aumenta o volume do escoamento superficial e passa a escoar pelos condutos exigindo maior capacidade das seções e maior número de captações de drenagem, as quais não suportam toda demanda de recurso hídrico.

#### **3.1 CONCEITOS RELEVANTES**

Para melhor compreender a necessidade de adotar os sistemas de drenagens sustentáveis, foram listados alguns conceitos relevantes para que se entenda a amplitude do dano causado ao ciclo natural das águas.

##### **3.1.1 Ciclo Hidrológico**

O Ciclo Hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada e se constitui de uma sucessão de processos na natureza pelos quais a água inicia o seu percurso indo de um estágio inicial até retornar à posição primitiva ao longo desse ciclo; neste ciclo, a água está sempre em transição entre os diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso) em diferentes lugares (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010).

Esse processo pode ser definido como “as relações entre as várias formas do comportamento das águas em um ciclo fechado”, mas que “não constitui uma simples sequência de processos, mas sim em um conjunto de fases que representam os diversos caminhos através dos quais a água circula na natureza”. O

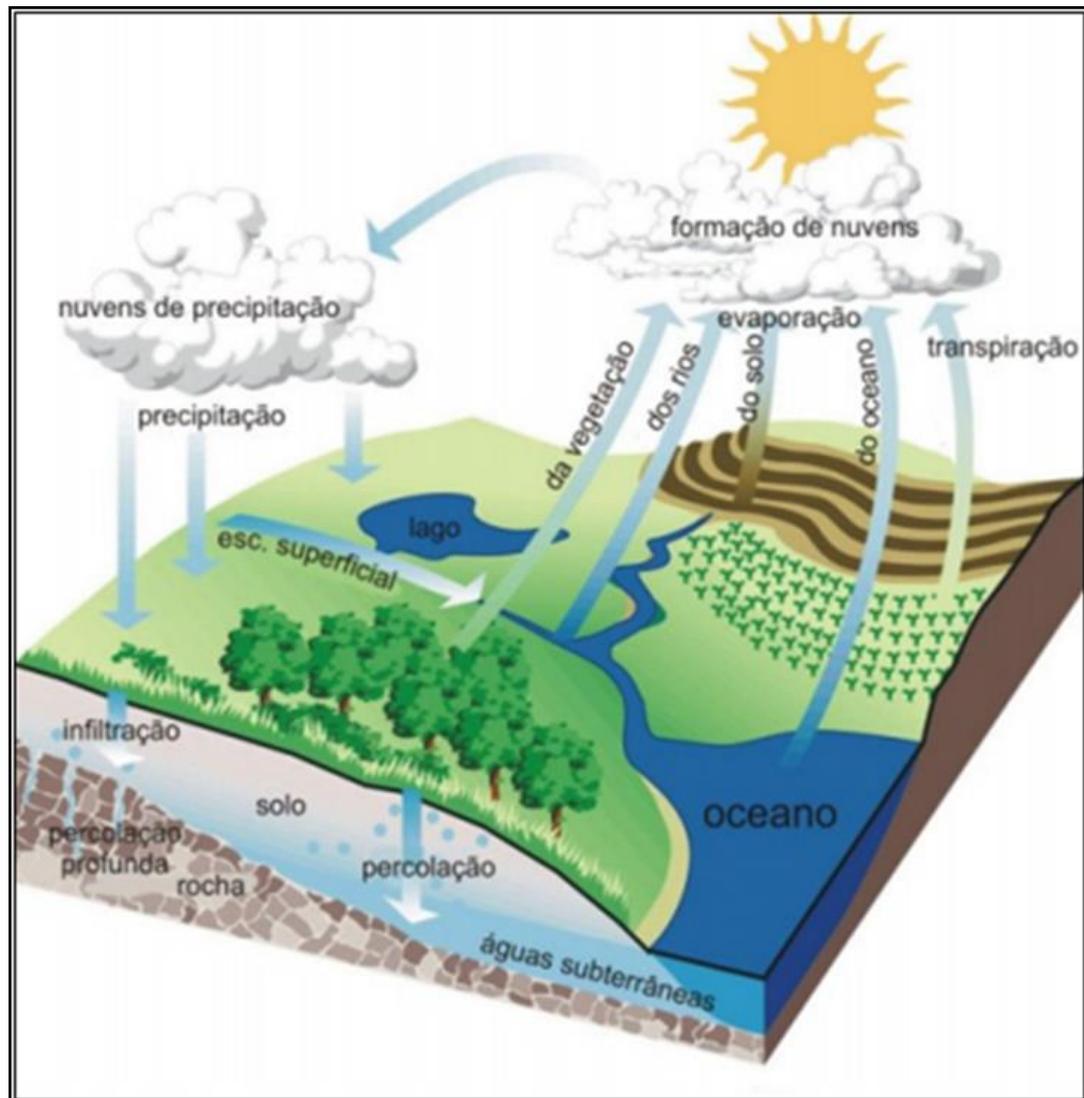
ciclo hidrológico é dividido em duas partes: o ramo aéreo, objeto de estudo da Meteorologia, e o ramo terrestre, estudado pela Hidrologia (LOPES, 2007).

A partir do estudo da bacia hidrográfica como célula básica de análise ambiental e os elementos que compõem o sistema hidrológico e seus processos, podem-se obter conclusões sobre a qualidade ambiental do espaço em questão e os efeitos da ação humana, chamando a atenção para o fato de a bacia hidrográfica ser uma unidade sistêmica, onde o homem é considerado um elemento que se relaciona com os demais elementos que a compõem (BOTELHO; SILVA, 2010).

Existem diversos fatores que afetam o ciclo hidrológico em consequência do processo de urbanização, tais como: retirada de vegetação, impermeabilização do solo (pavimentação e moradias), alterações na topografia do terreno, deposição irregular de resíduos e canalização dos canais fluviais. As alterações no ciclo da água acarretam danos e prejuízos à população, geram inundações, modificam o escoamento superficial e sub-superficial, podendo desencadear ou aumentar a erosão e o assoreamento de rios urbanos. Esses problemas, resultados do avanço urbano estão relacionados à forma de ocupação do solo. A falta de planejamento adequado durante a implantação das cidades faz com que elas cresçam de forma desordenada e com irregularidades, causando ainda mais impactos no ciclo da água. Por isso, é necessário que haja um bom planejamento urbano para que o solo seja ocupado e usado de modo sustentável (REIS; SCHMIDT, 2014).

As características essenciais de qualquer volume de água superficial localizada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas são a sua instabilidade e mobilidade. Todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos (as três fases em que a água existe no planeta Terra) são parte do ciclo dinâmico da água, ciclo este, contínuo. A fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização. Os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos que transportam vapor d'água para os continentes e a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e o deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e a drenagem. Como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema do Ciclo Hidrológico.



Fonte: Da PAZ (2004).

A hidrologia da área urbana apresenta várias peculiaridades se comparada às áreas rurais e florestadas. Isso ocorre devido à intensidade da ocupação humana e os níveis de alterações no ambiente. No Brasil, a urbanização, intensificou-se com os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND). A partir da década de 1970 pode-se observar uma mudança fundamental na ocupação do solo no país, quando, com incentivos estatais para expansão agrícola e industrial, houve a dilatação dos centros urbanos (FERREIRA, 2009).

O desenvolvimento das cidades, frequentemente, está relacionado à substituição de ambientes naturais ou seminaturais por ambientes construídos, com

o direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'água adjacentes aos canais de drenagem. Como consequência, o balanço hídrico é afetado, as superfícies, que antes eram superfícies naturais, tornam-se impermeáveis e impedem a infiltração de água no solo, gerando o aumento do fluxo de águas superficiais e a redução da recarga dos aquíferos (BENINI; MEDIONDO, 2015). No Quadro 1 estão relacionados alguns impactos decorrentes da impermeabilização.

Quadro 1 - Impactos decorrentes da impermeabilização.

<b>Impactos Decorrentes da Urbanização</b>	
<b>Causas</b>	<b>Consequências</b>
Impermeabilização do solo (pavimentação das ruas, construção de edificações e desmatamentos)	Alteração do clima urbano
	Diminuição da evapotranspiração
	Aumento do escoamento superficial (enchentes, erosão do solo, assoreamento dos corpos d'água)
	Diminuição da infiltração (prejudicando o reabastecimento do lençol freático)
Canalização dos rios e águas pluviais	Maiores volumes à jusante
	Eliminação da mata ciliar
	Aumento da velocidade dos cursos d'água
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade das águas

Fonte: Adaptado pelo autor (FEAM, 2022).

O ciclo hidrológico, em condições naturais, pode ser considerado um sistema em equilíbrio dinâmico. Contudo, o processo de urbanização, pautado na intervenção antrópica sem planejamento, trouxe grandes complicações para a questão de águas urbanas, trazendo consequências graves à população e ao meio ambiente. A questão da drenagem urbana tornou-se bastante complexa no atual contexto da demanda ambiental crescente, pois envolve, além de aspectos ambientais, aspectos sanitários, paisagísticos, sociais e técnicos. As alternativas para minimização desse problema devem considerar medidas institucionais e, também estruturais, sendo possível a prevenção em áreas não ocupadas por meio de um planejamento adequado. Porém, atualmente existem muitos locais de ocupação densificada, resultando em diversos problemas hidrológicos que devem ser mitigados (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

### 3.1.2 Escoamento Superficial

Compreende-se como escoamento superficial, o movimento das águas na superfície da terra, seu deslocamento sendo em função do efeito da gravidade. Esse escoamento está relacionado diretamente ou indiretamente com as precipitações que ocorrem na bacia hidrográfica, sendo umas das formas pelas quais os cursos d'água se reabastecem, podendo ser também pela precipitação direta, escoamento sub-superficial ou hipodérmico e escoamento subterrâneo ou básico.

Os fatores que mais influenciam no escoamento superficial são:

- Tipo de solo: interfere na infiltração da água no solo e na capacidade de retenção, quanto maior a rugosidade da superfície do solo menor o escoamento, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de escoamento superficial.
- Ocupação do solo: Interfere diretamente na capacidade da água escoar, dependendo do tipo de ocupação a água pode ficar retida, por exemplo, pela vegetação ou escoar livremente, por exemplo em um solo pavimentado.
- Topografia: influencia na velocidade de escoamento da água. Áreas com maiores declives geralmente tem menor capacidade de armazenamento superficial e com isso geram maiores velocidades no escoamento, além de maiores volumes.
- Redes de drenagem: quando densa e ramificada permite a rápida concentração do escoamento superficial, favorecendo a ocorrência de maiores vazões.

### 3.1.3 Enchentes, Inundações e Alagamentos

Visando esclarecer as diferenças entre os conceitos comumente utilizados pela população e mídias e que geram algumas confusões em relação aos seus significados, são apresentadas as definições de acordo com a literatura referentes às enchentes, inundações e alagamentos. Na Figura 2 tem-se a ilustração dos mesmos.

Figura 2 - Esquema exemplificando enchente, inundação e alagamento.



Fonte: <https://jornaldaparaiba.com.br/meio-ambiente> (2023).

Enchentes, também conhecido como cheia, refere-se ao aumento temporário do nível da água no canal de drenagem devido a um aumento da vazão atingindo a cota máxima do canal, porém sem transbordamento. As enchentes são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente nos cursos d'água devido às chuvas intensas (POMPÊO, 2000).

Inundações referem-se ao transbordamento das águas de um canal de drenagem atingindo as áreas marginais (são as planícies de inundação ou área de várzea). Apesar de ser natural, a intervenção humana tende a ser a principal responsável pelas ocorrências de inundações registradas nas metrópoles (TUCCI; BERTONI, 2003).

Alagamento se trata do acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos devido à intensa precipitação por problemas relacionados à drenagem (ACIOLI, 2005).

Conforme Canholi (2014), as enchentes são o acréscimo de vazão ou descarga d'água, devido ao escoamento superficial das águas provenientes de precipitações, nos canais fluviais. Em períodos de enchentes, as vazões geradas podem atingir magnitude que supere a capacidade de descarga da calha do curso d'água, resultando no extravasamento para áreas marginais ao leito fluvial menor. Embora de ocorrência sazonal e natural, tais processos são intensificados pela ação antrópica, por meio do crescimento das áreas urbanizadas, que invadem o espaço

das planícies de inundação ou de áreas costeiras e avançam em direção às partes mais elevadas do relevo (POMPÊO, 2000).

A incorporação das várzeas dos rios ao sistema viário das cidades, com o consequente processo de retificação de canais fluviais sinuosos e obras de canalização, intensificaram a impermeabilização das planícies de inundação, com consequente aceleração dos escoamentos superficiais e aumento dos picos de vazão e de ocorrência de inundações (POMPÊO, 2000).

A falta de planejamento inerente do rápido crescimento urbano das cidades provoca desastres relacionados às enchentes e inundações, os quais são muito relevantes em âmbito mundial, à intervenção da ação antrópica tende também ser responsável pelas ocorrências registradas nos grandes centros urbanos, devido ao descarte de lixo em locais impróprios, como ruas, córregos e bueiros (ACIOLI, 2005).

#### **3.1.4 Águas Urbanas**

As águas urbanas englobam o sistema de abastecimento de água, o saneamento de efluentes sanitários, a drenagem pluvial e as inundações ribeirinhas. Estes componentes estão inter-relacionados, principalmente pela forma como são gerenciados dentro do ambiente. Devido às influências das intervenções antrópicas, o balanço hídrico se torna mais complexo em áreas urbanas. Normalmente a água utilizada para o abastecimento urbano é importada de fora da área urbana ou mesmo de outra bacia hidrográfica, e depois convertida em águas residuárias voltando para as águas superficiais, em quantidades variáveis, o que reflete no balanço (TUCCI, 2008).

A drenagem urbana envolve a rede de coleta da água, originada das águas pluviais sobre as superfícies urbanas, o seu tratamento e o retorno aos rios. O escoamento das águas pluviais pode produzir inundações nas áreas urbanas devido a dois processos: as inundações de áreas ribeirinhas, que ocorrem naturalmente no leito maior dos rios, e os alagamentos que ocorrem no sistema de drenagem pluvial, retratado pelas águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos por fortes chuvas. Os alagamentos são fortemente relacionados com a urbanização, devido ao efeito da impermeabilização do solo, da canalização e obstruções do

escoamento e da insuficiência da rede de galerias pluviais (TUCCI, 2008; BRASIL, 2006).

### **3.1.5 Poluição das Águas**

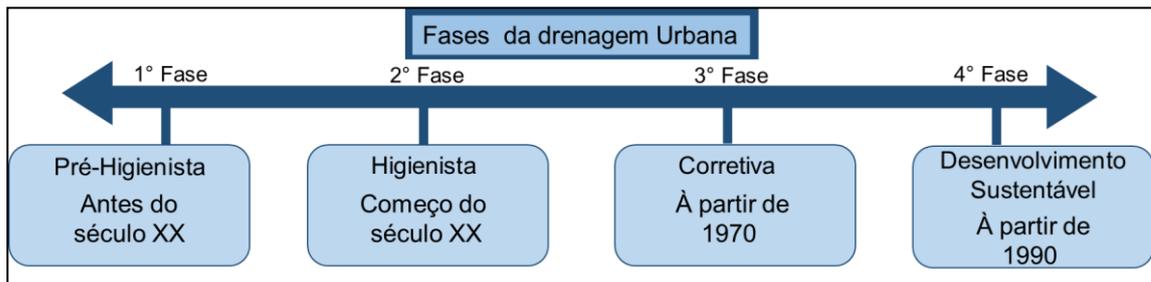
Com o passar dos anos, o aumento das áreas impermeabilizadas tem gerado maiores volumes de escoamento superficial, acarretando no aumento consequente da carga de poluição carregada para os corpos d'água. A poluição das águas pode se originar em zonas residenciais, comerciais ou industriais, sendo variáveis tais cargas poluidoras, devido ao modelo de ocupação e atuação (CASTRO, 2011).

Muitas vezes os níveis de poluição das águas do escoamento superficial podem ser tão prejudiciais quanto os esgotos domésticos, pois apresentam maiores números de metais pesados e materiais nocivos. Se comparados, nota-se que a poluição dos esgotos domésticos tem alta concentração de materiais de origem orgânica, enquanto as águas provenientes das precipitações e escoadas superficialmente transportam metais pesados e materiais de suspensão, sendo que as primeiras águas após a precipitação são as mais prejudiciais por levarem um maior número de agentes poluentes (RIGUETTO, 2017).

### **3.1.6 Drenagem Urbana**

A Figura 3 representa a linha do tempo das quatro fases da drenagem urbana, começando pela fase pré-higienista, passando pela higienista e corretiva e chegando até a fase de desenvolvimento sustentável.

Figura 3 - Linha do tempo da evolução da drenagem urbana.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Segundo Tucci (2014), pelo histórico da drenagem urbana geral, ela pode ser dividida em quatro fases fundamentais.

Sendo a primeira fase denominada como Pré Higienista e caracterizada pela ausência de qualquer sistema de drenagem, onde os esgotos eram encaminhados para fossas ou lançados diretamente nas ruas. Os efluentes e as águas pluviais sem nenhum tipo de tratamento serviam como meio de proliferação de doenças e constantes epidemias, marcando essa fase que ocorreu até o início do século XX.

A segunda fase da drenagem urbana, denominada Higienista, surge com a implantação de obras de canalização visando o transporte dos esgotos com as águas pluviais, com o objetivo de drenar o mais rápido possível para a jusante e assim afastar da população diversas doenças e seus efeitos. Utilizando a aceleração do escoamento através de condutos e o aumento da seção dos mesmos para evitar os alagamentos e transferindo o impacto para a jusante, sendo classificado assim como o melhor modelo de drenagem para a época. Porém, essa prática de transferir os impactos negativos para a jusante gerou a degradação e contaminação de diversos corpos d'água e mananciais, acarretando doenças para a população.

A terceira fase, denominada Corretiva, inicia-se após 1970, pela insustentabilidade da canalização de rios naturais, sendo criada nos Estados Unidos da América (EUA) a "Clean Water Act" (Lei da água limpa) que determina que todos os efluentes sejam tratados com a melhor tecnologia para recuperação e conservação dos rios, incluindo as estruturas de armazenamento de águas pluviais aos sistemas de drenagem.

Após 1990, inicia-se a quarta fase, denominada Desenvolvimento Sustentável, além dos tratamentos dos efluentes da fase anterior, essa fase visa

reduzir o escoamento e aumentar a infiltração, a retenção, a percolação e a evapotranspiração da água precipitada e assim resgatar os aspectos naturais da dinâmica das águas.

### **3.1.7 Macrodrenagens e Microdrenagens**

A macrodrenagem corresponde à drenagem natural, constituída por rios e córregos, que pode receber obras que a modificam e a complementam, tais como canalizações, barragens, piscinões, diques e outras (CGM Engenharia, 2023).

A microdrenagem é o sistema responsável pela captação da água pluvial e sua condução até o sistema de macrodrenagem, é definida por um sistema de condutos em nível de lotes, ou de rede primária urbana, geralmente construída de forma local para captar distributivamente os escoamentos superficiais gerados pelas áreas urbanizadas, conduzindo as águas das chuvas em praças, lotes, ruas e construções. Os elementos principais das microdrenagens são os meios-fios, as sarjetas, as bocas de lobo, os poços de visita, as galerias, os condutos e as estações de bombeamentos (CGM Engenharia, 2023).

## **3.2 SISTEMAS URBANOS DE DRENAGENS SUSTENTÁVEIS (SUDS)**

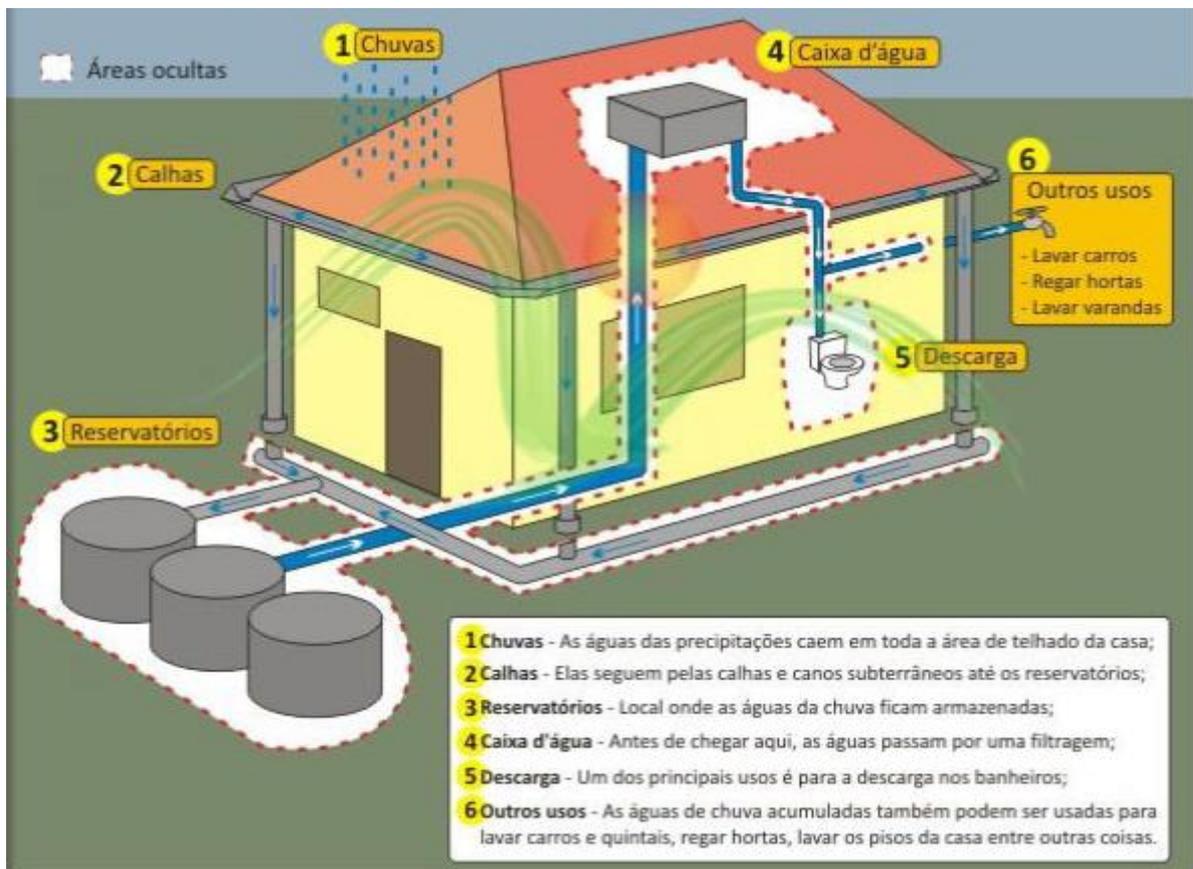
Segundo Tucci (2014), pode ser definido como drenagem urbana, um conjunto de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos que as populações estão sujeitas, ocasionadas pela intensa urbanização, diminuindo os prejuízos causados por inundações e alagamentos, permitindo o desenvolvimento urbano de forma harmônica, planejada e sustentável.

Os SUDS são os elementos construídos que integram a infraestrutura hidráulica urbana, sendo destinados ao controle e a gestão das águas pluviais, possibilitando o retardo do pico de cheia ou do escoamento e o aumento da taxa de infiltração das águas de chuva no solo e a consequente minimização dos impactos negativos gerados pelo escoamento superficial (TOSCAN NETO, 2019). A seguir algumas definições e funções de técnicas de drenagens sustentáveis.

### 3.2.1 Microrreservatórios

São pequenos tanques construídos dentro dos lotes (controle na fonte), concebidos com a função de amortecimento dos picos de cheia a jusante, minimizando o impacto hidrológico causado pela redução das áreas permeáveis. São sistemas de drenagem pluvial com dispositivos que funcionam com o encaminhamento das águas precipitadas nos telhados e nos pavimentos impermeáveis. A água é direcionada por uma tubulação de saída conectada à rede pública de drenagem urbana, que deve possuir seção inferior à de entrada, de maneira a restringir a vazão de saída do escoamento. A partir do momento em que a vazão de chegada é superior à de saída, as águas precipitadas começam a ser armazenadas, retardando e diminuindo o pico do hidrograma de saída (DRUMOND, 2012). Na Figura 4 tem-se um esquema de um modelo de microrreservatório.

Figura 4 - Modelo de captação e uso das águas dos microrreservatórios.



Fonte: Ecovila Clareando (2023).

Segundo análise de Tucci (1998), o comportamento da utilização de um microrreservatório de retenção em um lote, como controle da microdrenagem, considerando lotes de 300, 400, 500 e 600m<sup>2</sup> com desnível de 1% em diversas cidades brasileiras e os coeficientes de escoamento superficial adotados de 0,1 para as condições naturais (matas, parques e campos de esportes) e 0,5 para lotes com edificações com poucas áreas livres, com os tempos de retorno (TR) de 2 e 5 anos e a estimativa da vazão máxima do lote realizada pelo método racional. Com base nestes elementos, o autor concluiu que o uso de um reservatório com tamanho de 1,3 a 1,9 m<sup>3</sup>, reduz o pico do hidrograma para as condições anteriores à ocupação de um lote. Esse volume representa aproximadamente o mesmo volume utilizado para regularizar o abastecimento de uma residência.

### **3.2.2 Poços de Infiltração**

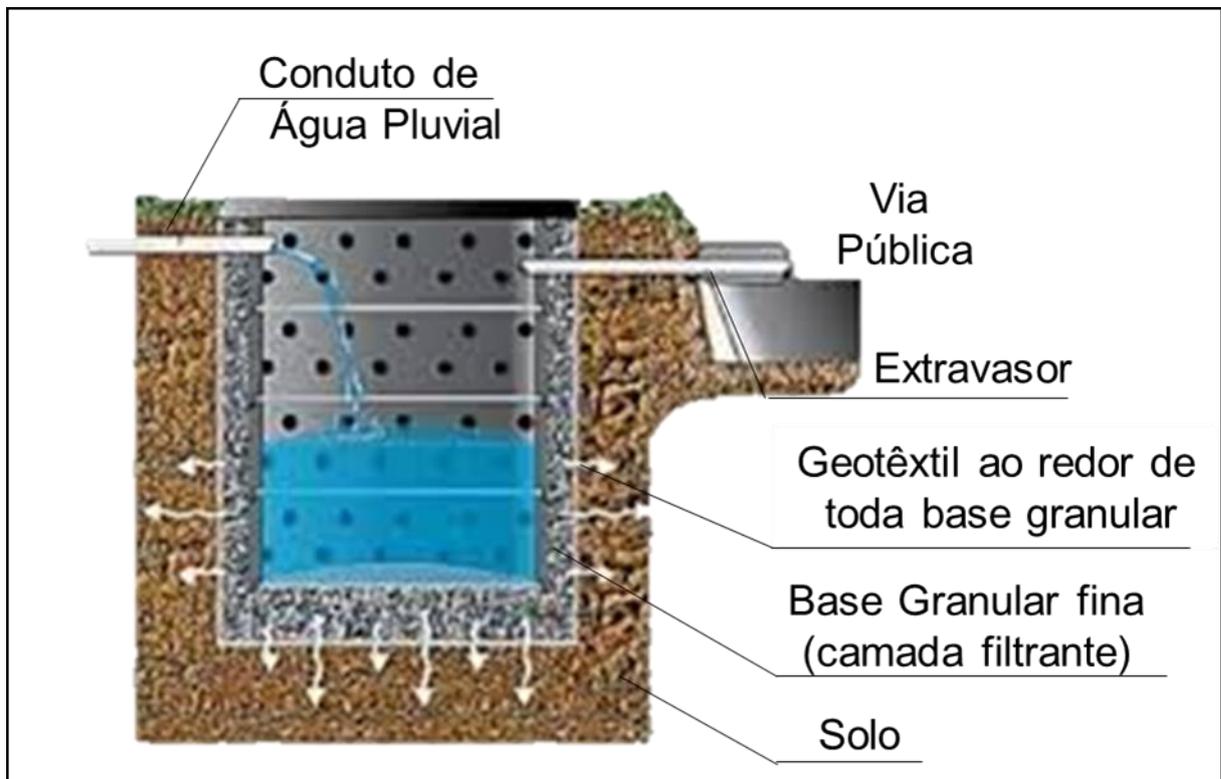
Os poços de infiltração são sistemas de retenção de águas pluviais que fazem parte de um rol de alternativas tecnológicas de microescala que têm como função reter a água pluvial em detrimento das parcelas escoadas. Especificamente, o poço de infiltração consiste em técnica compensatória denominada pontual (pequena área em planta), a qual visa atenuar os efeitos decorrentes do escoamento superficial direto em sua geração e também pode ser designada como técnica de controle do escoamento superficial direto na fonte. Sua função é infiltrar as águas pluviais, visando amortecer os picos de vazão que possam atingir o sistema de drenagem convencional e, conseqüentemente, diminuir o volume do escoamento superficial direto pela retenção do volume excedente de chuva no solo (TOMINAGA, 2013).

O sistema consiste em um poço escavado no solo revestido por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, envoltos por uma manta geotêxtil fazendo a interface solo/tubo e fundo revestido por uma camada de agregados graúdos, também envoltos por geotêxtil, de forma a permitir a infiltração para o solo do volume de água pluvial escoado para o seu interior. Toda água de chuva captada pela edificação é lançada inicialmente no poço de infiltração. Somente após a diminuição da capacidade de absorção do solo e total enchimento do poço, a água passa a ser lançada no sistema público de drenagem, por meio de

extravasores do próprio poço de infiltração ou em uma caixa de passagem anterior ao sistema.

Além do baixo custo executivo, os poços de infiltração de águas pluviais possuem maior fundamentação ambiental, pois restabelecem pontos de recarga de lençol freático. Em acréscimo, mantêm o balanço hídrico natural e melhoram a qualidade da água pluvial, impedindo que um maior volume escoe pelas vias públicas carregando grande carga poluidora para os leitos dos rios. Por outro lado, os poços de infiltração possuem fatores limitantes, como a impossibilidade de instalação em terrenos com solos colapsíveis, ou seja, aqueles caracterizados pela súbita redução de volume devido ao ganho de umidade com presença ou não de sobrecarga, solos com baixa capacidade de infiltração ou lençol freático elevado (REIS; OLIVEIRA; SALES, 2008). Os componentes de um modelo de poço de infiltração são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Componentes de um poço de infiltração.



Fonte: REIS; OLIVEIRA; SALES (2008).

Em um estudo experimental realizado no campus da Universidade Federal de Goiás (UFG), foi construído um poço com dimensões de 1,10m de diâmetro e 1,30m de profundidade, com volume de armazenamento de 1m<sup>3</sup> para absorver o volume precipitado de uma área de 107,5m<sup>2</sup> com a chuva de projeto estipulada para o período de retorno de um ano e com duração de cinco minutos de precipitação. Constataram que a permeabilidade do poço se comportou de modo constante, sendo capaz de infiltrar 1,70m<sup>3</sup> de água em intervalos de 50 minutos mesmo após o terceiro enchimento consecutivo (REIS, OLIVEIRA, SALES; 2008).

### **3.2.3 Jardins de Chuva**

Conhecidos como técnicas de drenagem compensatórias visam preservar os mecanismos naturais de escoamento, reduzindo os focos de alagamentos e aumentando o controle de escoamento, mitigando os impactos ambientais negativos. Método criado por Zephaniah Phiri Maseko que utiliza a atividade biológica das plantas e dos micro-organismos para remover os poluentes das águas pluviais, contribuindo para a infiltração e retenção nos níveis freáticos e recursos hídricos em ambientes urbanos, amenizando impactos ocasionados pela impermeabilidade dos solos nas cidades (SOLUÇÕES PARA CIDADES, 2021).

Normalmente, são instalados em áreas escavadas e em rasas depressões de terras, que são preenchidas com material granular de alta permeabilidade, material orgânico e são projetadas para captar, reter, retardar e minimizar ou evitar os impactos advindos do escoamento superficial. O fluxo de água concentra-se nas depressões do solo, formando pequenas poças e infiltrando gradativamente. Por meio deste sistema ocorre o processo de infiltração, retenção e adsorção, reduzindo o volume escoado e preservando as águas subterrâneas, obtendo benefícios ambientais, ecológicos, paisagísticos e econômicos (MELO et al., 2014).

Os poluentes carregados com as águas das chuvas são removidos por adsorção, filtração, volatilização, troca de íons e decomposição. A água limpa pode ser infiltrada no terreno para reabastecimento do aquífero ou recolhido em um dreno e descarregado no sistema de micro drenagem. Em períodos de chuvas torrenciais, quando se pode extrapolar a capacidade de absorção para a qual a estrutura foi

projetada, o fluxo ultrapassado é desviado da área e encaminhado diretamente para o sistema de drenagem convencional. Os critérios para projetos do jardim de chuva devem ser específicos para cada lugar de implementação e é imprescindível priorizar o estudo do solo e sua permeabilidade, além das variações de nível da água subterrânea, que pode ser um limitante quando este se apresenta muito próximo da superfície do solo (MELO et al., 2014).

Segundo Christensen e Schimidt (2008), o tamanho dos jardins de chuva é mais indicado para pequenas áreas sendo dimensionados em uma proporção de 5% a 20% da superfície impermeável. Foram aplicados aleatoriamente modelos de jardins de chuva na cidade de Madison (Wisconsin / USA), sendo projetados apenas para receberem os volumes precipitados dos telhados das casas, sendo adotadas as proporções de dimensionamento de 15%, 36%, 50%, 65%, 86% e 100% dessas áreas impermeáveis. Para o desempenho dos sistemas, foram avaliados a partir de variados cenários hipotéticos em relação à quantidade e duração dos eventos de precipitação, obtendo como resultado uma significativa redução do volume total de escoamento superficial de 50% para taxas menores que 10% e uma queda no fluxo de pico de 60% para 10%. Na Figura 6 tem-se um modelo de jardim de chuva.

Figura 6 - Jardins de Chuva.



Fonte: redecoração.com.br (2023).

### 3.2.4 Faixa Gramada

Projetadas para receber o escoamento superficial de áreas impermeáveis e aumentarem o processo de infiltração antes que o escoamento atinja a rede de drenagem, sua utilização depende da topografia local, das condições de permeabilidade do solo e a remoção de poluentes dependerá do comprimento percorrido pelo escoamento até a rede de drenagem. São próprias para regiões úmidas, sendo necessária a irrigação em épocas de estiagem. Necessitam de manutenção, que pode ser feita como a manutenção geral das áreas verdes do local (TUCCI, 1997). Conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Faixa Gramada



Fonte: <https://www.leca.pt/solucoes/gestao-aguas-pluviais> (2023).

Segundo Tomaz (2005), faixas gramadas são áreas lineares recobertas com grama ou vegetação similares que se destinam a receber o escoamento superficial

das áreas impermeabilizadas. Sendo necessário para sua construção ter uma cota mais baixa que o calçamento, para aumentar a capacidade de retenção, próximo ao meio-fio das vias públicas, amortizando o escoamento direto das áreas construídas para o sistema público de drenagem. Tem como finalidade, aumentar a perspectiva de infiltração e recarga dos aquíferos e promover a diminuição do volume de água no sistema de drenagem urbana, proporcionando a redução da velocidade de deflúvio, além de trazer benefícios estéticos e paisagísticos, agregando áreas verdes aos espaços urbanos.

### **3.2.5 Vala de infiltração**

As valas ou valetas de infiltração são dispositivos construtivos de drenagens laterais, empregados paralelamente às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, entre outros. Eles concentram o fluxo das áreas próximas e propiciam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento (TUCCI, 1998).

Tem como finalidade recolher as águas pluviais, promovendo o armazenamento temporário, permitindo a infiltração. As valetas permitem aumentar o tempo de escoamento, atenuando a velocidade. Também auxiliam a filtrar o escoamento superficial, removendo sólidos em suspensão e outros poluentes como metais, hidrocarbonetos e bactérias. Porém é importante que o lençol freático esteja a mais de 1,20 m da base da vala, para se evitar a contaminação do mesmo (TUCCI, 1998).

As valas de infiltração funcionam através da introdução das águas de forma direta por escoamento superficial. O armazenamento é feito no interior da estrutura e fica exposto ao ar livre. A evacuação das águas pluviais é efetuada por infiltração para o interior da vala e por escoamento superficial diretamente para o corpo receptor. Além de atuar no controle do escoamento superficial, as valas de infiltração também atuam no tratamento da água resultante da drenagem, evitando a contaminação dos lençóis subterrâneos (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2005).

Segundo Silveira (2002), o principal benefício das valas de infiltração é que além de diminuir significativamente a velocidade do escoamento superficial, elas ajudam na redução dos picos de vazão em áreas urbanas, quando aplicadas em

grandes extensões. Outro fator importante no uso desse sistema é o benefício paisagístico, além do aumento das taxas de infiltração das águas pluviais e melhoria na recarga de aquíferos. Assim como nos sistemas de telhados verdes, o uso das valas possibilita a redução das ilhas de calor em centros urbanos. Na Figura 8 tem-se um modelo de vala de infiltração.

Figura 8 - Vala de Infiltração



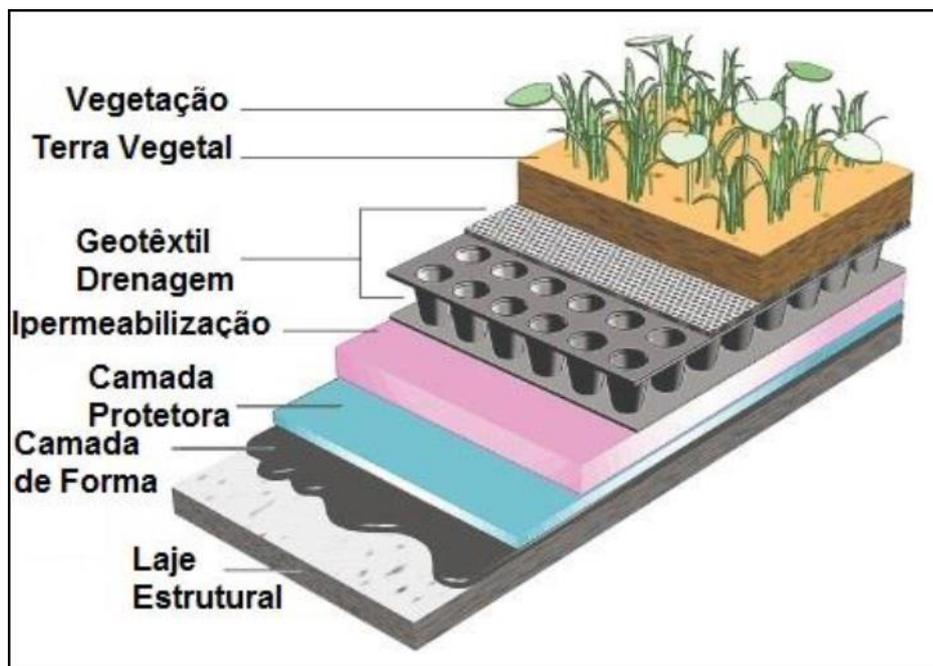
Fonte: <https://www.leca.pt/solucoes/gestao-aguas-pluviais> (2023).

### 3.2.6 Telhados Verdes

O telhado verde, além de paisagístico, tem caráter funcional para a população, sendo uma tecnologia que se iniciou em diversas regiões do mundo, servindo de apoio no conforto térmico de ambientes e no escoamento de água da chuva, sendo considerada uma alternativa sustentável para contornar os problemas decorrentes da impermeabilização e do aumento da vazão das águas pluviais. No contexto histórico as coberturas verdes eram utilizadas com a finalidade de promover a manutenção do ciclo hidrológico e da temperatura ambiente das edificações. Segundo estudos realizados, o registro mais antigo sobre a utilização de vegetação sobre as construções são os Jardins da Babilônia (RODRIGUEZ, 2006).

De acordo com Oliveira, Rezende e Pizzo. (2021), a utilização de cobertura vegetal em edificações como uma forma de melhoria no gerenciamento de bacias hidrográficas, se torna eficaz em função da redução e ou retardo gerado no escoamento superficial. Ajudando a reduzir o volume das águas pluviais ejetadas nos sistemas de drenagem urbana através da retenção da água da chuva no telhado verde. Na Figura 9 tem-se um modelo das camadas de um telhado verde.

Figura 9 - Camadas de um telhado verde.



Fonte: PLEDGE, Earth (2005).

Segundo Silva (2011), os telhados verdes são caracterizados pela aplicação de uma cobertura vegetal sobre as edificações. Seu plantio é feito principalmente em coberturas planas ou com a utilização de módulos disponíveis no mercado que permitem a sua instalação em sistemas inclinados, para a aplicação sobre telhas. Os elementos que compõem essa estrutura são a laje, a camada impermeabilizante, o isolante térmico, a camada drenante, a camada filtrante, o solo e a vegetação.

Os telhados verdes são classificados em dois tipos: o extensivo e o intensivo. Ambas as classificações são constituídas de uma camada preparada de solo sobre um substrato, que consiste em uma superfície impermeável, com vegetação e meios de escoamento para água pluvial (OLIVEIRA, 2009).

O sistema extensivo normalmente é constituído por coberturas leves, criadas para comportar plantas que se adequam a climas severos e situações climáticas extremas. Fisicamente, possui baixa profundidade de solo (5 a 15 cm), adicionando pouco peso à estrutura que o suporta e as plantas devem ser resistentes à variância de clima, como seca, geada e ventos fortes. Apresenta bom comportamento diante da diminuição de escoamento superficial de água, à contração dos efeitos das ilhas de calor e a elevação da umidade no ambiente (PINTO, 2007).

Já o método intensivo tem a profundidade do solo mais significativa (15 a 90 cm), permitindo o uso de vegetação de grande porte, como arbustos e até mesmo árvores. Os telhados intensivos geralmente necessitam de um método de irrigação podendo drenar esta água coletada, para ser usada no cultivo das plantas. Seguem o próprio conceito de projeto de um telhado extensivo, no entanto a camada de drenagem ou retenção é mais profunda. Este método pode destinar-se a fins desportivos, recreativos e de lazer, diferenciando de jardins naturais em seu aspecto (PESSANHA, 2017).

Na estrutura de um telhado verde, a laje deve ser preparada com impermeabilização e sistemas de escoamento para receber a vegetação. Em casos de estruturas que foram executadas sem planejamento para receber o telhado verde, é necessário ser feito uma análise para averiguar a carga que pode ser adicionada ou até mesmo fazer um reforço estrutural (ALBERTO et al., 2012).

Para avaliar o desempenho destes tipos de reservatórios, Pratt (1999) fez um estudo de caso no albergue Edwinstowe Youth, cuja construção possuía 400 m<sup>2</sup> de área de telhado verde e 325 m<sup>2</sup> de estacionamento com pavimento permeável. A água armazenada foi conectada a um reservatório do albergue e utilizada nas descargas dos vasos sanitários. A capacidade de água armazenada para reaproveitamento era aproximadamente de 34 m<sup>3</sup>.

### **3.2.7 Pavimentos Permeáveis**

Os pavimentos, de modo geral, foram definidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) como sendo “a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semiespaço

considerado teoricamente como infinito.” Pode-se dividi-los em impermeáveis e permeáveis (BRASIL, 2006).

Os pavimentos permeáveis, diferenciando dos impermeáveis, possuem espaços vazios em sua estrutura permitindo o escoamento da água, podendo infiltrar diretamente no solo ou ser direcionada através de tubulações para o sistema de captação pluvial. Com alguns sistemas auxiliares pode-se filtrar a água que escoar, acarretando uma menor quantidade de poluição para a água no subsolo (FEDRIGO, 2015).

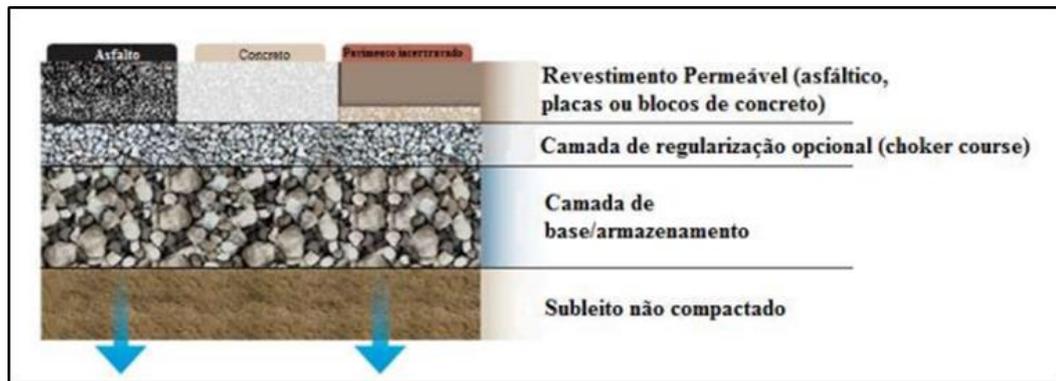
Os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas reservatório e sua utilização visa reduzir o impacto ambiental, permitindo a drenagem da água da chuva, a redução de ruídos e contribuir para o conforto térmico (BETEZINI, 2013).

São dispositivos que permitem a infiltração completa ou parcial da água por meio de absorção através de um revestimento permeável, que transfere a água para um reservatório de brita de graduação uniforme previamente construída sobre o perfil do terreno, são constituídos normalmente de concreto ou asfalto convencionais, dos quais foram retiradas as partículas mais finas. Quanto à infiltração da água do reservatório para o subleito, os pavimentos permeáveis podem ser projetados para infiltrar toda a água pluvial (infiltração total), uma parte (infiltração parcial) ou nenhuma infiltração (POLASTRE; SANTOS, 2006).

#### *3.2.7.1 Infiltração completa para o solo*

Segundo Bernucci, Motta, Ceratti (2010), normalmente não é utilizado um tubo drenante e podem ser implantados em áreas que apresentam solos com alta permeabilidade. Na Figura 10 tem-se um modelo do pavimento permeável com infiltração total no solo.

Figura 10 - Pavimento com infiltração total no solo.



Fonte: Adada (2001).

### 3.2.7.2 Infiltração parcial para o solo

Uma parte da água é infiltrada para o subleito e o restante da água armazenada é escoado por um tubo drenante. Esta solução costuma ser implantada em solos com baixa permeabilidade (BERNUCCI; MOTTA; CERATTI, 2010). Na Figura 11 tem-se um modelo do pavimento permeável com infiltração parcial no solo.

Figura 11 - Pavimento com infiltração parcial no solo.

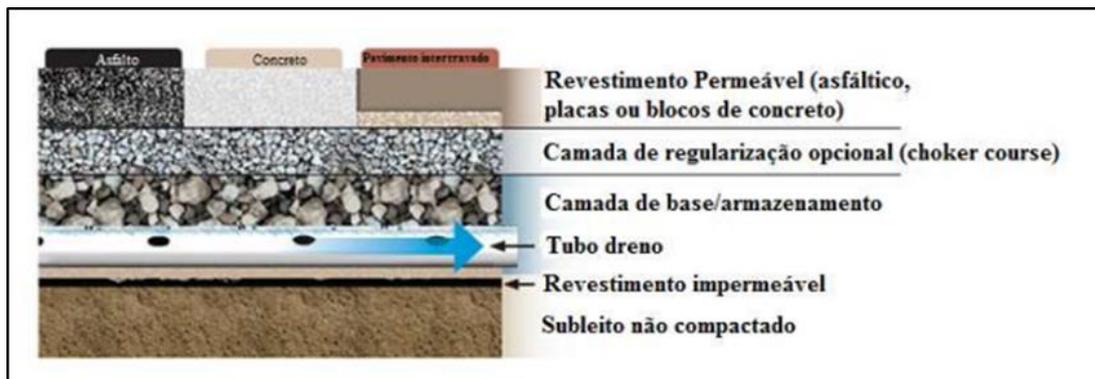


Fonte: Adada (2001).

### 3.2.7.3 Nos casos de solos onde não pode haver infiltração

É utilizado um material impermeável sobre o subleito, para garantir que a água não vai percolar para ele (BERNUCCI; MOTTA; CERATTI, 2010). Na Figura 12 tem-se um modelo do pavimento permeável sem nenhuma infiltração no solo.

Figura 12 - Pavimento sem nenhuma infiltração no solo.



Fonte: Adada (2001).

### 3.2.7.4 Alguns requisitos que o relevo deve atender

Quanto ao local de implantação, os pavimentos permeáveis desempenham melhor sua função em terrenos com maior elevação. Além disso, deve-se considerar o tipo de solo, a profundidade do leito rochoso, a declividade do pavimento e fontes adicionais de escoamento superficial de água.

- As taxas de infiltração do solo devem estar entre 0,25 a 25 centímetros/hora. (exceto no modelo que não infiltra água no solo);
- A profundidade mínima do leito rochoso ou do lençol freático deve ser maior que 60 centímetros. (exceto no modelo que não infiltra água no solo);
- Para estacionamentos, a declividade do pavimento deve ser menor que 5%. Para declividades maiores que 5%, devem ser construídas bermas;

- Devem ser avaliadas as oportunidades de direcionar escoamentos de áreas impermeáveis próximas. A relação entre as áreas impermeáveis e as permeáveis deve ser menor que 5:1 (BALBO, 2007).

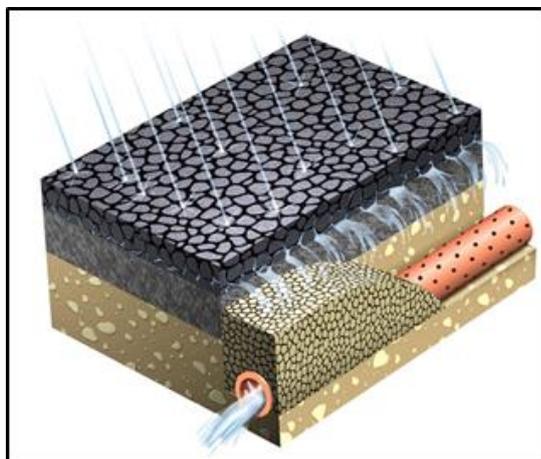
Quanto ao projeto hidrológico, deve-se determinar qual espessura é suficiente para infiltrar, armazenar e liberar o fluxo esperado de água. Isso exige informações sobre a espessura das camadas, permeabilidade do subleito e intensidade das precipitações. Quanto ao projeto estrutural, para pavimentos sujeitos a tráfego leve de veículos, as solicitações às quais ele deve resistir não são significantes. Sendo assim, a espessura das camadas é definida pelo projeto hidrológico. Para tráfegos mais pesados, o projeto estrutural deve seguir o modelo dos procedimentos para dimensionamento de pavimentos comuns (ACIOLI, 2005).

### 3.2.7.5 Camadas de revestimentos dos Pavimentos Permeáveis

Trata-se da camada superior dos pavimentos, ou camada de rolamento, podendo ser de asfalto poroso, concreto poroso ou do tipo piso intertravado.

O asfalto permeável possui uma composição parecida com a do convencional (impermeável), também sendo derivado do petróleo. A grande diferença entre eles é que o permeável (também chamado de asfalto poroso) possui uma granulometria aberta com propriedades drenantes, ou seja, espaços vazios em sua estrutura que permitem que a água o atravesse (SILVA et al., 2018). Demonstrado na Figura 13.

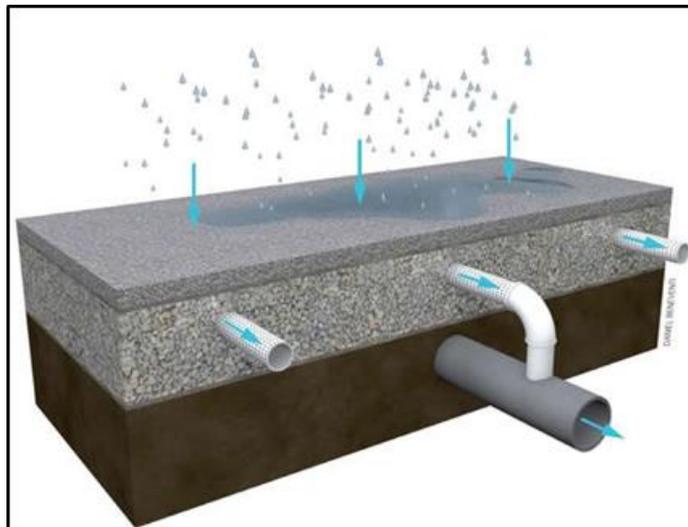
Figura 13 - Asfalto permeável.



Fonte: Engenharia 360(2022).

O concreto permeável (Figura 14), segundo Monteiro (2010), é feito a partir de quantidades cuidadosamente controladas de água e materiais de cimento usados para criar uma pasta que forma um revestimento de espessura em torno das partículas de agregado. Ao contrário do concreto convencional, a mistura contém pouca ou nenhuma areia, criando um conteúdo de vazios substanciais, entre 15% e 25% drenando a água rapidamente. Tanto o baixo teor de argamassa e a elevada porosidade reduzem a resistência do concreto em comparação com o concreto convencional, mas a resistência necessária é facilmente conseguida para muitas aplicações.

Figura 14 - Concreto permeável.



Fonte: Render blog, concreto permeável (2022).

O piso intertravado de concreto é um tipo de pavimento que pode ser considerado uma espécie de substituto do paralelepípedo, até pela aparência similar entre ambos. Ele também é conhecido como bloquetes, pavimentos drenantes ou pavers. Como o próprio nome sugere o pavimento intertravado se trava. Composto por blocos pré-fabricados, os bloquetes de concreto são travados entre si como um quebra-cabeça, e unidos por areia fina ou pó de pedra. (OLIVEIRA, 2017). Na Figura 15 têm-se modelos de pisos intertravados.

Figura 15 - Piso Intertravado.



Fonte: Engenharia 360 (2022).

### 3.2.7.6 Vantagens e desvantagens na utilização do pavimento permeável

Segundo Pinto (2011), os pavimentos permeáveis não fogem à regra onde cada tipo de construção tem como finalidade melhorar o conforto e o ambiente ao redor, seja de modo social, econômico, político ou ambiental. Sendo assim pode-se citar algumas das vantagens decorrentes da utilização dos pavimentos permeáveis:

- Diminuição das redes de drenagem e meios-fios;
- Aumento da recarga das reservas das águas subterrâneas;
- Remoção das impurezas do escoamento superficial, atuando como filtro;
- Diminuição do efeito de aquaplanagem, aumentando a segurança do tráfego;
- Diminuição dos ruídos e problemas com as poças d'água.

Segundo Pinto (2011), apesar de buscar sempre a melhoria, os pavimentos permeáveis ainda apresentam alguns fatores negativos que devem ser considerados ainda na fase de projeto.

- A colmatção do pavimento, ou seja, acúmulo de material que cause a obstrução dos espaços vazios, impedindo seu funcionamento;
- Mão de obra especializada para manutenção;
- Maior custo na implantação.

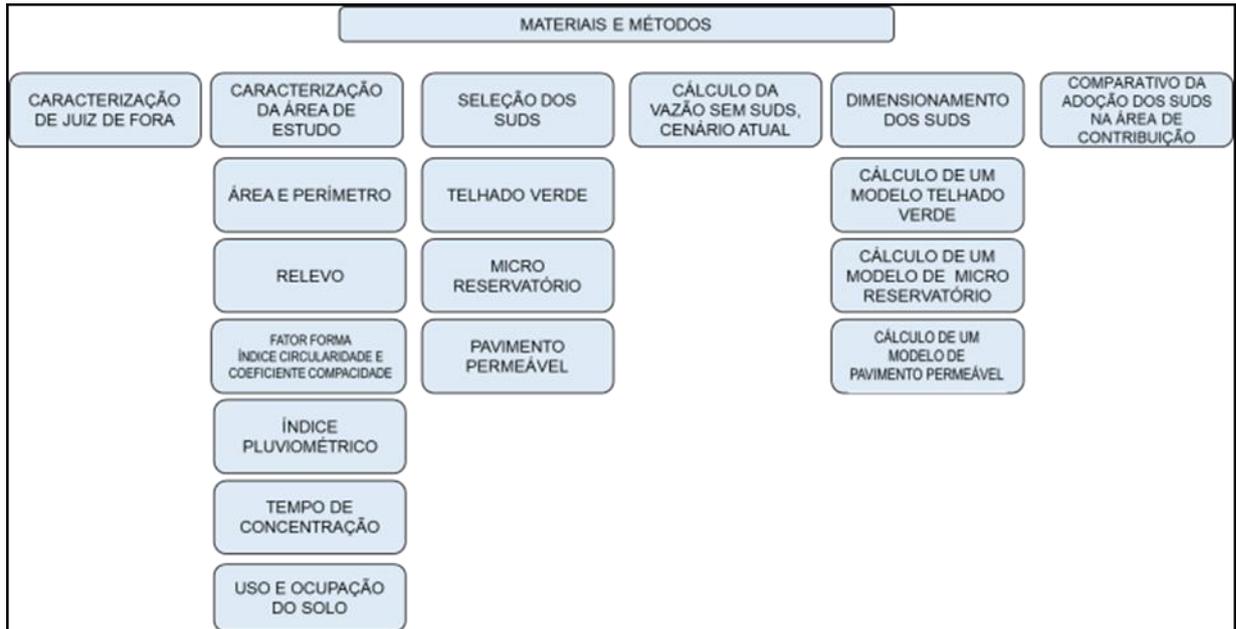
### 3.3 MANUAL DE DRENAGEM URBANA DE JUIZ DE FORA

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Juiz de Fora (2011), sua criação foi uma parceria entre o município de Juiz de Fora e a Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, através de seus representantes legais. Constando da proposição de programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas estabelecidas pelo Plano de Drenagem de Juiz de Fora, sendo assim, um manual para orientar os profissionais que planejam e projetam a drenagem urbana, bem como as diretrizes para a ocupação de áreas ribeirinhas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Na Figura 16, apresenta-se o fluxograma das etapas adotadas para a realização do presente trabalho.

Figura 16 – Fluxograma das etapas adotadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DE JUIZ DE FORA

Segundo o IBGE (2022), o município de Juiz de Fora possui 540.756 habitantes, apresenta uma densidade demográfica de 376,64 hab./km<sup>2</sup>, possui 29,9% da população com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salário mínimo (2010), sendo em 2021 a média salarial mensal do trabalhador formal de 2,4 salários mínimos.

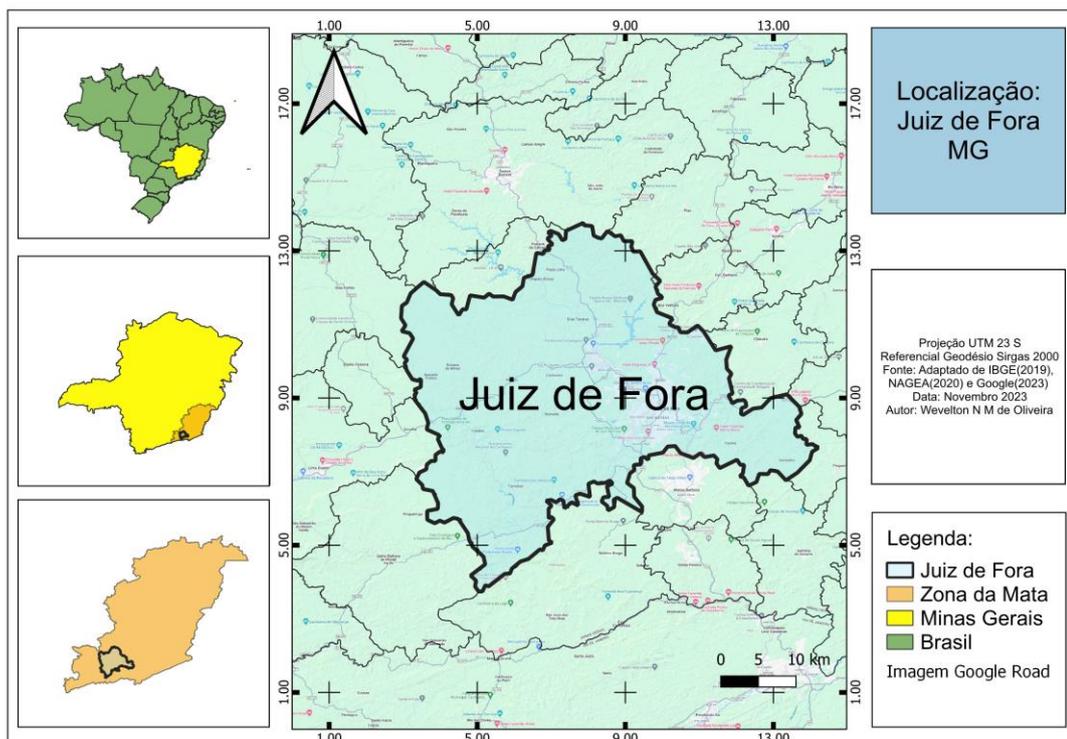
Segundo a Prefeitura de Juiz de Fora (PJF) (2023), o município possui uma área total de 1.433,87 km<sup>2</sup> dividida em área urbana de 440,74 km<sup>2</sup> e área rural de 681,96 km<sup>2</sup>, distribuídas em sede e distritos incorporados, sendo a área sede da cidade Juiz de Fora em torno de 750,30 km<sup>2</sup>. Em relação ao clima possui

características de clima tropical de altitude, com dois períodos distintos, um mais quente e chuvoso e um menos quente e mais seco.

Possui o relevo bastante dissecado, com colinas côncavo-convexas e vales, com altitudes compreendidas entre 700 e 900 metros, característico do Vale do Paraíba do Sul e dos contrafortes da Serra da Mantiqueira. Na parte hidrográfica apresenta principalmente o Rio Paraibuna, que corta a cidade e possui uma extensão total de 166 km, desaguando no Rio Paraíba do Sul, na cidade de Três Rios, no Rio de Janeiro (PJF, 2023).

Posicionada geograficamente no Sudeste do Estado de Minas Gerais, conforme demonstrado na Figura 17, a cidade está localizada na Mesorregião da Zona da Mata mineira e Microrregião 065 (Juiz de Fora), possui uma altitude de 1.104 m (máxima) e 467 m (mínima), podendo referenciar 678 m (Centro Comercial), 680 m (Área Industrial) e 850 m (Cidade alta residencial) (PJF, 2023).

Figura 17 - Mapa de localização da cidade de Juiz de Fora/ Brasil.

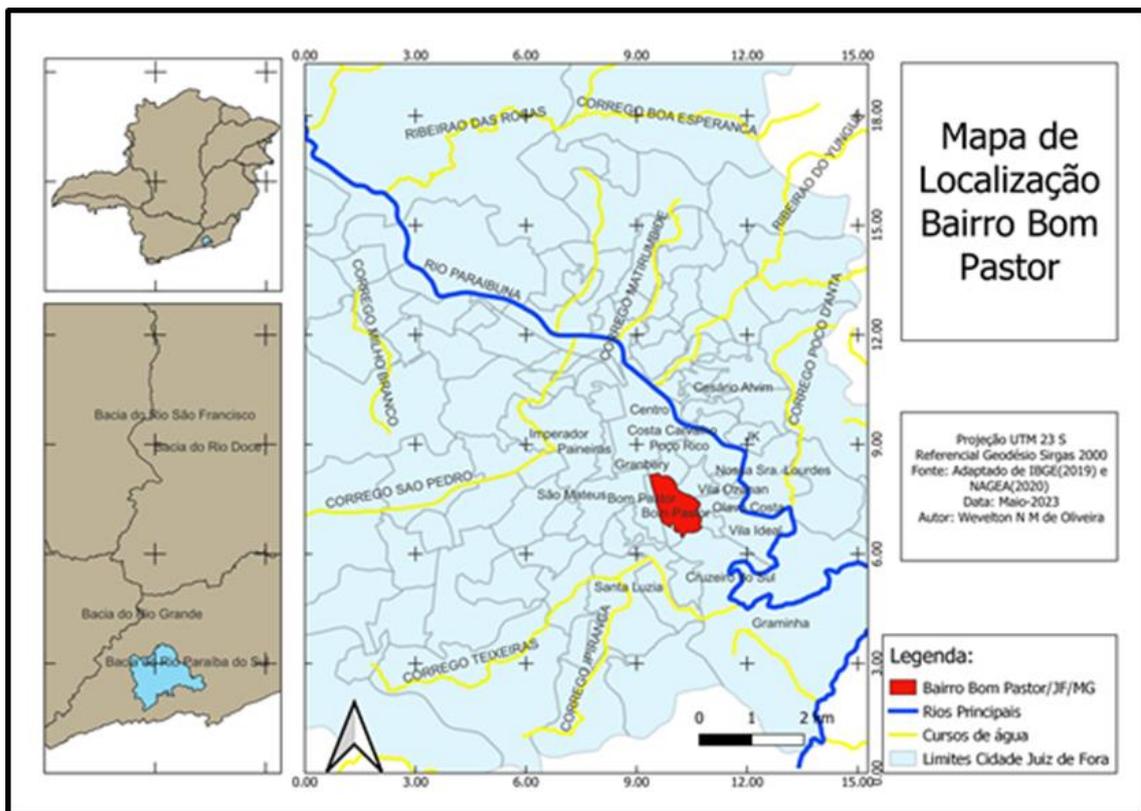


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o estudo foi adotado o bairro Bom Pastor e seus respectivos bairros vizinhos que poderiam servir de áreas de contribuição em relação ao volume pluviométrico e escoamento superficial. Segundo a Prefeitura de Juiz de Fora (2023), o bairro encontra-se na região central da cidade e foram consideradas partes dos bairros Alto dos Passos, Boa Vista, Graminha, Parque Guarará, Olavo Costa e Vila Ozanan como as possíveis áreas de contribuição. Nas Figuras 18 e 19 apresentam-se, respectivamente, a localização do bairro Bom Pastor e a área de contribuição da área de estudo.

Figura 18 – Mapa de localização bairro Bom Pastor.

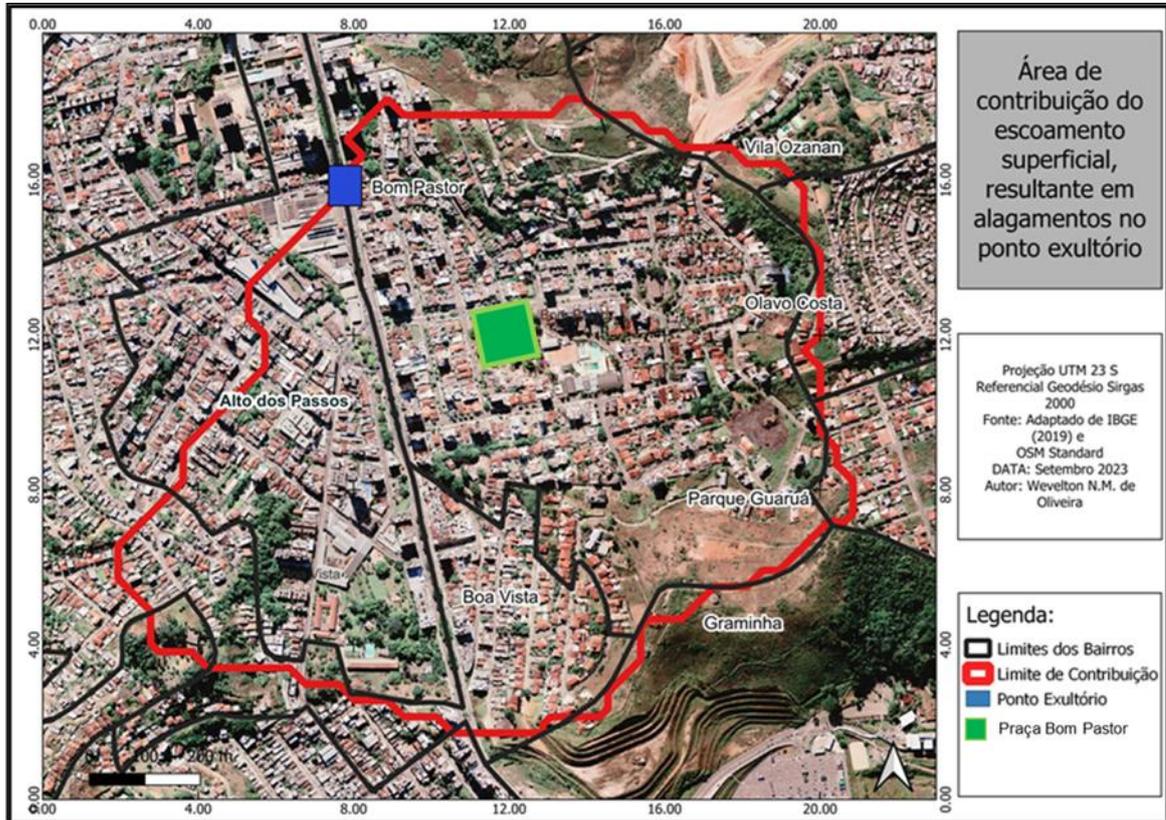


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na análise hidrológica da bacia de contribuição da área de estudo foram consideradas as características morfométricas, sendo abordados os parâmetros que interferem na resposta da bacia em relação aos eventos de precipitação, tais como

área, a declividade, o relevo, geometria da bacia e a altitude, visando apresentar os fatores determinantes para o comportamento do escoamento superficial da região.

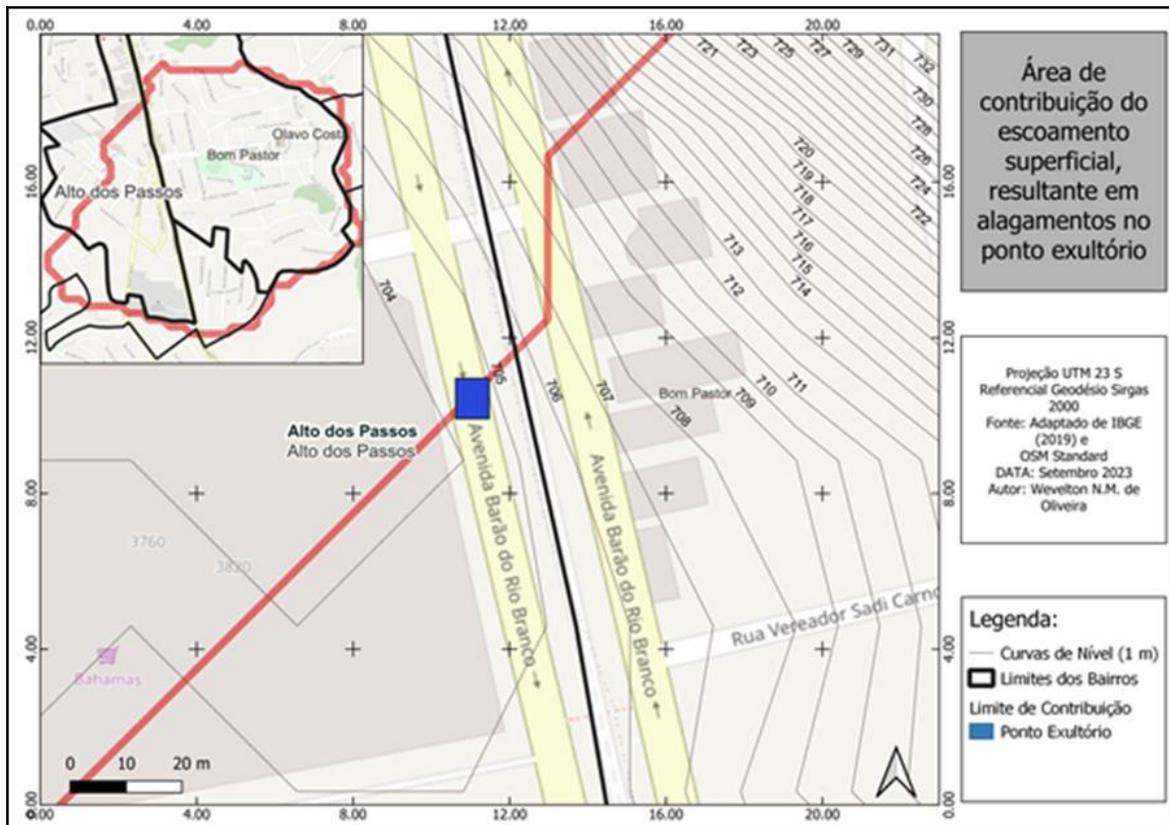
Figura 19 - Áreas de contribuição do escoamento superficial (Bom Pastor).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 20, visualiza-se o ponto exutório ampliado para facilitar sua localização, sendo situado próximo ao número 3670, na Avenida Barão do Rio Branco, principal avenida que corta a cidade.

Figura 20 – Ponto exutório ampliado



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.2.1 Área e perímetro da região de contribuição

Na determinação da área da bacia de contribuição foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo Topodata, numa escala de 30 metros. Posteriormente foi realizada uma análise de consistência, eliminando as células com depressões espúrias e gerando os mapas de curvas de nível e direção do fluxo. Sendo etapas necessárias para delimitação da bacia de contribuição, sendo assim possível determinar seu dimensionamento. Nesta etapa foram utilizadas as ferramentas CalcArea do software Qgis, o que possibilitou determinar a área e o perímetro da região de contribuição.

#### 4.2.2 Relevô da bacia de contribuiçãô

Neste tópicô foram determinados a hipsometria, o relevô e a declividade média do relevô, sendo utilizado o MDE disponível no Topodata.

Para a hipsometria, utilizou-se o MDE recortado para área de contribuiçãô, verificando as estatísticas da banda de seus respectivos valores mínimos e máximos. Atribuíram-se então valores equidistantes na escala de trabalho com faixas de 25 metros, manipulando assim as classes para enquadrar valores para mínimo e máximo múltiplos de 25 m e atribuir então as cores para cada camada, estabelecendo as cores de acordo com cada altitude.

Para determinaçãô do tipo de relevô, foram utilizadas as orientaçôes do “Guia para utilizaçãô de dados geomorfológicos locais” do próprio Topodata, reclassificando os dados disponíveis da curvatura vertical e curvatura horizontal da regiãô 21S435, para a determinaçãô da curvatura mais precisa do terreno. As curvaturas foram convertidas em três classes de acordo com o guia e somadas através da calculadora raster, do próprio Qgis, gerando assim um único arquivo, sendo esse reclassificado para os padrões de cores para cada relevô, segundo definiçôes do próprio guia.

A análise da declividade do terreno foi realizada a partir do MDE, retirado do Topodata, empregando-se a ferramenta “*Slope*” (declive) do *software* Qgis, atribuiu-se valores segundo a classificaçãô de declividade percentual da Embrapa (1979) para criar um padrão de cores para área recortada.

#### 4.2.3 Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade

O Fator de forma ( $K_f$ ), de acordo com Christofletti (1974), é um parâmetro adimensional que relaciona a razão da área de uma bacia ( $A$ ) com seu comprimento axial ( $L$ ). O fator de forma de uma bacia, calculado pela Equaçãô 1, é um indicativo para maior ou menor propensãô a enchentes.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

Kf = Fator de forma (adimensional);

A = Área (m<sup>2</sup> ou km<sup>2</sup>);

L<sup>2</sup> = Comprimento Axial (m ou km).

De acordo com Vilella e Mattos (1975), os parâmetros a seguir relacionam-se com a geometria da bacia para sua classificação. Sendo o kf próximo ou maior que 1 (indica que a bacia é arredondada ou circular).  $kf < 1$  (a bacia tem forma mais alongada). Quanto menor o kf, mais comprida é a bacia sendo menos sujeita a picos de enchente, pois o tempo de concentração (Tc) é maior. Onde: (1,00 – 0,75) para sujeito a enchentes; (0,75 – 0,50) para tendência mediana e se for (< 0,50) não sujeito a enchentes.

O Coeficiente de compacidade (Kc), de acordo com Vilella e Mattos (1975), relaciona a forma da bacia com a de um círculo. Ela é a razão entre o perímetro (P) da bacia e a raiz de sua área (A), apresentado na Equação 2. Quanto mais irregular for à bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Seu valor é superior a 1 e quanto mais próximo de 1, maior será a suscetibilidade da bacia a enchentes.

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{(Equação 2)}$$

Sendo:

Kc = Coeficiente de compacidade (adimensional);

P = Perímetro (m ou km);

A = Área (m<sup>2</sup> ou km<sup>2</sup>).

Segundo Vilella e Mattos (1975),  $K_c$ : 1,00–1,25: bacia com alta propensão a grandes enchentes (Bacia arredondada),  $K_c$ : 1,25–1,50: bacia com tendência mediana a grandes enchentes (Bacia elíptica) e  $K_c > 1,50$ : bacia não sujeita a grandes enchentes. (Bacia radial ou ramificada).

O Índice de circularidade (IC), de acordo com Vilella e Mattos (1975), relaciona o perímetro de uma bacia (P) com a área de um círculo de perímetro equivalente (A) pela Equação 3. Quanto mais próximo da unidade for o valor encontrado, mais a bacia se aproximará da forma circular e mais propensa será a enchentes.

$$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

Ic = Índice de circularidade (adimensional);

A = Área (m<sup>2</sup> ou km<sup>2</sup>);

P = Perímetro (m ou km).

Demonstrado no Quadro 2, o resumo dos parâmetros morfométricos citados anteriormente.

Quadro 2 - Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade

Resumo dos parâmetros morfométricos utilizados			
Parâmetro	Equação	Objetivo	Tendência à enchente
Fator de forma (Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Relação entre largura e comprimento para avaliação da geometria	1,00 -1,25 = alta 1,25 -1,50 = média < 1,50 = baixa
Coeficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	Relaciona a bacia a um círculo.	1,00 -1,25 = alta 1,25 -1,50 = média < 1,50 = baixa
Índice de Circularidade (IC)	$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$	Quanto mais próximo do valor 1 maior a circularidade e mais sujeita a inundações	> 0,51 = alta 0,51 = média < 0,51 = baixa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

#### 4.2.4 Índices pluviométricos

Para determinação das curvas de intensidade, duração e frequência (IDF), foram utilizados os dados para a cidade de Juiz de Fora do programa Plúvio 2.1 (Figura 21) aplicados à fórmula para obtenção da curva IDF no Excel, com os tempos de retorno para 5 e 10 anos, para utilização nas fórmulas conforme solicitado pelo Manual de drenagem da prefeitura (2011) e os intervalos de tempo variados entre 5 minutos e 24 horas, sendo assim gerado um gráfico comparativo.

Figura 21 - Relatório dos dados regionais para aplicação na fórmula.

 <b>Plúvio 2.1</b>  Copyright (2005) © GPRH	
<b>RELATÓRIO</b>	
<b>Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação</b>	
<b>LOCALIZAÇÃO:</b>	
<b>Localidade:</b> Juiz de Fora	<b>Estado:</b> Minas Gerais
<b>Latitude:</b> 21°46'00"	
<b>Longitude:</b> 43°21'00"	
<b>PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:</b>	
<b>K:</b> 3000	$i = \frac{K \cdot T_r^a}{(t + b)^c}$ 
<b>a:</b> 0,173	
<b>b:</b> 23,965	
<b>c:</b> 0,96	

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

#### 4.2.5 Tempo de Concentração

Segundo o Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), para a determinação do tempo de concentração, recomenda-se a utilização da metodologia apresentada pelo Serviço de Conservação dos Solos (SCS, 1986). O Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011) sugere dois tipos de equações de acordo com as características (escoamento superficial ou escoamento em canal) do local onde será feito o cálculo. Para o presente caso será utilizada a equação para escoamento superficial, representada pela Equação 4, sendo mais adequada para as características da bacia em questão.

$$T_c = \frac{5,474 \times (n \times L)^{0,8}}{P_{24}^{0,5} \times S^{0,4}} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

$T_c$  = tempo de concentração (min);

$n$  = coeficiente de rugosidade de Manning (conforme a tabela);

$L$  = comprimento do escoamento (m);

$P_{24}$  = precipitação com 24h de duração (mm);

$S$  = declividade (m/m).

O parâmetro  $n$  (coeficiente de rugosidade de Manning) foi o valor ( $n= 0,011$ ), utilizado para superfícies alisadas de concreto, asfalto, pedregulho ou solo exposto, conforme tabela apresentada no manual da PJF. Demonstrado pela Figura 22.

Figura 22 – Tabela do Coeficiente de Manning para escoamento superficial.

Descrição da superfície	Rugosidade ( $n$ )
Superfícies alisadas Concreto, asfalto, pedregulhos ou solo exposto	0,011
Solos sem cultivo	0,050
Solos cultivados	
Resíduos cobrem < 20	0,150
Resíduos cobrem > 20	0,240
Gramina nativa, alfafa, etc.	0,410
Pastagens naturais	0,130
Florestas:	
Vegetação rasteira esparsa	0,400
Vegetação rasteira densa	0,800

Fonte: Manual de drenagem de Juiz de Fora (2011).

Para definição do comprimento do escoamento superficial adotou-se um ponto de maior distância dos limites da bacia em relação ao ponto exutório.

Para o  $P_{24}$ , segundo o Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), foi adotado o valor da intensidade de chuva com o período de retorno de cinco anos (micro drenagem, área residencial pior caso) no tempo de 24h.

Para a declividade foi utilizado o método da Declividade Equivalente aplicando a Equação 5, visando uma maior fidelidade com a realidade em relação ao método da declividade direto, sendo demonstrados os trechos na Figura 23 e os dados apresentados no Quadro 3. Demonstrado o cálculo no apêndice E.

$$Leq = \left( \frac{L}{\sum \left( \frac{Li}{\sqrt{Di}} \right)} \right)^2 \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

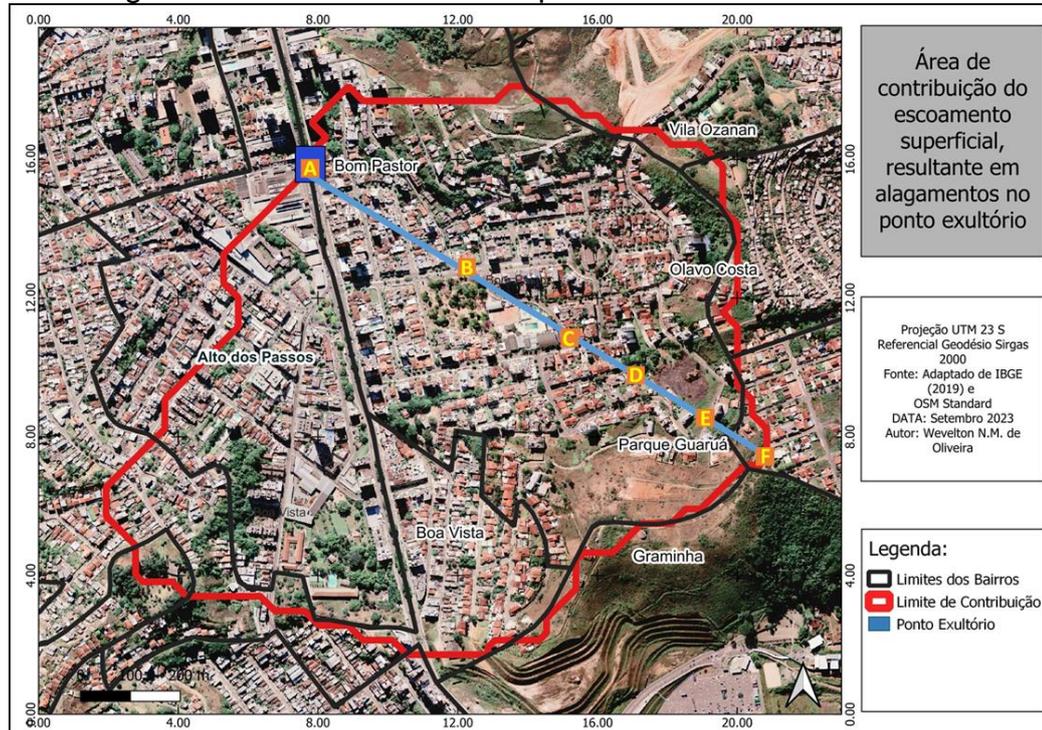
$Leq$  = Declividade equivalente (m/m);

$L$  = Comprimento total (m);

$Li$  = Comprimento entre as cotas (m);

$Di$  = Declividade por trecho (m).

Figura 23 – Trechos utilizados para o cálculo da declividade.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Quadro 3 – Valores dos trechos utilizados para cálculo da declividade.

Trecho	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Diferença de cota (m)	Comprimento (LI) (m)	Declividade local (Di)
A-B	704	718	14	366,22	0,038222
B-C	718	726	8	254,68	0,031412
C-D	726	752	26	173,31	0,15002
D-E	752	783	31	190,44	0,16278
E-F	783	809	26	105,77	0,245816
Comprimento total (m)			1090,42		
Declividade equivalente (m / m)			0,060238		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.2.6 Uso e ocupação do solo

No site MapBiomas Brasil, foi efetuado o download do arquivo raster referente ao desenvolvimento da região de estudo disponível para o ano de 2022. No mesmo site foi retirada uma planilha com os códigos da legenda com a paleta de cores RGB para

a reclassificação do arquivo, normatizando as classes de uso e cobertura. Todos os processos de adequação e reclassificação dos dados temporais e das classes foram executados no Qgis, focando para o desenvolvimento urbano da região.

### 4.3 SELEÇÃO DOS SUDS

O critério de seleção utilizado para o emprego dos SUDS foi a facilidade da adoção dos sistemas em questão, pensando que seriam adotados para uso pela própria população local em edificações já existentes e que pouco interferissem em sua utilização estrutural, visando diminuir então os transtornos causados pelo excesso do escoamento superficial gerado após a impermeabilização dos lotes que, antes, eram áreas naturais, sendo permeáveis e vegetadas.

Baseado na realidade do local optou-se pelos sistemas que geram controle na fonte, visando a diminuição do volume e um maior retardamento do escoamento superficial.

#### 4.3.1 Telhados Verdes

Primeiramente, a precipitação caindo sobre os telhados convencionais, sendo esses então transformados em telhados verdes, gerando a diminuição do volume escoado em relação ao volume precipitado. Parte do volume precipitado seria absorvido pelas plantas e armazenado no reservatório do telhado verde, retardando o escoamento superficial.

#### 4.3.2 Microrreservatório

Em relação à utilização do micro reservatório, que estaria enterrado e localizado próximo da edificação, ele se encarregaria de armazenar o volume do telhado convencional e demais áreas, sendo aplicado em conjunto com o telhado verde, receberia o excedente à capacidade do mesmo, gerando retardo para o escoamento superficial e até mesmo, dependendo do tipo de filtragem, fonte de reaproveitamento de água de chuva.

### 4.3.3 Pavimento Permeável

O pavimento permeável estaria situado nas áreas térreas da edificação, sendo aplicado nas garagens e outras áreas de circulação que estariam expostas, propícias a receber a água da chuva direta ou indiretamente. Essa água percolaria pela camada superficial do pavimento e ficaria retida em seu reservatório, podendo ou não ser infiltrada para o solo. Optando pelo modelo onde não infiltra no solo poderia ser direcionada para as redes de drenagem posteriormente ao pico de vazão da chuva ou ser direcionado para o micro reservatório, caso fosse implantado em conjunto.

Os três sistemas foram escolhidos ao fato de suas aplicações não interferirem diretamente na modelagem arquitetônica e pelo fato de apenas substituírem sistemas convencionais por sistemas sustentáveis. Foram dimensionados separadamente no cálculo, mas podem agir em conjunto caso haja disponibilidade para implantação.

### 4.4 CÁLCULO DA VAZÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO PARA CENÁRIO ATUAL (SEM SUDS).

Para determinar a vazão que chega ao ponto exutório foi utilizado o Método Racional, seguindo as orientações do Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011) e optando pelo método modificado, dado pela Equação 6, por ser uma área menor que 10 km<sup>2</sup>, onde os dados de entrada para o coeficiente de escoamento (C) foi para área residencial, optando pelo uso do coeficiente para o pior caso (C = 0,75). Considerando que no cálculo médio do coeficiente de escoamento, o valor para a área permeável considerada da Praça Presidente Garrastazu Médici (Praça Bom Pastor) representa apenas 1,2% da área total, foi considerado para a área impermeável todo o limite da área de contribuição, sendo então mantido para efeitos de arredondamento o coeficiente de escoamento C=0,75.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \times \varphi \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de Runoff (adimensional);

I = Intensidade pluviométrica (mm/h);

A = Área (km<sup>2</sup>);

φ = Coeficiente de retardo (adimensional).

Conforme parâmetros tabelados, devido à declividade ser maior que 1% utiliza-se n=6 para o cálculo do coeficiente de retardo. Dado pela Equação 7.

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{100A}} \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

φ = Coeficiente de retardo (adimensional);

N = Coeficiente referente à declividade (adimensional);

A = Área (km<sup>2</sup>).

Para a intensidade da precipitação o dado deve ser em mm/h, o tempo de duração da chuva, segundo o manual deve ser o tempo de concentração referente à área de contribuição, sendo adotados 13,20 minutos e o tempo de retorno TR = 5 (cinco anos, área residencial no pior caso) e os demais valores de entrada, mantidos os dados regionais encontrados no Plúvio 2.1, referentes à cidade de Juiz de Fora e confirmados no manual da prefeitura.

Para a área, segundo o Manual de drenagem da prefeitura de Juiz de Fora (2011), foi utilizado o dado de entrada em Quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>), e considerado toda a área de contribuição (A= 1,044 km<sup>2</sup>).

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL (SUDS)

Para o dimensionamento dos SUDS sendo implantados nos lotes, foi utilizado um lote hipotético para atender apenas a necessidade de conhecer a capacidade de retenção da precipitação e com isso a diminuição do escoamento superficial, desprezando assim todas as características relacionadas a uma localização específica. Para um lote real, existem algumas definições referentes à metodologia para dimensionamento das estruturas de armazenamento para a cidade de Juiz de Fora, baseada na lei municipal número 9.811, de 27 de junho de 2000, que regulamenta tais aspectos relacionados ao controle de drenagem na fonte, essas definições devem ser seguidas para o processo construtivo real e estão descritas no manual disponibilizado pela prefeitura.

Para esse trabalho algumas dessas definições construtivas não foram abordadas, como a inclinação e cota do terreno, cota da rede pluvial, nível do lençol freático, ligação dos sistemas com a rede, entre outros, pois não se tratou de um exemplo de um lote específico ou uma construção real e sim um modelo que servirá de exemplo dentro do contexto de volume de água de chuva retido, para fins de redução de escoamento superficial. Frisa-se que para o dimensionamento real, o processo construtivo deve seguir tais definições, sendo adaptadas as características do lote onde serão implantadas.

Nesse exemplo, utilizou-se como modelo um lote de 1000 m<sup>2</sup>, considerando todo ele impermeável, ou seja, 1000 m<sup>2</sup> de área de contribuição para o escoamento superficial, onde se aplicou as opções de SUDS. Caso seja aplicada mais de uma opção no mesmo lote, os valores para dimensionamento devem seguir referente à área de contribuição que aquele sistema irá absorver.

Segundo o Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), foi calculada a vazão de pré-desenvolvimento, que determina a vazão máxima de saída de um lote e o volume necessário para armazenamento, representados pela Equação 8 e Equação 9 respectivamente.

Como o exemplo foi de um lote de 1000 m<sup>2</sup>, o valor utilizado para o cálculo foi 0,1 ha, sendo utilizadas as fórmulas para áreas até 100 hectares.

$$Q_{pd} = 0,0266 \times A \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo:

$Q_{pd}$  = vazão de pré-desenvolvimento ( $m^3/s$ );

$A$  = área do lote ou loteamento (ha).

$$V = 523 \times AI \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

$V$  = volume necessário para armazenamento ( $m^3$ );

$AI$  = toda a área impermeável que drena a precipitação para a rede pluvial (ha).

#### 4.5.1 Cálculo de um Modelo de Telhado verde

Como exemplo, estipulou-se uma área para construção do telhado verde, supondo em uma edificação uma área liberada para esse fim de 200  $m^2$ . Usou-se uma medida padrão do telhado pelo método extensivo, sendo a altura da sua camada de terra em média 0,10 m, para comportar plantas de pequeno porte. Sendo interessante para o nosso modelo à camada referente ao reservatório que fica abaixo da camada de terra, podendo chegar a 0,20 m para esse caso sem gerar muita carga extra para a estrutura.

No que se refere ao material de preenchimento do reservatório do telhado verde, optou-se pela argila expandida pela sua leveza e pelo índice de vazios que fica em média 40%. Sendo assim, possibilitou-se calcular o volume livre para armazenamento da água da chuva.

Chegou-se ao valor levando em conta que em 200  $m^2$  de área, 0,20 m de altura e 40% de vazios, totalizando em um reservatório com capacidade de retenção de 16  $m^3$ , onde a água ficaria armazenada, podendo ser utilizada para vários fins.

Para esse caso, ignorou-se o fator de absorção pela terra e evapotranspiração gerados pelas plantas, para tornar o modelo bem genérico.

#### 4.5.2 Cálculo de um Modelo de Microrreservatório

Supondo que em um lote seja necessário um microrreservatório para absorver o volume de chuva referente a uma área de contribuição ( $A= 1000 \text{ m}^2$ ), foi estimada uma dimensão do reservatório de  $3 \text{ m} \times 10 \text{ m} = (30 \text{ m}^2)$ . Para o cálculo da altura desse reservatório de formato retangular, sem limitação da cota do dreno e a cota para conexão com a rede de drenagem, o critério utilizado para dimensionamento foi dado pela Equação 10.

$$H = \frac{V}{A} \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo:

$H$  = Altura do reservatório (m);

$V$  = Volume de armazenamento necessário ( $\text{m}^3$ );

$A$  = Área em planta, refere-se à área disponível para implantação da estrutura ( $\text{m}^2$ ).

Caso haja limitação de altura devido à posição do dreno em relação à cota de fundo do reservatório e a cota da rede de drenagem, para evitar possíveis inversões de fluxo, calcula-se a área para implantação da estrutura, mantendo a altura definida pela cota do dreno em relação à cota da rede de drenagem. Utiliza-se a Equação 11.

$$A = \frac{V}{H} \quad (\text{Equação 11})$$

Sendo:

A = Área em planta, refere-se à dimensão que deverá ser adotada para a estrutura (m<sup>2</sup>);

V = Volume de armazenamento necessário (m<sup>3</sup>);

H = Altura do reservatório (m), em função da posição do dreno.

Manteve-se a altura do exemplo anterior (1,75m) como valor ideal apenas para demonstrar a aplicação na fórmula, para o exemplo igualar a capacidade de 52,50 m<sup>3</sup> do exemplo anterior. Sendo então mantidas as mesmas dimensões, 3 m x 10 m x 1,75 m.

#### 4.5.3 Cálculo de um Modelo de Pavimento Permeável

Para o modelo do pavimento permeável, pensando que ele será adotado dentro dos lotes para captação do escoamento gerado dentro dos mesmos, definiu-se como valor para dimensionamento a área drenante (A<sub>b</sub>) de 200 m<sup>2</sup> e a área a ser drenada (A) de 1000 m<sup>2</sup>. Resultando em uma razão de drenagem (R= A / A<sub>b</sub>) igual a (R = 5). Sendo a proporção de área drenada cinco vezes maior que a área drenante.

Para o coeficiente de infiltração, que refere-se a capacidade de absorção de água pelo solo, como se trata de um modelo de lote fictício, sem um lote definido para análise do tipo de solo, segundo dados do Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), optou-se por usar da tabela 6.7 o coeficiente ponto divisor para a maioria dos sistemas de infiltração (0,001) e utilizou o fator de segurança (3) três, de inconveniências menores, contido na tabela 6.8 do manual, resultando em um novo coeficiente de infiltração de (q = 0,0003). Demonstrado nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 – Coeficiente de Infiltração.

**Tabela 6.7 - Alguns valores típicos de coeficientes de infiltração, baseados na textura do solo (Watkins apud CIRIA, 1996)**

Tipo de solo	Coeficiente de infiltração (mm/h)
Cascalho	10 – 1000
Areia	0,1 – 100
Areno lemoso	0,01 – 1
Lemo arenoso	0,05 – 0,5
Lemo	0,001 – 0,1
Lemo siltoso	0,0005 – 0,05
Características Calcárias	0,001 - 100
Ponto divisor para a maioria dos sistemas de infiltração	0,001
Lemo argilo arenoso	0,001 – 0,01
Lemo argilo siltoso	0,00005 – 0,005
Argila	< 0,0001
Rocha	0,00001 – 0,1

Fonte: Manual de Drenagem de Juiz de Fora (2011).

Figura 25 – Fator de Segurança para o Coeficiente de Infiltração

**Tabela 6.8. Fatores de segurança para o coeficiente de infiltração (CIRIA, 1996)**

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

Fonte: Manual de Drenagem de Juiz de Fora (2011).

Para efeito de cálculo, a porosidade efetiva do material de preenchimento, foi de 40%, sendo classificada como cascalho de granulometria uniforme, segundo dados do Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011). Demonstrado na Figura 26.

Figura 26 – Porosidade Efetiva do Material para o Pavimento

**Tabela 6.6 – Porosidade efetiva para materiais típicos (Urbonas e Stahre, 1993)**

Material	Porosidade Efetiva (%)
Rocha dinamitada – brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduada ( $\leq \frac{1}{4}$ polegadas)	30
Areia	25
Cascalho de jazida – seixo rolado	15 – 25

Fonte: Manual de Drenagem de Juiz de Fora (2011).

Para a intensidade de chuva, foi calculada a função da Intensidade, Duração e Frequência (IDF) adotada com três (t) tempos de durações diferentes (15 minutos, 30 minutos e 60 minutos) e com o TR (tempo de retorno) para dez anos.

Sendo aplicados os tempos de duração à fórmula para altura máxima ( $h_{\text{máx}}$ ) do pavimento, transformando cada tempo em hora (0,25h, 0,5h e 1h) e as unidades das intensidades pluviométricas transformadas para metro por hora (m/h). Esses três valores de IDF alterados foram aplicados na Equação 12, da altura máxima, visando encontrar o maior valor.

$$h_{\text{máx}} = \left(\frac{t}{\emptyset}\right) \times (R \times I - q) \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo:

$h_{\text{máx}}$  = Altura máxima do pavimento (m);

t = tempo (h) (testados com os mesmos 3 tempos utilizados no IDF);

$\emptyset$  = Porosidade efetiva do material de preenchimento (adimensional);

R = Razão de drenagem (adimensional);

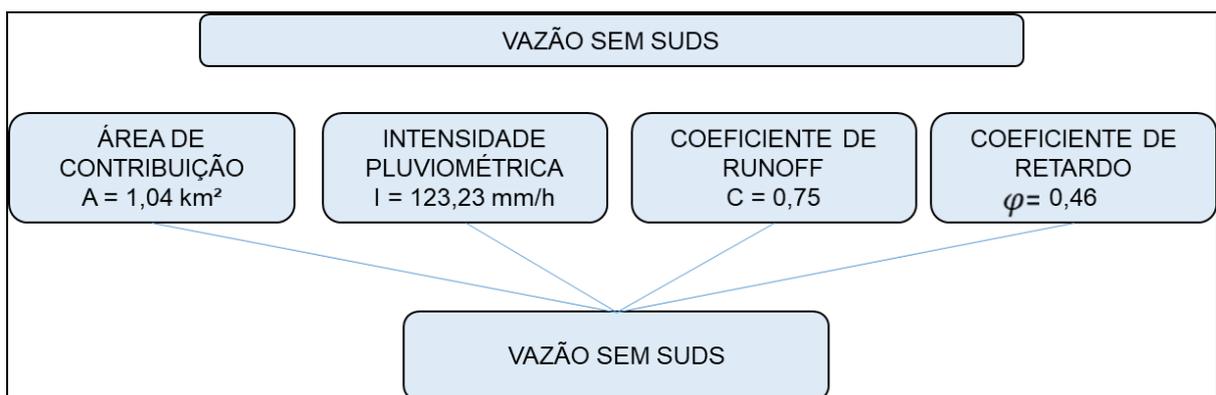
I = Intensidade de chuva (mm/h);

q = Coeficiente de infiltração (adimensional).

#### 4.6 COMPARATIVO DA ADOÇÃO DOS SUDS NA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO.

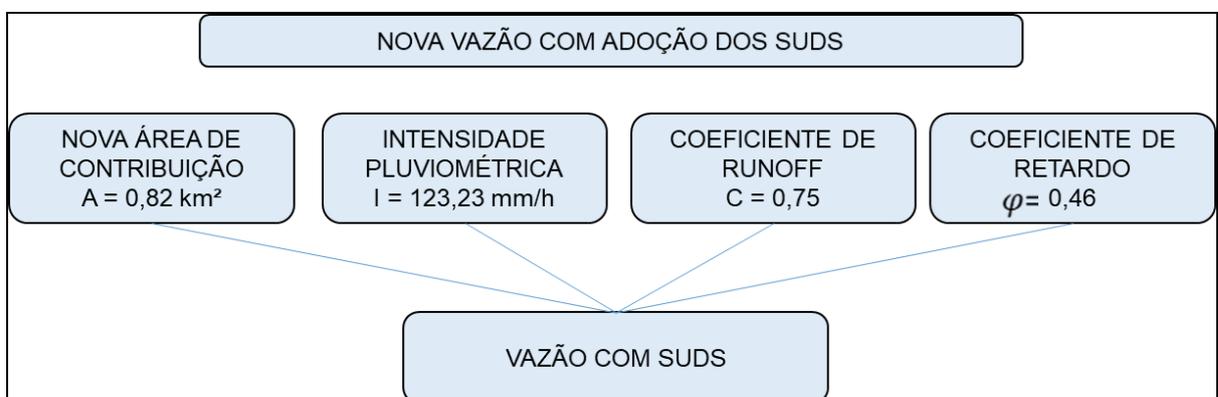
Para o cálculo do efeito gerado com a adoção de todos os três tipos de SUDS dimensionados no tópico anterior, considerando todas as unidades citadas, sendo 100 telhados verdes retendo a contribuição de escoamento superficial de uma área de 20.000 m<sup>2</sup>, 100 microrreservatórios retendo a contribuição de escoamento superficial de uma área de 100.000 m<sup>2</sup> e 100 pavimentos permeáveis retendo a contribuição de escoamento superficial de uma área de 100.000 m<sup>2</sup>. Totalizou em uma redução de área de contribuição para formação de escoamento superficial de 220.000 m<sup>2</sup> (0,22 km<sup>2</sup>), sendo então calculado o antes e depois da adoção para efeito de comparação. Demonstrado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 – Cálculo da vazão sem os SUDS



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 28 – Cálculo da vazão com a área reduzida pelos SUDS



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisadas as características morfométricas e pluviométricas para a determinação do escoamento superficial da área de contribuição no ponto exutório.

### 5.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Para a caracterização da bacia de contribuição do bairro Bom Pastor em Juiz de Fora, MG, referente ao escoamento superficial gerado no ponto exutório, foram analisadas as características como área, perímetro, geometria, relevo e declividade, sendo informações indispensáveis para conhecimento de sua dinâmica hidrológica.

#### 5.1.1 Área e perímetro da bacia de contribuição

No Quadro 4 apresentam-se as dimensões da bacia de contribuição da área de estudo. Para a área permeável foi adotada apenas a região da praça situada no bairro Bom Pastor, desconsiderando como permeável qualquer lote vazio que poderá haver ocupação no futuro.

Quadro 4 – Dimensões da área de contribuição

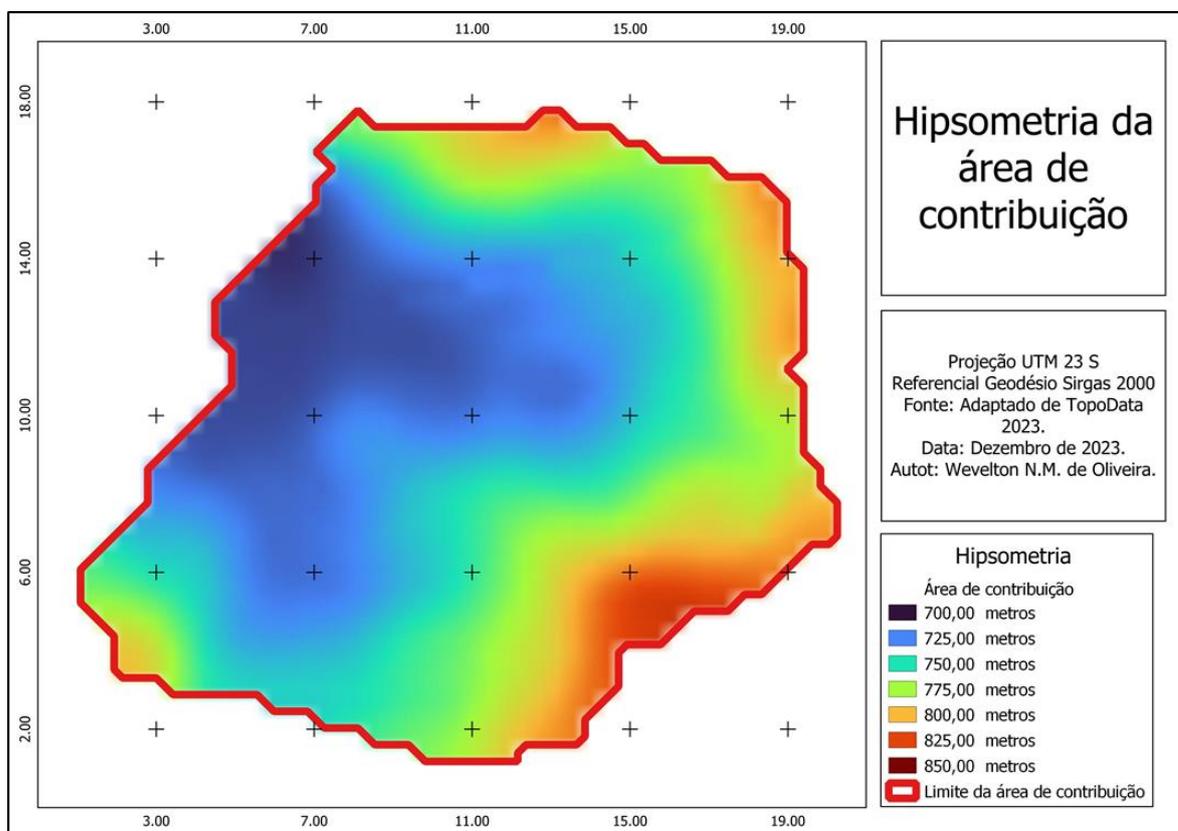
<b>Dimensões da área de contribuição</b>			
<b>Área de Contribuição</b>	<b>m<sup>2</sup> (metros quadrados)</b>	<b>km<sup>2</sup> (quilômetros quadrados)</b>	<b>ha (hectare)</b>
Área permeável	12.169,76	0,012	1,217
Área impermeável	1.031.398,85	1,03	103,14
Área total de contribuição	1.043.568,61	1,044	104,36
Perímetro total (metros)	4.160,38		

Fonte: Elaborado pelo autor (dados calculados CalcArea QGIS, 2023).

### 5.1.2 Hipsometria, Relevo e Declividade Média do Relevo

Como demonstrado na Figura 29, no mapa hipsométrico, verificou-se que na região azulada encontram-se as áreas mais baixas da região estudada, estando compreendidos entre 700 e 750 metros de altitude, onde se localiza o ponto exutório, determinado justamente pelos frequentes alagamentos.

Figura 29 – Hipsometria da área de contribuição.

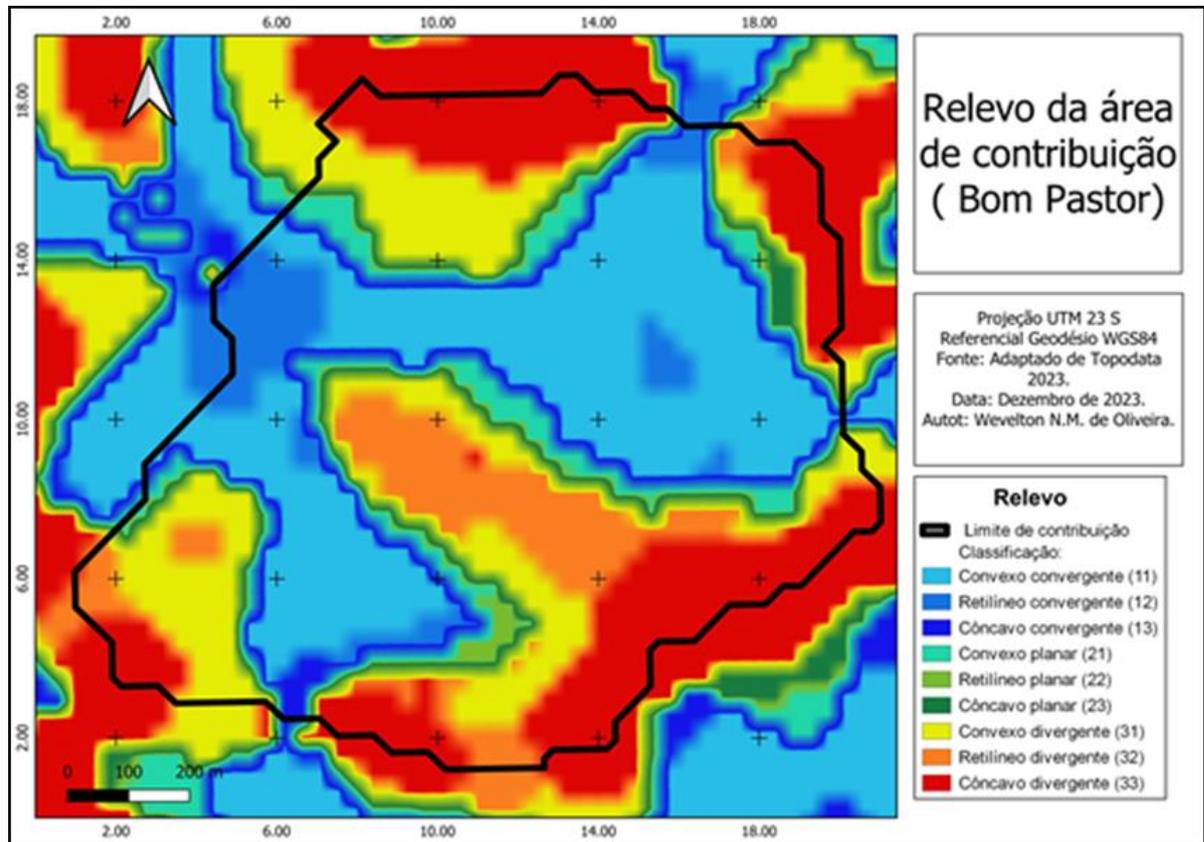


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na apresentação do mapa das formas do relevo, na Figura 30, resultante da combinação da curvatura horizontal e curvatura vertical, pode-se identificar a presença dos casos extremos de combinações de curvatura do terreno. Segundo “Guia para utilização de dados geomorfológicos locais” do próprio Topodata, esses extremos são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento, representado pela cor azul escuro) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento, representado pela cor

amarela). Sendo as demais combinações intermediárias dependentes das características hidrológicas relacionadas à intensidade e efeitos individuais.

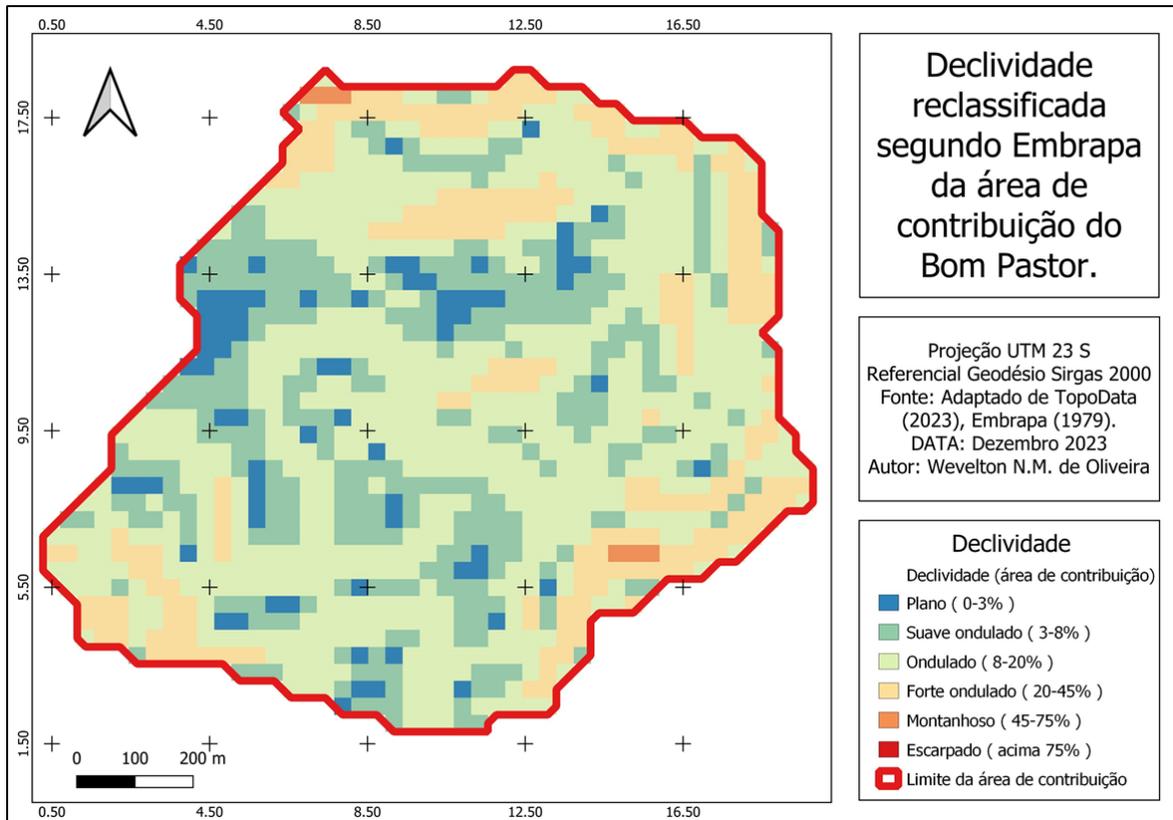
Figura 30 – Relevo da área de contribuição.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Segundo a Figura 31, foram constatados os níveis de declividade do terreno podendo verificar a facilidade da ocorrência de alagamentos na região do ponto exutório devido à presença predominante de áreas planas e suaves onduladas.

Figura 31 – Declividade da área de contribuição (Bom Pastor).

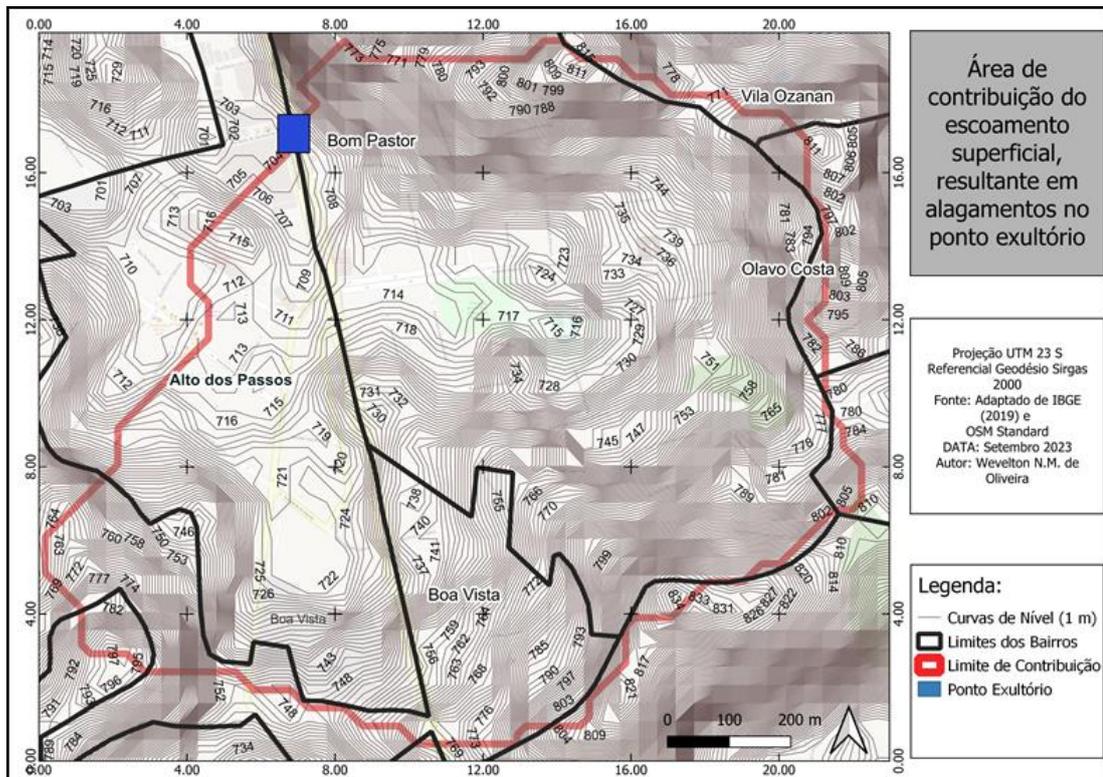


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 5.1.3 Curvas de Nível, Fluxo de Direção e Vista 3D

Na Figura 32, o mapa com as curvas de nível para a área de contribuição do escoamento superficial para o ponto exutório, demonstra uma diferença de cota de 105 m, sendo a parte mais baixa 704 m e a mais alta 809 m.

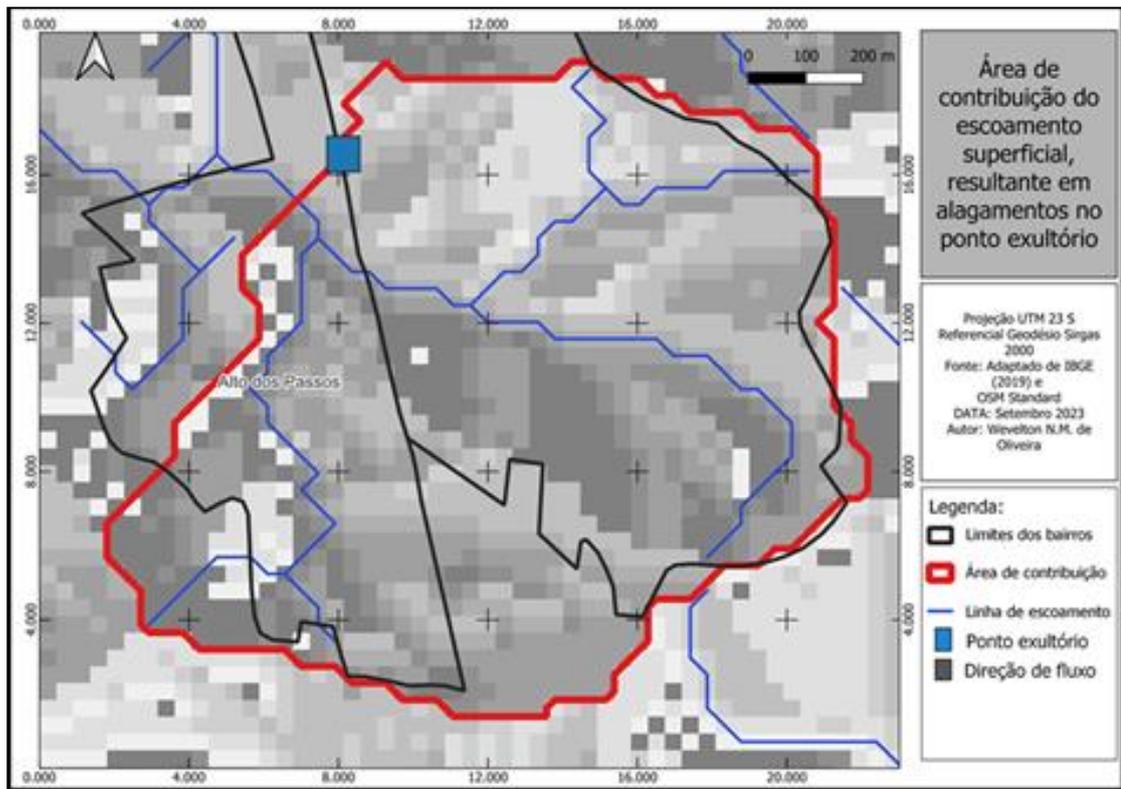
Figura 32 – Curvas de nível das áreas de contribuição (Bom Pastor).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 33, o mapa de fluxo de direção demonstra o trajeto percorrido pelo escoamento superficial, sendo alterado seu ponto exutório devido a construções no local.

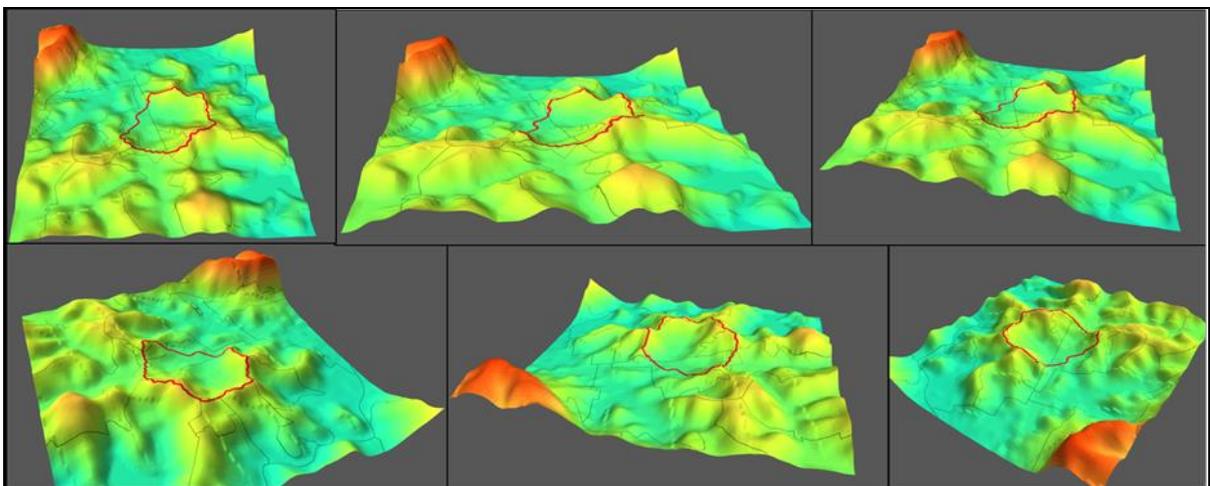
Figura 33 – Fluxo de direção das áreas de contribuição



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 34, demonstram-se vários ângulos da área de contribuição e seus entornos para analisar a declividade e relevo da região, o que favorece o alagamento no ponto exultório.

Figura 34 – Visão 3d da área de contribuição.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 5.1.4 Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade

Para o fator de forma (Kf), foi encontrado o valor adimensional  $Kf = 0,88$ , sendo a área classificada como arredondada levemente alongada ou também chamada de achatada. Mantendo-se dentro da classificação que vai de 0,75 até 1,00 para regiões propensas a alagamentos. Demonstrado o cálculo no Apêndice A.

Para o Coeficiente de compacidade (KC), foi encontrado o valor adimensional  $KC = 1,14$ , o que o mantém dentro da classificação de bacias arredondadas com alta propensão a grandes enchentes e alagamentos, valores esses compreendidos entre  $KC = 1,00$  e 1,25. Demonstrado o cálculo no Apêndice B.

Para o índice de circularidade (IC), encontrou-se o valor de  $IC = 0,76$ , sendo em sua classificação o resultado 1 como a representação do círculo perfeito e a bacia mais propensa a inundações, portanto, a região apresenta 76% de semelhança com um círculo perfeito e características favoráveis a alagamentos. Em função de um menor espaço percorrido pelo escoamento desde o ponto mais distante até o exutório. Demonstrado o cálculo no Apêndice C.

Segundo Cardoso et al. (2006), uma bacia com o fator de forma baixo possui menor propensão a enchentes, em virtude de que em uma bacia estreita e longa ocorre menor possibilidade de chuvas intensas cobrindo toda a sua extensão simultaneamente, diferente de uma bacia mais arredondada. Sendo a bacia classificada pelo coeficiente de compacidade, o que a compara com um círculo, tendo como resultado mais próximo de 1 a potencialidade de picos de enchentes e seu índice de circularidade tendendo para a unidade quando se aproxima de uma forma circular e diminuindo quando a bacia tende a ser mais alongada, sendo parâmetros para indicar sua propensão a enchentes.

De acordo com Lorenzon, Dias, Tonello (2015), o formato e o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica estão diretamente relacionados, pois o tempo que a precipitação leva para escoar até o ponto exutório está diretamente ligado ao formato da bacia. Diferentemente de bacias alongadas que apresentam baixas possibilidades de chuvas intensas ocorrerem em toda sua extensão, as bacias circulares tem a concentração do deflúvio ocorrendo em um único ponto, diminuindo o tempo de concentração e aumentando as chances de enchentes.

### 5.1.5 Índices de pluviosidade

O Quadro 5 demonstra os valores calculados para a curva IDF com o tempo de retorno referente a 5 anos, e logo em seguida o Quadro 6 demonstra os valores calculados para a curva IDF com o tempo de retorno referente a 10 anos.

Quadro 5 – Curva IDF com tempo de retorno para 5 anos.

<b>Curva IDF (tempo retorno 5 anos)</b>							
Coeficientes Regionais				Dados de Chuva			I (mm/h)
K	a	b	C	t (min)	t (horas)	TR (anos)	
3000	0,173	23,965	0,96	5	0,08	5	156,5469
3000	0,173	23,965	0,96	10	0,17	5	134,3546
3000	0,173	23,965	0,96	15	0,25	5	117,7593
3000	0,173	23,965	0,96	25	0,42	5	94,5698
3000	0,173	23,965	0,96	30	0,50	5	86,1420
3000	0,173	23,965	0,96	60	1,00	5	56,3519
3000	0,173	23,965	0,96	120	2,00	5	33,5827
3000	0,173	23,965	0,96	240	4,00	5	18,7654
3000	0,173	23,965	0,96	480	8,00	5	10,0864
3000	0,173	23,965	0,96	960	16,00	5	5,3061
3000	0,173	23,965	0,96	1440	24,00	5	3,6254

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

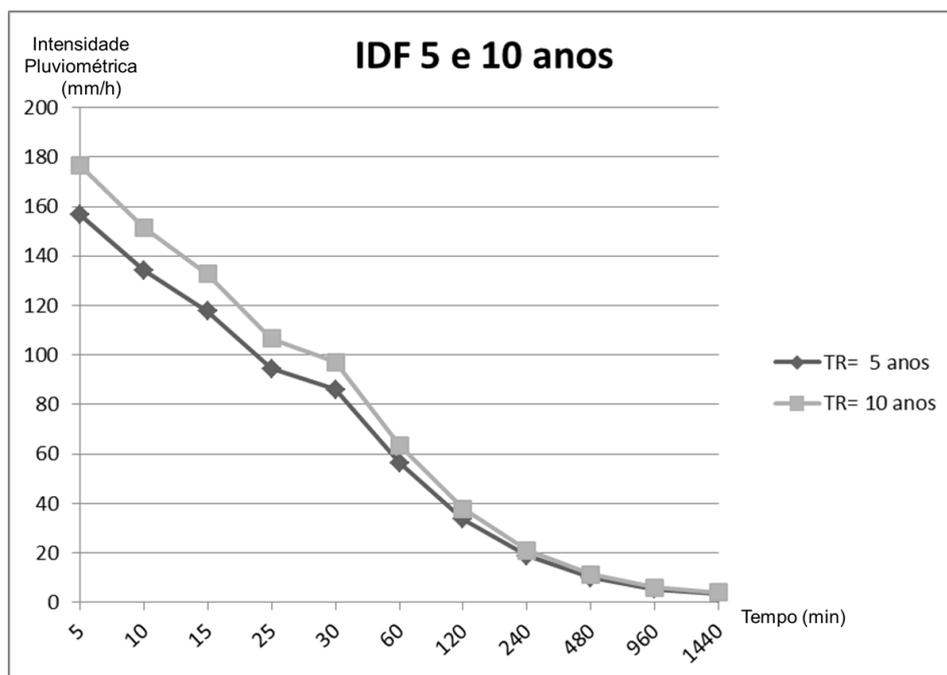
Quadro 6 – Curva IDF com tempo de retorno para 10 anos.

Curva IDF (tempo retorno 10 anos)							
Coeficientes Regionais				Dados de Chuva			I (mm/h)
K	a	b	C	t (min)	t (horas)	TR (anos)	
3000	0,173	23,965	0,96	5	0,08	10	176,4910
3000	0,173	23,965	0,96	10	0,17	10	151,4714
3000	0,173	23,965	0,96	15	0,25	10	132,7619
3000	0,173	23,965	0,96	25	0,42	10	106,6181
3000	0,173	23,965	0,96	30	0,50	10	97,1166
3000	0,173	23,965	0,96	60	1,00	10	63,5311
3000	0,173	23,965	0,96	120	2,00	10	37,8612
3000	0,173	23,965	0,96	240	4,00	10	21,1561
3000	0,173	23,965	0,96	480	8,00	10	11,3714
3000	0,173	23,965	0,96	960	16,00	10	5,9821
3000	0,173	23,965	0,96	1440	24,00	10	4,0851

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 35 apresenta um comparativo da curva IDF para o tempo de retorno de 5 e 10 anos.

Figura 35 - Gráfico da Curva IDF para 5 e 10 anos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 5.1.6 Tempo de Concentração

O tempo de concentração refere-se ao tempo gasto para que toda a bacia contribua para o ponto exutório, ou seja, o tempo que a água gasta para percorrer do ponto mais distante até o ponto de interesse. Foi utilizado como ponto mais distante o mesmo ponto que foi usado para calcular a declividade equivalente, sendo demonstrado anteriormente na Figura 23, constatando-se que devido à impermeabilidade e formato da bacia, o tempo de concentração encontrado foi de 13,2 minutos. Demonstrado o cálculo no Apêndice D.

Para efeito de comparação foram utilizados os dados da área de contribuição em outras fórmulas referentes ao tempo de concentração para averiguar a confiabilidade do resultado. Demonstrado no Quadro 7.

Quadro 7 – Tempo de concentração

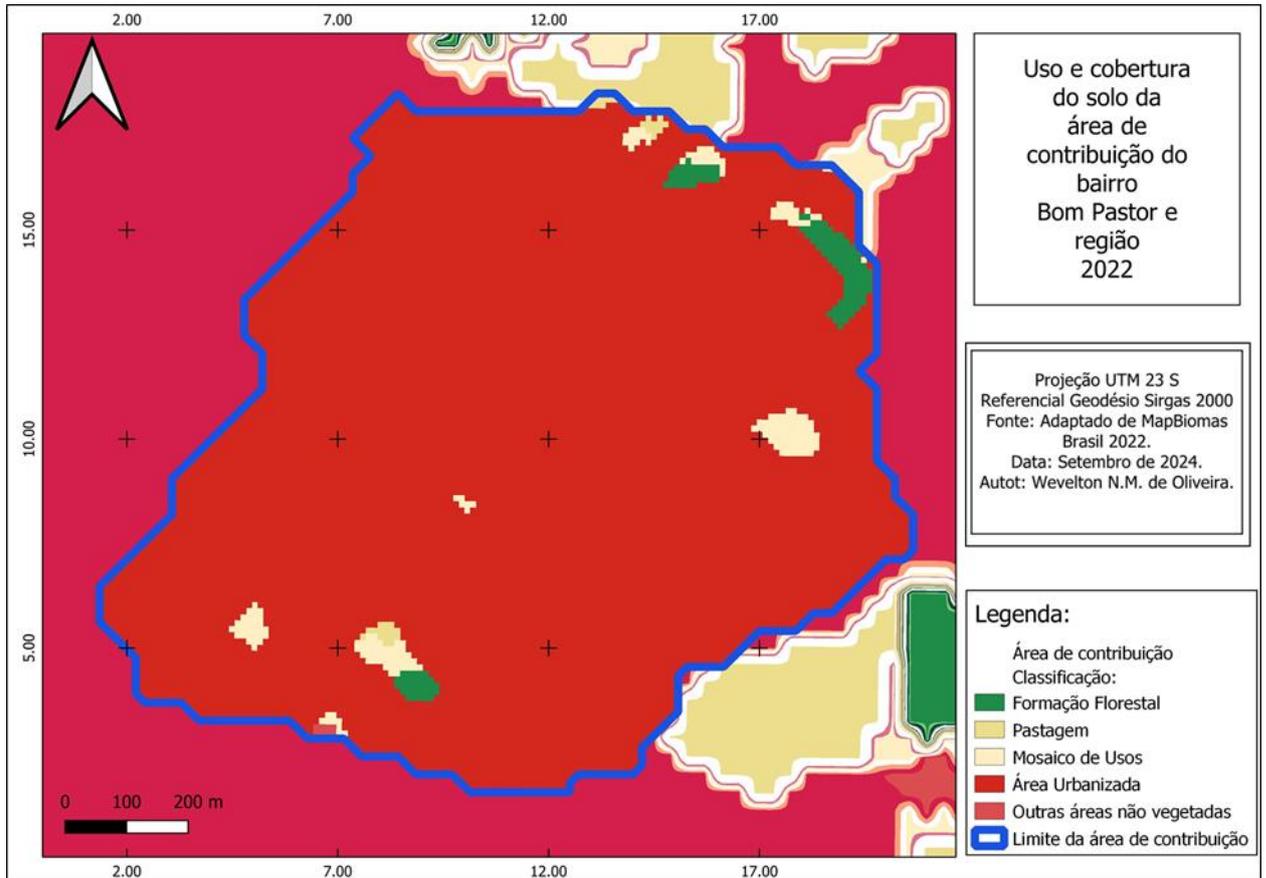
Tempo de concentração obtido de outras fórmulas		
Modelo	Fórmula	Tempo Concentração (min)
Corps Engineers	$T_c = 0,191 \times L^{0,76} \times S^{-0,19}$	20,59 min
Kirpich	$T_c = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$	12,56 min
Picking	$T_c = 0,0883 \times L^{0,667} \times S^{-0,333}$	14,32 min
Ven te Chow	$T_c = 0,160 \times L^{0,64} \times S^{-0,32}$	24,96 min
Califórnia Culverts Practice	$T_c = 57 \times L^{1,115} \times H^{-0,385}$	10,50 min

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.1.7 Uso e ocupação do solo

Segundo a Figura 36, constatou-se que a ocupação do solo para a região é predominantemente de área urbana, sendo os alagamentos na região uma constante em função da impermeabilização, obviamente sendo agravado pelas condições de limpeza das vias, o que geram obstruções das redes de coleta das águas pluviais.

Figura 36 – Uso e cobertura do solo (Bom Pastor)



Fonte: Adaptado pelo autor (MapBiomas Brasil, 2022).

## 5.2 SIMULAÇÕES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

Para o entendimento do efeito gerado na adoção dos SUDS, seguindo as orientações do Manual de drenagem de Juiz de Fora (2011), faz-se necessário calcular a vazão atual do escoamento superficial da área total de contribuição. Em seguida calcula-se a área dos lotes com a atuação dos SUDS onde sua vazão de escoamento superficial será retida, sendo então a área desses lotes desconsiderada. Calcula-se a nova vazão gerada pela nova área de contribuição, podendo assim fazer um comparativo das duas fases.

Atentando que o Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora fornece a equação para o dimensionamento da vazão e também a equação para o cálculo do volume que deve ser retido dentro do lote após sua impermeabilização, tornando

assim nula a contribuição do lote impermeabilizado para a formação do escoamento superficial no momento de pico.

### 5.2.1 Sem SUDS

Para efeito de comparação da eficiência da aplicação dos SUDS foi calculada a vazão da área de contribuição, considerando que toda a precipitação do local se transformaria em escoamento superficial, tomando como inexistentes os sistemas de captação de água pluvial.

Através da equação do método racional modificado, pois a área de análise possui menos que 10 km<sup>2</sup>, aplicaram-se os valores referentes à área de contribuição e encontrou o coeficiente de retardo  $\phi = 0,46$ . Substituindo os valores na equação racional modificada, encontrou-se uma vazão para o ponto exutório de  $Q = 12,36$  m<sup>3</sup>/s, sendo demonstrado o cálculo no Apêndice F e o seu resultado no Quadro 8.

Quadro 8 – Dados locais sem uso dos SUDS.

<b>Dados locais sem uso dos SUDS</b>		
Área	1,04356861	km <sup>2</sup>
Vazão	12,36	m <sup>3</sup> /s

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.2 Cálculo da capacidade de retenção dos SUDS

Para o cálculo dos SUDS, sendo para o microrreservatório e o pavimento permeável, seguiram-se as orientações do Manual de drenagem da prefeitura de Juiz de Fora (2011), sendo necessário o dimensionamento da vazão máxima de saída do lote e o volume necessário para armazenamento, valores que representam a condição natural do lote, sem impermeabilização. Sendo encontrada para lotes de 1000 m<sup>2</sup> a vazão de pré-dimensionamento  $Q_{pd} = 0,0026$  m<sup>3</sup>/s e o volume de armazenamento  $V = 52,30$  m<sup>3</sup>. Demonstrado o cálculo no Apêndice H.

### 5.2.2.1 Telhado Verde

Para o dimensionamento do telhado verde, optou-se por não utilizar todo o espaço do lote, sendo mais realista dentro da perspectiva construtiva de uma edificação que já esta pronta, visando que nem todo o espaço utilizado do lote poderia receber um telhado verde. Adotou-se então um telhado na medida de 200 m<sup>2</sup>, sendo esse capaz de reter 16 m<sup>3</sup> de precipitação. Demonstrado o cálculo no Apêndice I.

Para o cálculo da vazão de pré-desenvolvimento e o volume de armazenamento do telhado verde, calculou-se referente sua área de absorção, sendo adotado não o tamanho do lote e sim do telhado (200 m<sup>2</sup>). Ficando a vazão de pré-desenvolvimento  $Q_{pd} = 0,000523 \text{ m}^3/\text{s}$  e o volume de armazenamento necessário em  $V = 10,46 \text{ m}^3$ . Demonstrado o cálculo no Apêndice G.

Para mensurar o quanto seria relevante à adoção do telhado verde no combate ao volume do escoamento superficial que chega ao ponto exultório, arbitrou-se a adoção de 100 telhados verdes de 200 m<sup>2</sup> que seriam instalados aleatoriamente pelo bairro e os valores representativos dessa adoção apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Dados da utilização dos telhados verdes.

<b>Dados locais com a utilização dos telhados verdes</b>					
Valores referentes à utilização de 1 telhado verde			Valores referentes à utilização de 100 telhados verdes.		
Telhado Verde	1	unidade	Telhado Verde	100	unidades
Área drenada	200	m <sup>2</sup>	Área drenada	20.000	m <sup>2</sup>
Área drenante	200	m <sup>2</sup>	Área drenante	20.000	m <sup>2</sup>
Volume drenado	16	m <sup>3</sup>	Volume drenado	1.600	m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.2.2 Microrreservatório

Para dimensionamento do microrreservatório foi calculado o armazenamento da precipitação de todo os 1000 m<sup>2</sup> referentes ao lote, o que gera uma necessidade

de armazenamento de 52,30 m<sup>3</sup>. Se tratando de um modelo enterrado e com possibilidade drenante por gravidade de toda a área do lote, demonstrando o cálculo no Apêndice J. Sendo também arbitradas 100 unidades espalhadas pelo bairro e demonstrado os valores representativos dessa adoção no Quadro 10.

Quadro 10 – Dados da utilização dos microrreservatórios.

<b>Dados locais com a utilização dos microrreservatórios</b>					
Valores referentes à utilização de 1 microrreservatório			Valores referentes à utilização de 100 microrreservatórios.		
Microrreservatório	1	unidade	Microrreservatório	100	unidades
Área drenada	1.000	m <sup>2</sup>	Área drenada	100.000	m <sup>2</sup>
Área drenante	30	m <sup>2</sup>	Área drenante	300	m <sup>2</sup>
Volume drenado	52,30	m <sup>3</sup>	Volume drenado	5.230	m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.2.3 Pavimento permeável

Para o pavimento permeável foi considerada a área a ser drenada de 1000 m<sup>2</sup> e a área drenante de 200 m<sup>2</sup>. Para o modelo foi encontrado a altura máxima de 0,75 metros e utilizado material de preenchimento com 40% de porosidade efetiva, demonstrando o cálculo no Apêndice L.

Novamente sendo também arbitradas 100 unidades espalhadas pelo bairro. Demonstrado os valores representativos dessa adoção no Quadro 11.

Quadro 11 – Dados locais com a utilização dos pavimentos permeáveis.

<b>Dados locais com a utilização dos pavimentos permeáveis</b>					
Valores referentes à utilização de 1 pavimento permeável			Valores referentes à utilização de 100 pavimentos permeáveis		
Pavimento Permeável	1	unidade	Pavimento Permeável	100	unidades
Área drenada	1.000	m <sup>2</sup>	Área drenada	100.000	m <sup>2</sup>
Área drenante	200	m <sup>2</sup>	Área drenante	20.000	m <sup>2</sup>
Volume drenado	52,3	m <sup>3</sup>	Volume drenado	5.230	m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.3 Representativo da adoção individual dos SUDS na área de contribuição.

Como demonstrado, adotando as equações fornecidas pelo Manual de drenagem da Prefeitura de Juiz de Fora (2011), tornou-se possível dimensionar o volume de contribuição para a formação do escoamento superficial e dimensionar os SUDS para serem aplicados dentro dos lotes, retendo assim toda sua contribuição após sua impermeabilização, tornando nula sua área de contribuição para o escoamento superficial que chega ao ponto exutório.

Para efeito de comparação analisou-se o efeito gerado com a adoção de cada tipo de SUDS separadamente e posteriormente todos sendo aplicados simultaneamente em edificações distintas, totalizando as aplicações em 300 lotes. Sendo demonstrada a aplicação dos 100 telhados verdes, dos 100 microrreservatórios e dos 100 pavimentos permeáveis.

Na aplicação dos cem telhados verdes, gerariam uma redução de 0,02 km<sup>2</sup> de área contribuinte, pois foram adotados telhados de apenas 200 m<sup>2</sup> em cada lote. O cálculo apresenta-se no Apêndice M e o resultado pode-se verificar no Quadro 12.

Quadro 12 – Resultado da aplicação dos cem telhados verdes.

Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada pelos 100 Telhados Verdes	0,02	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	1,02	km <sup>2</sup>
Nova vazão com a área reduzida	12,09	m <sup>3</sup> /s
Redução	2,10	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na aplicação dos cem micros reservatórios, gerariam uma redução de 0,1 km<sup>2</sup> de área contribuinte, pois sua ação foi referente aos 1000 m<sup>2</sup> de lote. O cálculo apresenta-se no Apêndice N e o resultado pode-se verificar no Quadro 13.

Quadro 13 – Resultado da aplicação dos cem microrreservatórios.

Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada pelos 100 microrreservatórios	0,1	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	0,94	km <sup>2</sup>
Nova vazão	11,15	m <sup>3</sup> /s
Redução	9,75	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na aplicação dos cem pavimentos permeáveis, gerariam uma redução de 0,1 km<sup>2</sup> de área contribuinte, pois sua ação também foi referente aos 1000 m<sup>2</sup> de lote. O cálculo apresenta-se no Apêndice O e o resultado pode-se verificar no Quadro 14.

Quadro 14 – Resultado da aplicação dos cem pavimentos permeáveis.

Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada pelos 100 pavimentos permeáveis	0,1	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	0,94	km <sup>2</sup>
Nova vazão	11,15	m <sup>3</sup> /s
Redução	9,75	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

#### **5.2.4 Representativo da adoção simultânea dos SUDS na área de contribuição. (em edificações distintas)**

Somando todas as áreas adotadas que tiveram suas contribuições anuladas, tem-se (100 x 200 m<sup>2</sup> = 20.000 m<sup>2</sup>) ou 0,02 km<sup>2</sup> referentes aos telhados verdes, (100 x 1000 m<sup>2</sup> = 100.000 m<sup>2</sup>) ou 0,1 km<sup>2</sup> referentes aos microrreservatórios e (100x 1000 m<sup>2</sup> = 100.000 m<sup>2</sup>) ou 0,1 km<sup>2</sup> referentes aos pavimentos permeáveis. Totalizando uma redução da área contribuinte para a formação do escoamento superficial em 220.000 m<sup>2</sup> (0,22 km<sup>2</sup>), o que gerou uma redução de 21,23% na formação de escoamento superficial, ressaltando que esse valor se refere a toda a precipitação

da área de contribuição sendo convertida como escoamento superficial. Demonstrado o cálculo no Apêndice P e os valores apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 – Resultado da aplicação de todos os SUDS.

Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada pelos SUDS	0,22	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	0,82	km <sup>2</sup>
Nova vazão	9,73	m <sup>3</sup> /s
Redução	21,23	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Analisando os dados obtidos por outros autores em seus experimentos, buscou-se fazer um comparativo com seus resultados para entender a eficácia da aplicação dos SUDS e a relevância dos mesmos.

Para a aplicação do telhado verde tem-se o exemplo do estudo realizado por Tassi et al.(2014), na Universidade Federal de Santa Maria (RS), no qual foi utilizado o telhado verde do modelo extensivo composto por 24 módulos pré fabricados com dimensões de 70 x 35 x 9 cm e com a altura do reservatório de apenas 3 cm de altura em um período de 17 meses e 43 eventos de precipitação, onde foi possível constatar que do volume precipitado, apenas 38% resultou em escoamento superficial, sendo na maioria dos eventos o escoamento sendo retido plenamente pelo telhado verde.

Para a análise do resultado do microrreservatório foi considerado o estudo realizado por Cruz, Tucci, Silveira (1998), na cidade de Porto Alegre, onde se observou que na utilização de um microrreservatório de 2 m<sup>3</sup> de capacidade para uma área de um lote de 600 m<sup>2</sup>, foi capaz de atenuar a vazão original do lote de 12,15 l/s para 8,22 l/s, gerando uma redução de 32,32%. Favorecendo a diminuição da vazão gerada a jusante e com isso diminuindo os riscos de alagamentos.

Para a comparação com o resultado obtido pelo uso do pavimento permeável, foi analisado o experimento realizado em Porto Alegre por Acioli (2005), onde seu experimento refere-se a um estacionamento com uma área de 264 m<sup>2</sup>, dividido em duas partes, metade com asfalto poroso e a outra metade com blocos vazados

intertravados de concreto sendo aplicado para a faixa de rolamento do pavimento permeável. Obtendo em ambos os casos um resultado bem satisfatório, pois em relação ao escoamento superficial foram obtidas taxas entre 5% para o asfalto poroso e 2,7% para os blocos vazados e em nenhum evento de chuva o volume armazenado superou os 25% da capacidade do reservatório.

Buscou-se então para comparação algum experimento onde tenha sido feito a utilização mesclada de vários tipos de SUDS e de acordo com estudo realizado por Vairinhos (2017), na cidade de Coimbra em Portugal, no bairro Zona das Flores com uma área de 217,9 hectares, sendo destes, 51,4% área impermeável e com problemas de alagamentos. Foram utilizados vários tipos de SUDS, onde o impacto positivo foi a redução do escoamento superficial e conseqüentemente a redução dos alagamentos. Tendo destacados os melhores resultados para o uso dos reservatórios e pavimentos permeáveis sendo responsáveis por uma redução de 28,9% do volume escoado, reduzindo em 67% no volume alagamento.

Já para a combinação da utilização mesclada dos pavimentos permeáveis e os reservatórios de detenção, tem-se o exemplo do estudo realizado por Cabral e Braga (2024), em um conjunto residencial situado na região de Igarapé dos Franceses, na Zona Oeste da cidade de Manaus/ AM. Com uma área total de 3343 m<sup>2</sup>, sendo 573,81 m<sup>2</sup> (17,16%) de área permeável e 2.769,19 m<sup>2</sup> (82,84%) de área impermeável e desnível máximo de 5,32 metros. Obtiveram com a adoção de pavimentos permeáveis e reservatórios de detenção como opções de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis uma redução de 16,51% no pico de vazão, gerando uma redução no escoamento superficial que chega à jusante, retardando os alagamentos.

Outro exemplo de utilização mesclada de SUDS foi o estudo realizado na cidade de Sombrio no interior de Santa Catarina por Fröhlich e Cauduro (2019), abrangendo uma área de 142,74 Km<sup>2</sup>, constataram devido à implantação de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS), dentre eles os poços de infiltração, a trincheira de infiltração e o pavimento permeável, uma redução de 31,51% da vazão pluvial lançada aos Sistemas Urbanos de Drenagem Convencional (SUDC). Reduzindo assim eventos de alagamentos na região.

Segundo os resultados obtidos de outros experimentos por vários autores e comparando com os resultados da aplicação dos SUDS na região do Bom Pastor,

pode-se constatar que sua aplicação seria benéfica para a redução dos problemas dos alagamentos que ocorrem na região. Sendo seu resultado proporcional à utilização dos SUDS em comparativo a abrangência do seu território, o que significa que o valor poderia ser bem mais considerável se a adesão dos moradores em relação à implantação dos sistemas em seus lotes for maior do que o sugerido nessa simulação.

## 6 CONCLUSÃO

Em função das características morfométricas e pluviométricas da região analisada, considerou-se toda a precipitação local transformada em escoamento superficial, constatando a condição de alagamentos para a região no ponto exutório. Sendo confirmado pelos resultados obtidos pelo fator de forma, coeficiente de compacidade e o índice de circularidade que reafirmaram as características de uma bacia circular propensa a alagamentos.

Foram selecionadas três opções de SUDS; o telhado verde, o micro reservatório e o pavimento permeável, para serem responsáveis pela mitigação do escoamento superficial, através da redução da contribuição gerada pela área dos lotes, onde tais sistemas foram instalados, conseqüentemente anulando a contribuição do escoamento superficial gerado na fonte.

Constatou-se uma vazão inicial de 12,35 m<sup>3</sup>/s referente à área de contribuição de 1,04 km<sup>2</sup>, sendo considerado inexistente qualquer sistema de captação pluvial pública, sendo toda a precipitação transformada em escoamento superficial. Com a aplicação dos SUDS, obteve-se 0,02 km<sup>2</sup> de redução da área de contribuição na adoção dos telhados verdes, 0,1 km<sup>2</sup> de redução na adoção dos microrreservatórios e 0,1 km<sup>2</sup> de redução com os pavimentos permeáveis. Totalizando uma redução de área de contribuição de 0,22 km<sup>2</sup>, gerando uma nova área de contribuição de 0,82 km<sup>2</sup> e uma vazão de 9,73 m<sup>3</sup>/s, o que representa uma redução considerável de 21,23% da vazão que chega ao ponto exutório.

Baseado em todos os dados citados, concluiu-se que independente da capacidade dimensionada de absorção do volume de escoamento superficial da rede de drenagem pública e a impermeabilização gerada em uma região, os problemas de alagamentos podem ser evitados com a mudança na forma construtiva utilizada dentro dos lotes. Com a implantação dos diversos tipos de SUDS disponíveis seria possível resolver esse problema na fonte, evitando a necessidade de obras públicas de maior porte para a redução dos alagamentos.

## REFERÊNCIAS

- ACIOLI L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. 2005. Dissertação de Mestrado, UFRGS – IPH, 2005.
- ADADA, L. B. **Avaliação das condições estruturais e funcionais de pavimentos de concreto de cimento Portland**: estudo de caso. 2001. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- Agência Brasil, **Impacto da chuva em SP pode ser de 110 milhões para o comércio** (Publicado em 11/02/2020 -Por Flávia Albuquerque – Repórter da Agência Brasil - São Paulo). <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-02>. Acesso em 05 de outubro de 2022.
- ALBERTO ZA, et al. **Estudo do Telhado Verde nas construções sustentáveis**. XII Safety, Health and Environment World Congress, 2012; 1: 171-173.  
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023**: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2024.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**. Materiais, projeção e restauração. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre: ABRH, 2005. 318 p.
- BARRETO, A.G. O. **Análise do método da determinação do coeficiente de permeabilidade em concretos permeáveis aditivados através das normas NBR 16416 e NBR 13292**. 94p. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília. 2018.
- BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M. **Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na Bacia do Mineirinho**. Floresta e Ambiente, v.22, n.2, p.211-222, 2015.  
Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/15774>>  
>Acesso em: 29 de abril de 2023.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010.
- BETEZINI, R. **Estudo preliminar de concreto permeável como revestimento de pavimento para áreas de veículos leves**. São Paulo 2013. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.php>>. Acesso em 22 out. 2022.
- BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. (2010). **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed

DEPARTAMENTO NACIONAL DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3. ed. – Rio de Janeiro, 2006.

CABRAL, V.P. ; BRAGA, E.M. **Estudo da implantação de sistemas de drenagem sustentáveis em lote urbano**. 2024. Revista Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v.17, n.2, p. 01-22, 2024.

CANHOLI, A. P.. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan**, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2011.

CGM Engenharia, Consultoria em projetos de infraestrutura urbana e topografia. **Sistemas de drenagem e sua importância**. Disponível em: <https://cgmengenharia.com.br/>. Acesso em 20 abril de 2023.

CHRISTENSEN, D.; SCHMIDT, A. R.; **Approach to Analyze the Hydrologic Effects of Rain Gardens**. International Low Impact Evelopment Conference, Seattle, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Ed. 1. São Paulo: Edgard Blucher, p.1-233, 1999.

CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.A.M.; SILVEIRA, A.L.L., **Controle do escoamento em lotes urbanos**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.3, n.4, p.19-31,1998.

DA PAZ, A. R.. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: [s.n.] 2004. 138p

DARONCO, G.C.; MINUZZI, P. **Drenagem Urbana: Trincheiras de infiltração como medida alternativa no controle do escoamento superficial causado pela urbanização em loteamentos – Estudo de caso na cidade de Santa Rosa**. 11º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, RS, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. **Manual de pavimentação**. Ministério dos Transportes. 2006.

DIFERENÇA ENTRE INUNDAÇÃO, ENCHENTE E ALAGAMENTO. Disponível em: <<https://jornaldaparaiba.com.br/meio-ambiente/saiba-qual-e-diferenca-entre-inundacao-enchente-e-alagamento>>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

DRUMOND, P. P. **Estudo da influência da preservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica.** 2012.

ENGENHARIA 360, Asfalto permeável. **Pavimentos permeáveis prometem diminuir significativamente as inundações urbanas.** Disponível em: <https://engenharia360.com/pavimentos-permeaveis-reduz-inundacoes>. Acesso em 01 dez 2022.

E-CIVIL, Descomplicando a Engenharia. **Significado de Pavimento semirrígido.** [S. I.], 2017. Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-pavimento-semi-rigido.html> . Acesso em: 28 nov. 2022.

FERREIRA, S.C. (2009). **Políticas Públicas, Urbanização e Interações Sócio espaciais** No Brasil. Encontro de Geógrafos da América Latina. Anais. Disponível em: <[http://egal2009.easyplanners.info/area05/5210\\_Ferreira\\_sandra\\_Cristina.pdf](http://egal2009.easyplanners.info/area05/5210_Ferreira_sandra_Cristina.pdf)>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

FEDRIGO, W. **Reciclagem de pavimentos com adição de cimento portland:** definição das bases para um método de dosagem. 2015.

FONTES, A.R.M.; BARBASSA, A.P. **Diagnóstico e prognóstico da ocupação e impermeabilização urbanas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre (RS), v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.

FROHLICH, N.S.; CAUDURO, F. **Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) versus o Convencional (SUDC).** 2019. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense.2019.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana.** Belo Horizonte: FEAM, 2022. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE: **Panorama de Juiz de Fora/ MG.** Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>. Acesso em 09 outubro de 2023.

JABUR, Andrea Sartori et al. **Avaliação de pavimentos permeáveis com o uso da norma ASTM C1701.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS, 2013.

LECA SAINT GOBAIN. Soluções/ Gestão/Águas Pluviais. **Faixas gramadas.** Disponível em: < <https://www.leca.pt/solucoes/gestao-aguas-pluviais>>. Acesso em: março de 2023.

LOPES, L.R. et al (2007) **Interceptação e Ciclagem de Nutrientes em Floresta de Encosta na Amazônia Central.** I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro

Oeste. Anais. Disponível em  
<[http://www.abrh.org.br/novo/i\\_simp\\_rec\\_hidric\\_norte\\_centro\\_oeste30.pdf](http://www.abrh.org.br/novo/i_simp_rec_hidric_norte_centro_oeste30.pdf)> acesso em:17 de novembro de 2023.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C.; TONELLO, K. C. **Escoamento superficial da água da chuva em um fragmento florestal de Mata Atlântica**, Viçosa-MG. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, Viçosa, v.5, n.1, p.50-58, jul.2015.

MELO NETO, J. O.; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de; MELLO JÚNIOR, A. V. **Simulação hidrológica escalar com o modelo SWAT**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 177-188, 2014.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. **Ciclo Hidrológico Planetário: Abordagens e Conceitos**. Revista Geo UERJ, v. 1, n. 21, p.109-119. 2010.

MONTEIRO, A. C. N. **Concreto poroso: dosagem e desempenho**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados Verdes Para Habitações de Interesse Social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, L. C. B. **Análise da permeabilidade e da colmatação em concretos permeáveis com agregado reciclado de concreto**. 2017. Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas. 2017.

OLIVEIRA, W.; REZENDE, R.; PIZZO, H. **Telhados verdes e a drenagem urbana**. Revista Artigos.com, Juiz de Fora, Volume 25, 2021.

PESSANHA, L. B. **Proposta de implantação de um sistema de telhado verde extensivo utilizando a técnica de wetland**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica - UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.

PINTO, E. M. A. **Gestão de Recursos Hídricos e as Interferências do Sistema Urbano**. Revista Universidade Rural, Série Ciências Humanas e Sociais, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 125-131. 2007.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. PLANO DE DRENAGEM DE JUIZ DE FORA. Parte 1. Zona Norte. PD/JF ZN. Volume 3. **Manual de drenagem**. Juiz de Fora. Dezembro 2011.

PLEDGE, E. **Green Roofs: Ecological Design & Construction**. Schiffer Pub. 2005.  
POLASTRE, B. e SANTOS, L. D. **Concreto Permeável – Impermeabilização Do Solo e Drenagem Urbana**. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. 2006. Disponível em:

<[http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq\\_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalhos](http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalhos)>. Acesso em: 15 out. 2022.

POMPÊO, C. A (2000). **Development of a State policy for sustainable urban drainage**. Urban Water, 1(2), 155-160.

PRATT, C. J. 1999. **Use of permeable, reservoir pavement constructions for stormwater treatment and storage for re-use**. Water Science and Technology, vol 39, nº 5, pp 145-151.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. Secretaria de Planejamento e Gestão de Juiz de Fora. **Características gerais**. 2023. Disponível em: <<https://www.pjf.mg.gov.br/institucional/cidade/caracteristicas.php>>. Acesso em 15 de outubro de 2023.

Redecoração: Inovações Sustentáveis para um Mundo Melhor. **Jardins de chuva diminuem a poluição urbana e evitam alagamentos**. Disponível em: <<https://redecoracao.com.br/jardins-de-chuva-diminuem-a-poluicao-urbana-e-evitam-alagamentos>>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

REIS, P. A; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais**. Porto Alegre, v.8, n. 2, p99-117, 2008.  
REIS, P. A.; SCHMIDT, M. A. R. **Análise da expansão urbana e delimitação de áreas de inundação na cidade de Patrocínio, MG**. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Natal, 2014.

Render Blog, **Concreto Permeável**. Disponível em: <https://blog.render.com.br/construcao/concreto-permeavel>. Acesso em 01 dez 2022.  
RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. **Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana**. Eng. Sanit Ambient, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017.

RODRIGUEZ, R. **The History of Green Roof Technology**. New York: Ifenergy.com, 2006.

SILVA, L. S. et al. **Análise comparativa entre as técnicas construtivas de pavimentação empregadas no sistema Bus Rapid Transit (BRT) - Belém - PA versus Fortaleza – CE**. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) – Belém, 2018.

SILVA, N.C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2011; 60 p.

SILVEIRA, A.L.L. Apostila: **Drenagem Urbana: aspectos de gestão**. 1ª (ed.) Curso preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002.

SOLUÇÕES ECOLÓGICAS. **Sistema de captação de água de chuva.** 2023. Ecovila Clareando. Disponível em: <<https://www.clareando.com.br/solucoes.html>>. Acesso em maio de 2023.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Projeto Técnico: jardins de chuva. Soluções para a Cidade.** 2021. Disponível em: [https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF\\_Jardins-de-Chuva-online.pdf](https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf) . Acesso em: 30 out. 2023.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

TOMAZ P. **Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis.** São Paulo: Navegar Editora; 2005; 180p.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e Cheias: Medidas de Controle na fonte.** 2013. 137p, Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TOSCAN NETO, A. et al. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano.** Capítulo 14 do Livro Água Doce. UFRGS. 1997.

TUCCI, C.E.M. **Estimativa do volume para controle da drenagem no lote.** In: Drenagem Urbana: Gerenciamento Simulação e Controle. Benedito Braga, Carlos Tucci e Marcos Tozzi. 1ªed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 1998. Cap. 12. p.155-163.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas.** Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p.97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4º ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2014.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J.C. **Inundações urbanas na América do Sul.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Porto Alegre, RS, 2003.

VAIRINHOS, J. L. E. **Modelação Hidráulica de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável: aplicação de soluções de controlo na origem a um caso de estudo.** 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra. VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: Mcgraw Hill, 1975. 250p.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias.** Dissertação (Monografia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

## APÊNDICE A – Cálculo do fator de forma

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Sendo:

Kf = Fator de forma (adimensional)

A = Área (m<sup>2</sup> ou km<sup>2</sup>) = A = 1,044 km<sup>2</sup>

L<sup>2</sup> = Comprimento Axial (m ou km) = L<sup>2</sup> = (1,09)<sup>2</sup> km

$$Kf = \frac{1,044}{1,09^2} \cong 0,88$$

Sendo:

kf próximo ou maior que 1 (indica que a bacia é arredondada ou circular).

kf < 1 (a bacia tem forma mais alongada).

Quanto menor o kf, mais comprida é a bacia sendo menos sujeita a picos de enchente, pois o tempo de concentração (Tc) é maior.

Onde:

(1,00 – 0,75) para sujeito a enchentes;

(0,75 – 0,50) para tendência mediana;

(< 0,50) não sujeito a enchentes.

**APÊNDICE B – Cálculo do coeficiente de compacidade**

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo:

$K_c$  = Coeficiente de compacidade (adimensional)

$P$  = Perímetro (m ou km) = 4,16 km

$A$  = Área (m<sup>2</sup> ou km<sup>2</sup>) = 1,044km<sup>2</sup>

$$K_c = 0,28 \times \frac{4,16}{\sqrt{1,044}} \cong 1,40$$

Onde:

$K_c$ : 1,00–1,25: bacia com alta propensão a grandes enchentes (Bacia arredondada);

$K_c$ : 1,25–1,50: bacia com tendência mediana a grandes enchentes (Bacia elíptica);

$K_c > 1,50$ : bacia não sujeita a grandes enchentes. (Bacia radial ou ramificada).

**APÊNDICE C – Cálculo do índice de circularidade**

$$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$$

Sendo:

Ic = Índice de circularidade (adimensional)

A = Área (m<sup>2</sup> ou km<sup>2</sup>) = 1,044 km<sup>2</sup>

P = Perímetro (m ou km) = 4,16 km

$$Ic = 12,57 \times \frac{1,044}{4,16^2} \cong 0,76$$

O Índice de circularidade (IC) relaciona o perímetro de uma bacia (P) com a área de um círculo de perímetro equivalente (A). Quanto mais próximo da unidade for o valor encontrado, mais a bacia se aproximará da forma circular e mais propensa será a enchentes.

### APÊNDICE D – Cálculo do tempo de concentração

$$T_c = \frac{5,474 \times (n \times L)^{0,8}}{P_{24}^{0,5} \times S^{0,4}}$$

Sendo:

$T_c$  = tempo de concentração (min);

$n$  = coeficiente de rugosidade de Manning (conforme a tabela) = 0,011

$L$  = comprimento do escoamento (m) = 1090,42 m

$P_{24}$  = precipitação com 24h de duração (mm) = (3,62 X 24h) = 86,96mm

$S$  = declividade (m/m) = 0,06 m/m

$$T_c = \frac{5,474 \times (0,011 \times 1090,42)^{0,8}}{86,96^{0,5} \times 0,06^{0,4}} \cong 13,20 \text{ min}$$

Para a Precipitação de 24h ( $P_{24}$ ), usou-se a IDF de 1440 minutos com 5 anos de retorno, sendo 3,62 mm/h e então multiplicado por 24h, resultando em 86,96mm.

Curva IDF (tempo retorno 5 anos)							
Coeficientes Regionais				Dados de Chuva			I (mm/h)
K	a	b	C	t (min)	t (horas)	TR (anos)	
3000	0,173	23,965	0,96	5	0,08	5	156,5469
3000	0,173	23,965	0,96	10	0,17	5	134,3546
3000	0,173	23,965	0,96	15	0,25	5	117,7593
3000	0,173	23,965	0,96	25	0,42	5	94,5698
3000	0,173	23,965	0,96	30	0,50	5	86,1420
3000	0,173	23,965	0,96	60	1,00	5	56,3519
3000	0,173	23,965	0,96	120	2,00	5	33,5827
3000	0,173	23,965	0,96	240	4,00	5	18,7654
3000	0,173	23,965	0,96	480	8,00	5	10,0864
3000	0,173	23,965	0,96	960	16,00	5	5,3061
3000	0,173	23,965	0,96	1440	24,00	5	3,6254

### APÊNDICE E – Cálculo da declividade equivalente

Trecho	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Diferença de cota (m)	Comprimento (Li) (m)	Declividade local (Di)
A-B	704	718	14	366,22	0,038222
B-C	718	726	8	254,68	0,031412
C-D	726	752	26	173,31	0,15002
D-E	752	783	31	190,44	0,16278
E-F	783	809	26	105,77	0,245816
Comprimento total (m)			1090,42		
Declividade equivalente (m x m)			0,060238		

$$Leq = \left( \frac{L}{\sum \left( \frac{Li}{\sqrt{Di}} \right)} \right)^2$$

Sendo:

$L_{eq}$  = Declividade equivalente (m/m);

L = Comprimento total (m);

$L_i$  = Comprimento entre as cotas (m);

$D_i$  = Declividade por trecho(m/m).

$$Leq = \left( \frac{L}{\sum \left( \frac{LiAB}{\sqrt{DiAB}} + \frac{LiBC}{\sqrt{DiBC}} + \frac{LiCD}{\sqrt{DiCD}} + \frac{LiDE}{\sqrt{DiDE}} + \frac{LiEF}{\sqrt{DiEF}} \right)} \right)^2$$

$$D_i = \frac{D_c}{L_i}$$

Sendo:

$D_i$  = Declividade por trecho (m/m);

Dc = Diferença de cota por trecho (m);

Li = Comprimento entre as cotas (m);

$$\text{Leq} = \left( \frac{1090,42}{\sum \left( \frac{366,22}{\sqrt{0,038}} + \frac{254,68}{\sqrt{0,031}} + \frac{173,31}{\sqrt{0,150}} + \frac{190,44}{\sqrt{0,162}} + \frac{105,77}{\sqrt{0,245}} \right)} \right)^2$$

$$\text{Leq} = \left( \frac{1090,42}{\sum (1873,049 + 1436,969 + 447,454 + 472,015 + 213,332)} \right)^2$$

$$\text{Leq} = \left( \frac{1090,42}{4442,82} \right)^2$$

$$\text{Leq} \cong 0,06 \text{ m/m}$$

**APÊNDICE F – Cálculo da vazão da área de contribuição para o cenário atual  
(sem SUDS)**

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \times \varphi$$

Sendo:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de Runoff (adimensional) = 0,75

I = Intensidade pluviométrica (mm/h) = 123,22 mm/h

A = Área (km<sup>2</sup>) = 1,044 km<sup>2</sup>

$\varphi$  = Coeficiente de retardo (adimensional) = 0,46

$$Q = 0,278 \times 0,75 \times 123,22 \times 1,044 \times 0,46$$

$$Q \cong 12,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para intensidade pluviométrica:

$$i = \frac{k \times Tr^a}{(t + b)^c}$$

Sendo:

I = Intensidade pluviométrica (mm/h)

K = 3000

a = 0,173

b = 23,965

c = 0,96

TR = 5 anos

t = tempo de concentração (min) = 13,20 minutos

$$i = \frac{3000 \times 5^{0,173}}{(13,2 + 23,965)^{0,96}} \cong 123,22 \text{ mm/h}$$

Para o Coeficiente de retardo:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[N]{100A}}$$

Sendo:

$\varphi$  = Coeficiente de retardo;

N = Coeficiente referente à declividade = 6

A = Área (km<sup>2</sup>) = 1,044km<sup>2</sup>

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[6]{100 \times 1,044}} \cong 0,46$$

**APÊNDICE G – Cálculo da vazão de pré-desenvolvimento e o volume necessário para armazenamento considerando a área de 200 m<sup>2</sup>**

$$Q_{pd} = 0,0266 \times A$$

Sendo:

$Q_{pd}$  = vazão de pré-desenvolvimento (m<sup>3</sup>/s);

A = área do lote ou loteamento (ha) = 0,02 ha

$$Q_{pd} = 0,0266 \times 0,02 \cong 0,000532 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 523 \times AI$$

Sendo:

V = volume necessário para armazenamento (m<sup>3</sup>);

AI = toda a área impermeável que drena a precipitação para a rede pluvial (ha) = 0,02 ha

$$V = 523 \times 0,02 \cong 10,43 \text{ m}^3$$

**APÊNDICE H – Cálculo da vazão de pré-desenvolvimento e o volume necessário para armazenamento considerando a área de 1000 m<sup>2</sup>**

$$Q_{pd} = 0,0266 \times A$$

Sendo:

$Q_{pd}$  = vazão de pré-desenvolvimento (m<sup>3</sup>/s);

A = área do lote ou loteamento (ha) = 0,1 ha

$$Q_{pd} = 0,0266 \times 0,1 \cong 0,00266 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 523 \times AI$$

Sendo:

V = volume necessário para armazenamento (m<sup>3</sup>);

AI = toda a área impermeável que drena a precipitação para a rede pluvial (ha) = 0,1 ha

$$V = 523 \times 0,1 \cong 52,3 \text{ m}^3$$

**APÊNDICE I – Cálculo do modelo do telhado verde (reservatório)**

$$TV = A \times H \times Iv$$

Sendo:

A = Área do telhado verde (m<sup>2</sup>) = 200 m<sup>2</sup>

H = Altura do reservatório (m) = 0,2m

Iv = Índice de vazios = 40%

$$TV = 200 \times 0,2 \times 0,4 \cong 16\text{m}^3$$

## APÊNDICE J – Cálculo do modelo do microrreservatório (altura)

Sem limitação de altura da tubulação de drenagem pluvial

$$H = \frac{V}{A}$$

Sendo:

H = Altura do reservatório (m);

V = Volume de armazenamento necessário (m<sup>3</sup>) = 52,3 m<sup>3</sup>

A = Área em planta, refere-se à área disponível para implantação da estrutura (arbitrada) = 30m<sup>2</sup>.

$$H = \frac{52,3}{30} \cong 1,75m$$

Havendo limitação de altura da tubulação de drenagem pluvial

$$A = \frac{V}{H}$$

Sendo:

A = Área em planta, refere-se à área para implantação da estrutura (m<sup>2</sup>)

H = Altura do reservatório de acordo com a tubulação (m) = 1,75m

V = Volume de armazenamento necessário (m<sup>3</sup>) = 52,3 m<sup>3</sup>

$$A = \frac{52,3}{1,75} \cong 30m^2$$

## APÊNDICE L – Cálculo do modelo do pavimento permeável

- 1) Corrigir o coeficiente de infiltração  $q$ , dividindo o valor achado nos testes de campo pelo fator de segurança apropriado (tabelado).

$$q_c = \frac{q}{f}$$

Sendo:

$q_c$  = Coeficiente de infiltração corrigido

$q$  = Coeficiente de infiltração obtido nos testes de solo = 0,001

$f$  = Fator de segurança (tabelado) = 3

$$q_c = \frac{0,001}{3} = 0,0003$$

- 2) Definir a porosidade efetiva do material de preenchimento granular ou estimar o valor tabelado (cascalho de granulometria uniforme = 40%)
- 3) Calcular a razão de drenagem  $R = A/Ab$ , onde  $A$  é a área a ser drenada e  $Ab$  a área da base da superfície de infiltração;

$$R = \frac{A}{Ab}$$

Sendo:

$R$  = Razão de drenagem

$A$  = Área drenada = 1000 m<sup>2</sup>

$Ab$  = Área drenante (arbitrado) = 200 m<sup>2</sup>

$$R = \frac{1000}{200} = 5$$

- 4) Calcular a intensidade de chuva  $i$ , função da IDF adotada, da duração  $t$  (teste tempos diferentes) e do tempo de retorno  $TR$  (estruturas de controle na fonte  $TR=10$  anos);

$$i = \frac{k \times Tr^a}{(t + b)^c}$$

Sendo:

$i$  = Intensidade pluviométrica (mm/h)

$K = 3000$

$a = 0,173$

$b = 23,965$

$c = 0,96$

$TR = 10$  anos

$t$  = tempo de concentração (min) = 15minutos, 30minutos e 60 minutos.

$$i = \frac{3000 \times 10^{0,173}}{(15 + 23,965)^{0,96}} = 132,76 \text{mm/h}$$

$$i = \frac{3000 \times 10^{0,173}}{(30 + 23,965)^{0,96}} = 97,11 \text{mm/h}$$

$$i = \frac{3000 \times 10^{0,173}}{(60 + 23,965)^{0,96}} = 63,53 \text{mm/h}$$

- 5) Calcular a altura máxima para as três durações e selecionar o maior valor, sendo para esse cálculo a intensidade pluviométrica transformada em m/h e o tempo em horas.

mm/h	m/h	Minutos	Horas
132,76	0,13	15	0,25
97,11	0,09	30	0,5
63,53	0,06	60	1

$$h_{\text{máx}} = \left(\frac{t}{\emptyset}\right) \times (R \times I - q)$$

Sendo:

$h_{\text{máx}}$  = Altura máxima do pavimento (m);

$t$  = tempo (h) (testados com os mesmos 3 tempos utilizados no IDF);

$\emptyset$  = Porosidade efetiva do material de preenchimento = 0,4

$R$  = Razão de drenagem = 5

$I$  = Intensidade de chuva (m/h) testados com os mesmos 3 tempos utilizados no IDF.

$q$  = Coeficiente de infiltração = 0,0003

$$h_{\text{máx } 15 \text{ min}} = \left(\frac{0,25}{0,4}\right) \times (5 \times 0,13 - 0,0003) \cong 0,40m$$

$$h_{\text{máx } 30 \text{ min}} = \left(\frac{0,5}{0,4}\right) \times (5 \times 0,09 - 0,0003) \cong 0,56m$$

$$h_{\text{máx } 60 \text{ min}} = \left(\frac{1}{0,4}\right) \times (5 \times 0,06 - 0,0003) \cong 0,75m$$

A profundidade do pavimento será de 0,75m. Sendo dimensionado com os parâmetros para infiltração total no solo, podendo ser alterado para o modelo de infiltração parcial, o que minimizaria possíveis transtornos gerados por um volume maior de precipitação.

**APÊNDICE M – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (100 telhados verdes)**

Redução gerada pelos 100 Telhados Verdes		
Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada pelos Telhados Verdes	0,02	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	1,02	km <sup>2</sup>
Nova vazão	12,09	m <sup>3</sup> /s
Redução	-2,10	%

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \times \varphi$$

Sendo:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de Runoff (adimensional) = 0,75

I = Intensidade pluviométrica (mm/h) = 123,22 mm/h

A = Área (km<sup>2</sup>) = 1,02 km<sup>2</sup>

φ = Coeficiente de retardo (adimensional) = 0,46

$$Q = 0,278 \times 0,75 \times 123,22 \times 1,02 \times 0,46$$

$$Q \cong 12,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{\text{Nova vazão}}{\text{Vazão Sem SUDS}} \times 100 \right) - 100$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{12,09}{12,35} \times 100 \right) - 100 \Rightarrow \cong 2,10\%$$

**APÊNDICE N – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (100 microrreservatórios)**

Redução gerada pelos 100 Micros reservatórios		
Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada pelos Microrreservatórios	0,1	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	0,94	km <sup>2</sup>
Nova vazão	11,15	m <sup>3</sup> /s
Redução	-9,75	%

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \times \varphi$$

Sendo:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de Runoff (adimensional) = 0,75

I = Intensidade pluviométrica (mm/h) = 123,22 mm/h

A = Área (km<sup>2</sup>) = 0,94 km<sup>2</sup>

φ = Coeficiente de retardo (adimensional) = 0,46

$$Q = 0,278 \times 0,75 \times 123,22 \times 0,94 \times 0,46$$

$$Q \cong 11,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{\text{Nova vazão}}{\text{Vazão Sem SUDS}} \times 100 \right) - 100$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{11,15}{12,35} \times 100 \right) - 100 \Rightarrow \cong 9,75\%$$

**APÊNDICE O – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (100 pavimentos permeáveis)**

Redução gerada pelos 100 Pavimentos Permeáveis		
Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada pelos Pavimentos permeáveis	0,1	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	0,94	km <sup>2</sup>
Nova vazão	11,15	m <sup>3</sup> /s
Redução	-9,75	%

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \times \varphi$$

Sendo:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de Runoff (adimensional) = 0,75

I = Intensidade pluviométrica (mm/h) = 123,22 mm/h

A = Área (km<sup>2</sup>) = 0,94 km<sup>2</sup>

$\varphi$  = Coeficiente de retardo (adimensional) = 0,46

$$Q = 0,278 \times 0,75 \times 123,22 \times 0,94 \times 0,46$$

$$Q \cong 11,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{\text{Nova vazão}}{\text{Vazão Sem SUDS}} \times 100 \right) - 100$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{11,15}{12,35} \times 100 \right) - 100 \Rightarrow \cong 9,75\%$$

**APÊNDICE P – Cálculo representativo da adoção dos SUDS na vazão da área de contribuição (todos simultaneamente)**

Redução gerada pelos 100 Telhados Verdes, 100 Microrreservatórios e 100 Pavimentos Permeáveis.
--

Área total sem SUDS	1,04	km <sup>2</sup>
Vazão total sem SUDS	12,35	m <sup>3</sup> /s
Área anulada por todos os SUDS	0,22	km <sup>2</sup>
Nova área reduzida	0,82	km <sup>2</sup>
Nova vazão	9,73	m <sup>3</sup> /s
Redução	-21,23	%

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \times \varphi$$

Sendo:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de Runoff (adimensional) = 0,75

I = Intensidade pluviométrica (mm/h) = 123,22 mm/h

A = Área (km<sup>2</sup>) = 0,82 km<sup>2</sup>

φ = Coeficiente de retardo (adimensional) = 0,46

$$Q = 0,278 \times 0,75 \times 123,22 \times 0,82 \times 0,46$$

$$Q \cong 9,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{\text{Nova vazão}}{\text{Vazão Sem SUDS}} \times 100 \right) - 100$$

$$\text{Redução} = \left( \frac{9,73}{12,35} \times 100 \right) - 100 \Rightarrow \cong 21,23\%$$