



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL  
FACULDADE DE ARQUITETURA**

**MÉTODO DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BAIXO IMPACTO (LID) NO  
CONTROLE DOS ALAGAMENTOS URBANOS: O CASO DA SUB-BACIA DO  
ARROIO DILÚVIO, RS**

**SARA DESIREE MAROSTICA**

**Porto Alegre  
2023**

**SARA DESIREE MAROSTICA**

**MÉTODO DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BAIXO IMPACTO (LID) NO  
CONTROLE DOS ALAGAMENTOS URBANOS: O CASO DA SUB-BACIA DO  
ARROIO DILÚVIO, RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura. Linha de Pesquisa: Infraestrutura e Planejamento Urbano e Ambiental.

**Orientador:**

**Dr. André Luiz Lopes da Silveira**

**Porto Alegre**

**2023**

### CIP - Catalogação na Publicação

Marostica, Sara Desiree  
MÉTODO DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BAIXO IMPACTO  
(LID) NO CONTROLE DOS ALAGAMENTOS URBANOS: O CASO DA  
SUB-BACIA DO ARROIO DILÚVIO, RS / Sara Desiree  
Marostica. -- 2023.  
232 f.  
Orientador: André Luiz Lopes da Silveira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa  
de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional,  
Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. desenvolvimento de baixo impacto. 2. LID. 3.  
drenagem urbana. 4. alagamentos urbanos. 5. modelagem  
hídrica. I. Silveira, André Luiz Lopes da, orient.  
II. Título.

**SARA DESIREE MAROSTICA**

**MÉTODO DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BAIXO IMPACTO (LID) NO  
CONTROLE DOS ALAGAMENTOS URBANOS: O CASO DA SUB-BACIA DO  
ARROIO DILÚVIO, RS**

Dissertação de mestrado submetida à Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos exigidos pelo Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR para obtenção do título de mestre em Planejamento Urbano e Regional na área de concentração da Infraestrutura e Planejamento Urbano e Ambiental.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira (PROPUR/UFRGS)**  
**Orientador e Presidente da banca**  
Dr. pela Université de Montpellier II / França

**Profa. Dra. Bárbara Maria Giacom Ribeiro (UFSM)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Brasil

**Prof. Dr. Fernando Dornelles (IPH/UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Brasil

**Profa. Dra. Luciana Inês Gomes Miron (PROPUR/UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Brasil

**Porto Alegre, 12 de Julho de 2023.**

Dedico este trabalho a minha família:  
Oswaldo e Fátima, meus pais;  
Loana, minha irmã;  
e Lucas, meu namorado.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelas oportunidades proporcionadas e ao PROPUR pela receptividade demonstrada durante todo o período do mestrado.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a qual possibilitou a realização desta pesquisa junto ao PROPUR.

Aos funcionários da secretaria do PROPUR, em especial à Mariluz Grando, Paula Fischer e Hamilton Santana sempre atentos no envio dos emails e auxílio aos alunos.

Ao Professor André Luiz Lopes da Silveira, meu orientador, por partilhar de imenso conhecimento na disciplina de ambiente hídrico em que comecei a dar os primeiros passos na área acadêmica da infraestrutura ambiental; agradeço pela amizade e pelo grande aprendizado nas orientações, e principalmente, por acreditar em minha capacidade.

Aos técnicos das municipalidades do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul que participaram desta pesquisa e contribuíram para o seu desenvolvimento.

Aos Professores que contribuíram para minha formação no PROPUR: ao Paulo Edison Belo Reyes, por ter me acolhido e auxiliado no estágio docente, partilhando de conhecimento na disciplina de urbano I; Décio Rigatti, exigente e solícito nas aulas, minha primeira disciplina na UFRGS que tive a oportunidade de iniciar os estudos de introdução à sintaxe espacial; Luciana Inês Gomes Miron, sempre atenciosa, com a qual aprendi sobre a complexidade de grandes projetos urbanos e geração de valor como referencial teórico para construção, na disciplina de projetos: gestão e desenvolvimento; Heleniza Ávila Campos e Cleandro Krause, que me introduziram aos estudos das tramas da política urbana e aos problemas que a cidade opera em termos políticos e sociais; Fábio Lúcio Lopes Zampieri, com a disciplina de geoprocessamento urbano, da qual contribuiu para meu aprendizado em processamento de dados georreferenciados; Antônio Tarcísio da Luz Reis e Márcia Azevedo de Lima, que me possibilitaram aprendizado na área de percepção ambiental, através de debates na disciplina de percepção e análise urbana; e aos demais professores do PROPUR que compartilharam comigo de sua imensa sabedoria.

Aos professores Fernando Dornelles e Luciana Inês Gomes Miron pelas contribuições na fase de qualificação desta dissertação (agosto de 2022).

Aos meus queridos colegas 'propurianos', especialmente: Virgínia Purper, Jennifer Domeneghini, Valéria Borges Yonegura, Giovana Roman, Giovani Longo Rosa, Maria Gomes Seibt, Paulo Lima Loge e Claudio Marcelo Torres Paiva, pela amizade, calma transmitida e trabalhos desenvolvidos ao longo das disciplinas.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

## RESUMO

O processo de urbanização acarretou inúmeras alterações ambientais, modificando o funcionamento do ciclo hidrológico das cidades. Frente a isso, questões urbanas têm sido discutidas buscando solucionar problemas causados pelas chuvas intensas, trazendo como consequências os alagamentos e a diminuição da infiltração de água no solo. Diante da crescente urbanização têm se propiciado técnicas como as utilizadas na América do Norte e Nova Zelândia, denominadas de *Low Impact Development* (LID). Estas técnicas vêm sendo usadas desde 1990, caracterizadas por dispositivos de tratamentos de águas pluviais utilizadas em fontes de escoamento e/ou bacias hidrográficas. Essas ações são aplicadas através de programas de modelagem hídrica de Desenvolvimento de Baixo Impacto buscando alcançar medidas de controle para minimizar áreas impermeáveis, evidenciando os dispositivos de tratamento LID. Através da análise espacial da área, estas práticas podem auxiliar no desenvolvimento de futuros projetos de drenagem urbana e na difusão de resultados avaliados pelas instituições responsáveis atendendo ao potencial tecnológico para construir ambientes mais sustentáveis. Dessa forma, o objetivo desta dissertação é apresentar a metodologia proposta de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle de alagamentos urbanos adaptáveis à escala de municipalidades sul brasileiras. Os conceitos utilizados para esta pesquisa estão relacionados à evolução da gestão das águas urbanas, aos efeitos da urbanização nas cidades, medidas de controle dos alagamentos e as técnicas *Low Impact Development* (LID). A estratégia de pesquisa adotada é a pesquisa construtiva (*constructive research ou design science research - DSR*), que é definida como uma investigação capaz de produzir construções inovadoras, como: modelos, métodos, estruturas organizacionais, projetos de sistemas de informação, ou uma combinação desses. Considerando essa estratégia, a pesquisa foi dividida em quatro etapas. A primeira etapa teve como objetivo delimitar e compreender os atributos conceituais relacionados à pesquisa por meio da revisão sistemática da literatura. A segunda etapa presta-se a realizar uma análise comparativa das técnicas LID com vista da identificação das variáveis de sustentabilidade ambiental por meio de um levantamento documental e a seleção dos dispositivos de baixo impacto para alagamentos urbanos, com o objetivo de alcançar melhorias de acordo com as técnicas LID mapeadas, além disso, nesta etapa foi realizada uma coleta de dados por meio de questionário com técnicos de municipalidades sul-brasileiras. A terceira etapa teve como objetivo a análise do plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre e o estudo documental das bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio. A partir dessa análise foram estabelecidos critérios de seleção para a área de estudo escolhida da bacia hidrográfica. Deste modo, foi estabelecido um esboço do 'processo' e do 'produto' para o desenvolvimento de aplicações LID para o controle dos alagamentos urbanos no caso da sub- bacia do Arroio Dilúvio. A quarta etapa compreendeu a percepção dos técnicos municipais, que foram obtidas por meio da realização de grupo focal, a fim de avaliar os resultados das etapas anteriores e obter contribuições para o refinamento do escopo e das soluções propostas.

**Palavras-chave:** desenvolvimento de baixo impacto; LID; drenagem urbana; alagamentos urbanos; modelagem hídrica.

## ABSTRACT

The urbanization process has brought about numerous environmental changes, modifying the functioning of the cities hydrological cycle. In front of it, urban issues have been discussed seeking to solve problems caused by heavy rains, resulting in flooding and decreased infiltration of water in the soil. However, given the increasing urbanization techniques such as those used in North America and New Zealand, called Low Impact Development (LID) have been provided. These techniques have been used since 1990, characterized by rainwater treatment devices used in runoff sources and/or watersheds. These actions are applied through Low Impact Development water modeling programs seeking to achieve control measures to minimize areas, evidencing LID treatment devices. Through the spatial analysis of the area, these practices can help in the development of future urban drainage projects and in the dissemination of results evaluated by the responsible institutions, taking into account the technological potential to build more sustainable urban environments. Thus, the objective of this dissertation was to propose a method of extensive low impact applications (LID) in urban flood control adaptable to the scale of southern Brazilian municipalities. The concepts used for this research are related to the evolution of urban water management, the effects of urbanization on cities, flood control measures and Low Impact Development (LID) techniques. The research strategy adopted is constructive research (constructive research or design science research - DSR), which is defined as an investigation capable of producing innovative constructions, including: models, methods, organizational structures, information systems projects, or a combination of those. Considering this strategy, the research was divided into four stages. The first step aimed to delimit and understand the conceptual attributes related to research through a systematic literature review. The second stage lends itself to carrying out a comparative analysis of LID techniques in order to identify sustainable variables through a documentary survey and the selection of low-impact devices for urban flooding with the objective of achieving improvements according to the LID techniques mapped in this stage, in addition, a questionnaire survey was carried out with technicians from southern Brazilian municipalities. The third stage aims to analyze the master plan for urban drainage in Porto Alegre and the documentary study of the watersheds of Arroio Dilúvio. From this analysis, criteria were established of the watershed chosen for the study area. From this, an outline of the 'process' and 'product' was established for the development of solutions for the control of urban floods in the case of Arroio Dilúvio sub-basin. The fourth stage comprises the perception of municipal technicians which were obtained through a focus group, in order to evaluate the results of the previous stages and obtain contributions to the refinement of the scope and the proposed solutions.

**Keywords:** low impact development; LID; urban drainage; urban flooding; water modeling.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Estrutura de Revisão (Base de dados consultados). .....	26
Figura 02. Estrutura de Revisão (Pesquisa e Seleção de Dados). .....	27
Figura 03. Estrutura de Revisão Sistemática (Processo de <i>Screening</i> ).....	28
Figura 04. Nº de publicações observadas dos 25 Artigos Pesquisados. ....	29
Figura 05. Delineamento para processo da etapa de síntese.....	33
Figura 06. Mapa Conceitual dos Alagamentos Urbanos.....	34
Figura 07. Inundações acarretando transtornos para locomoção dos usuários em vias urbanas. ....	41
Figura 08. Acúmulo de Resíduos Sólidos gerado pelas enchentes. ....	41
Figura 09. Alagamento em vias de Porto Alegre devido às enchentes urbanas. ....	41
Figura 10. Arroio Dilúvio com o nível da água alto provoca alagamentos nas vias paralelas.....	41
Figura 11. Representação de inundação, enchente e alagamento.....	42
Figura 12. Efeitos da urbanização nas vias de águas pluviais.....	44
Figura 13. Principais Medidas Estruturais e Não Estruturais de Controle de Alagamentos.....	48
Figura 14. Método proposto para condução da pesquisa construtiva.....	57
Figura 15. Metodologia proposta para aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos. ....	59
Figura 16. Delineamento e etapas da pesquisa construtiva.....	60
Figura 17. O Rio Kallang canalizado (2008). ....	80
Figura 18. O Rio Kallang renaturalizado.....	80
Figura 19. Tanner Springs Park, Oregon, Portland com aplicação de LIDs.....	82
Figura 20. Vista aérea do Estádio Olímpico de Beijing. ....	83
Figura 21. Projeto de Retrofit de Edificação Existente.....	86
Figura 22. Desempenho das Técnicas LID identificadas no grupo dos Atributos-Chave.....	90
Figura 23. Detalhe de Telhado Verde intensivo em edifício.....	91
Figura 24. Detalhe de Telhado Verde extensivo em residência.....	91
Figura 25. Detalhe de Concregrama ou Pisograma.....	93
Figura 26. Bloco de concreto vazado em passeios e calçadas.....	93
Figura 27. Paginação de Piso Drenante. ....	93
Figura 28. Piso Drenante em passeio público. ....	93
Figura 29. Teste realizado pela Lafarge Tarmac, na Inglaterra, que mostrou a eficiência do asfalto poroso para absorção rápida da água.....	94
Figura 30. Biovaleta de Infiltração em área pública. ....	95
Figura 31. Biovaleta de Infiltração entre o passeio público e a via de carros.....	95

Figura 32. Valeta de Infiltração em canteiro central.....	95
Figura 33. Modo de funcionamento de uma biovaleta de infiltração. ....	96
Figura 34. Áreas verdes no Central Park em Nova York. ....	97
Figura 35. Áreas verdes em Rua na China.....	97
Figura 36. Jardim de chuva na cidade de Nova York .....	98
Figura 37. Jardim de chuva em rua da cidade do Texas, EUA .....	98
Figura 38. Detalhamento de Jardim de chuva em calçada pública. ....	99
Figura 39. Filtro de Grama em passeio público. ....	100
Figura 40. Filtro de Grama no Parque Mont Royal em Montreal.....	100
Figura 41. Trincheira de Infiltração em jardim.....	101
Figura 42. Trincheira de Infiltração em estacionamento. ....	101
Figura 43. Técnicas LID identificadas para contribuir com os alagamentos urbanos municipais.....	102
Figura 44. Técnicas LIDs e de drenagem convencionais selecionadas para a aplicação de questionário .....	107
Figura 45. Dados demográficos das municipalidades respondentes. ....	109
Figura 46. Perfil dos Participantes da Pesquisa de Questionário. ....	110
Figura 47. Demanda de projetos público-privados de drenagem.....	111
Figura 48. Itens que contribuem para alagamentos urbanos. ....	112
Figura 49. Demanda de projetos sustentáveis no espaço urbano. ....	113
Figura 50. Itens citados para o crescimento sustentável das cidades. ....	114
Figura 51. Análise estatística técnicas LID e de drenagem convencional.....	118
Figura 52. Análise classificatória técnicas LID e convencionais. ....	119
Figura 53. Experiências e conhecimentos sobre gestão sustentável.....	121
Figura 54. Existência de normas e leis para análise sustentável.....	121
Figura 55. Técnicas sustentáveis utilizadas nos municípios.....	122
Figura 56. Programas utilizados pelos respondentes. ....	123
Figura 57. Nível de experiência dos participantes. ....	124
Figura 58. Área de Estudo da pesquisa.....	132
Figura 59. Discretização das 26 Sub-Bacias do Arroio Dilúvio. ....	133
Figura 60. Mapa dos pontos de alagamentos das sub-bacias do Arroio Dilúvio. ....	135
Figura 61. Mapa dos pontos de alagamentos da SB-10 do Arroio Dilúvio. ....	136
Figura 62. SB-10 do Arroio Dilúvio com suas micro-bacias. ....	137
Figura 63. SB-10 do Arroio Dilúvio com a área das microbacias. ....	137
Figura 64. Mapa de Solo. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio.....	139
Figura 65. Mapa de Declividade do Solo. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-	

Bacia 10 do Arroio Dilúvio. ....	142
Figura 66. Mapa de Curvas de Nível. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio. ....	144
Figura 67. Mapa de Cobertura do Solo. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio. ....	146
Figura 68. Estatísticas de Cobertura do Solo na sub-bacia 10. ....	147
Figura 69. Estatísticas Métricas da Paisagem na sub-bacia 10. ....	147
Figura 70. Locais de alagamentos na sub-bacia 10. ....	149
Figura 71. Modelo de consistência das Técnicas LID. ....	155
Figura 72. Cenários de Pré e Pós-desenvolvimento da Sub-bacia 10. ....	160
Figura 73. Resumo dos Resultados da Metodologia Proposta desta dissertação. ....	167
Figura 74. Funcionamento da Interface Programa <i>LID TTT</i> . ....	172

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Extração Final dos 25 Artigos Pesquisados.....	32
Quadro 2. <i>Framework</i> Conceitual de Revisão da Literatura. ....	37
Quadro 3. Framework Síntese.....	55
Quadro 4. Ferramentas de trabalho do método.....	57
Quadro 5. Fases da Etapa A .....	62
Quadro 6. Fases da Etapa B .....	63
Quadro 7. Pesquisa de Questionário – Etapa B .....	64
Quadro 8. Fases da Etapa C .....	67
Quadro 9. Síntese da Pesquisa de Questionário e Grupo Focal .....	73
Quadro 10. Divisão dos grupos (Pesquisa de questionário e grupo focal).....	73
Quadro 11. Agrupamento das Variáveis de Sustentabilidade.....	76
Quadro 12. Performance das Estruturas LID com os Atributos-Chave.....	79
Quadro 13. Síntese do Desempenho das Técnicas LID analisadas. ....	104
Quadro 14. Resumo da Pesquisa de Questionário.....	127
Quadro 15. Características Físicas da Bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio. ....	132
Quadro 16. Condutos de macrodrenagem simulados da Bacia do Arroio Dilúvio.....	134
Quadro 17. Lista Síntese dos Mapas Geoprocessados e suas contribuições. ....	138
Quadro 18. Tipos de Solo para Porto Alegre e Sub-Bacia 10.....	140
Quadro 19. Capacidade de Infiltração para cada um dos grupos hidrológicos. ....	141
Quadro 20. Classificação do Relevo em função das declividades do solo. ....	143
Quadro 21. Diagrama da área de alagamentos na sub-bacia 10.....	150
Quadro 22. Precipitações pluviais para os cenários na sub-bacia 10.....	153
Quadro 23. Proporção eficaz de impermeável para permeável. ....	153
Quadro 24. Métricas para comparação hídrica dos cenários.....	156
Quadro 25. Resultados obtidos pelo <i>LID TTT</i> (relatório dos cenários). ....	158
Quadro 26. Modelagem Técnica com desempenho das combinações LIDs. ....	165
Quadro 27. Resumo Final – Técnicas LID e parâmetros das chuvas.....	170
Quadro 28. Resumo Estrutura Grupo Focal Confirmatório. ....	171
Quadro 29. Análise das contribuições dos autores referenciados e a pesquisa de dissertação.....	180
Quadro 30. Resultados Gerais da Pesquisa.....	185

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior
<b>CEP</b>	Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS
<b>DSR</b>	<i>Construtive Research</i> ou <i>Design Science Research</i>
<b>KM</b>	Símbolo de Quilômetro
<b>LID</b>	<i>Low Impact Development</i>
<b>LID TTT</b>	Software de análises de balanço hídrico e desenvolvimento de modelos adicionais
<b>PDDU</b>	Plano Diretor de Drenagem Urbana
<b>PMPA</b>	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
<b>POA</b>	Porto Alegre
<b>PROPUR</b>	Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional
<b>QGIS</b>	Software livre de Sistema de Informação Geográfica e análise de dados georreferenciados
<b>ROI</b>	<i>“Return on Investment”</i> - Retorno sobre o Investimento
<b>RSL</b>	Revisão Sistemática da Literatura
<b>SB</b>	Sub-Bacia hidrográfica
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>ZOTERO</b>	Software gerenciador de referências e dados bibliográficos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA .....	16
1.2	CONTEXTO DA PESQUISA .....	17
1.3	PROBLEMA DA PESQUISA .....	20
1.4	QUESTÃO DA PESQUISA .....	22
1.5	OBJETIVO .....	22
1.6	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	23
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
<b>2</b>	<b>REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....</b>	<b>25</b>
2.1	MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
2.1.1	Pesquisa e Seleção de Estudos.....	26
2.1.2	Etapa de Síntese .....	29
2.1.3	Resultados de Síntese ( <i>Framework</i> Conceitual).....	32
2.2	TERMOS CONCEITUAIS ENCONTRADOS NA REVISÃO DA LITERATURA .....	37
2.2.1	Evolução da Gestão das Águas Urbanas .....	38
2.2.2	Efeitos da Urbanização nas Cidades .....	40
2.2.3	Medidas de Controle de Alagamentos .....	46
2.2.4	Tecnologias Low Impact Development (LID) .....	50
2.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO .....	54
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>56</b>
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	56
3.2	DELINEAMENTO E ETAPAS DA PESQUISA .....	60
3.2.1	Etapa A – Compreensão da Estratégia de Pesquisa Construtiva .....	62
3.2.2	Etapa B – Desenvolvimento da Pesquisa Construtiva (Análise Teórica).....	63
3.2.3	Etapa C – Desenvolvimento da Pesquisa Construtiva (Análise Espacial).....	66
3.2.4	Etapa D – Avaliação da Pesquisa Construtiva .....	68
3.2.4.1	Avaliação do projeto de pesquisa pela COMPESQ e pelo Comitê de ética da UFRGS (CEP) .....	69
3.2.4.2	Validação coleta de dados desta pesquisa .....	69
<b>4</b>	<b>TÉCNICAS LID PARA CONTROLE DOS ALAGAMENTOS URBANOS .....</b>	<b>75</b>
4.1	DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDADE .....	75
4.2	ANÁLISE DOS ATRIBUTOS-CHAVE E O DESEMPENHO DAS TÉCNICAS LID.....	77
4.2.1	Grupo 1 - escoamento e Drenagem Pluvial para Alagamentos .....	79
4.2.2	Grupo 2 - Qualidade da Água e do Espaço.....	82
4.2.3	Grupo 3 - Desenvolvimento Ambiental / Mudanças Socioambientais .....	84
4.2.4	Grupo 4 - Desempenho das Infraestruturas LID .....	87
4.3	ANÁLISE QUALITATIVA DAS TÉCNICAS LID .....	89
4.3.1	(1) Telhados Verdes.....	90
4.3.2	(2) Pavimentação Permeável .....	92
4.3.3	(3) Sistemas de Biorretenção .....	94
4.3.4	(4) Áreas Verdes e Paisagem .....	97
4.3.5	(5) Jardins de Chuva .....	98
4.3.6	(6) Faixas de Grama e Tiras de Filtro Vegetal.....	99
4.3.7	(7) Trincheiras de Infiltração .....	100

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO .....	101
<b>5 APRECIÇÃO DAS TÉCNICAS LID PELOS TÉCNICOS MUNICIPAIS SUL BRASILEIROS (Grupo Aplicação de Questionário) .....</b>	<b>106</b>
5.1 SELEÇÃO E CONJUNTO DAS TÉCNICAS LID .....	106
5.2 AVALIAÇÃO DAS CIDADES SELECIONADAS E ATUAÇÃO PROFISSIONAL.....	109
5.3 ANÁLISE E RESULTADOS .....	111
5.3.1 Avaliação dos projetos sustentáveis e de drenagem municipais.....	111
5.3.2 Avaliação das Técnicas LID na paisagem urbana .....	114
5.3.3 Conhecimento sobre gestão sustentável e técnicas LID .....	120
5.4 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES DESTE CAPÍTULO .....	125
<b>6 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>131</b>
6.1 SELEÇÃO DA BACIA DO ARROIO DILÚVIO .....	131
6.1.1 Definindo a Análise Espacial da Sub-Bacia (SB10).....	136
6.2 COLEÇÃO E ANÁLISE DE DADOS.....	138
6.3 ANÁLISE ESPACIAL E RESULTADOS DOS MAPAS GEOPROCESSADOS .....	139
6.3.1 Mapa Tipo de Solo.....	139
6.3.2 Mapa Declividade do Solo.....	142
6.3.3 Mapa Topográfico do Terreno .....	144
6.3.4 Mapa de Cobertura e Uso da Terra.....	145
6.3.5 Mapa Alagamentos e Fluxos Existentes .....	148
6.4 MODELAGEM HÍDRICA <i>SOFTWARE LID TTT</i> .....	151
6.4.1 O modelo <i>LID TTT</i> .....	151
6.4.2 Cenários e dados de entrada .....	152
6.4.3 Análise de Métricas para os cenários LID.....	155
6.4.4 Análise e Resultados da Modelagem no <i>Software LID TTT</i> .....	159
6.4.4.1 Teste de Consistência Hídrica <i>LID TTT</i> -Desempenho das Combinações LIDs.....	160
6.5 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES DESTE CAPÍTULO .....	166
<b>7.0 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO COM TÉCNICAS LID (Grupo Focal Confirmatório).....</b>	<b>171</b>
7.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....	171
7.2 GRUPO FOCAL: PERCEPÇÃO DOS TÉCNICOS MUNICIPAIS .....	173
7.2.1 Quanto à utilidade do método pelos técnicos municipais.....	173
7.2.2 Quanto à utilização dos programas de geoprocessamento <i>QGIS</i> e <i>LID TTT</i> .....	173
7.2.3 Quanto ao processo de aplicação do método na prática .....	174
7.2.4 Percepção dos resultados para a transmissão de conhecimento.....	175
7.3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES TÉORICAS DO MÉTODO.....	177
<b>8.0 CONCLUSÕES .....</b>	<b>182</b>
<b>9.0 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>186</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>187</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>202</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>205</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>208</b>
<b>ANEXO 01.....</b>	<b>221</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

O presente capítulo busca apresentar a lógica da estruturação desta dissertação partindo da motivação para a pesquisa, descrevendo contexto, construção do problema, questão de pesquisa, definição de objetivos e delimitações e, por fim, a estrutura do trabalho.

### **1.1 MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA**

A motivação inicial para a proposta desta pesquisa surgiu por meio do envolvimento da pesquisadora em projetos de planejamento urbano em atuação profissional. A conscientização de que vivemos em cidades irrigadas por canais e arroios, em grande parte negligenciada, foi se dando conta com a leitura dos artigos e a produção científica de profissionais que se debruçam sobre a necessidade inadiável de planificar ações preventivas e sustentáveis, onde problemas de drenagem como dos alagamentos urbanos já se encontram instalados em vários pontos da cidade.

A preocupação com a gestão dos arroios como elementos estruturadores do meio urbano e como geradores de recursos hídricos, questões que são debatidas em muitos lugares no mundo, diante da marcha crescente da urbanização e da degradação ambiental, têm propiciado alternativas que não se constituem em soluções definitivas, mas apontam pressupostos norteadores.

Partindo desta premissa, a localidade de Porto Alegre engloba vários canais e arroios em crescente urbanização. O Arroio Dilúvio é um dos cenários mais contrastantes de urbanização no município, devido à sua grande densidade populacional e enorme extensão do arroio, com cerca de 12km (quilômetros), dividindo a cidade de Porto Alegre em duas (Zona Norte e Zona Sul). As urbanizações e os problemas de drenagem urbana que ocorreram ao longo do arroio trouxeram consequências como a diminuição da infiltração de água no solo, alagamentos e degradação ambiental, visto que essas implicações mudaram o visual da área urbana, tornando-se pouco atraente para a cidade e o equilíbrio hidrológico que ocorre entre a água e o meio ambiente.

Nessa perspectiva, é necessário potencializar o município através de seus arroios, de forma sustentável, trazendo abordagens mais abrangentes e flexíveis para os ambientes urbanizados. Deste modo, a presente dissertação apresenta



como tema principal a proposta de um método de aplicação de técnicas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos adaptáveis para as municipalidades sul-brasileiras, com estudo de caso na sub-bacia do Arroio Dilúvio, em Porto Alegre, RS. Nesse contexto, a principal expectativa desta dissertação é trazer contribuições para construção e refinamento de aplicações extensivas relacionadas ao gerenciamento de águas pluviais em arroios urbanos que possam ser utilizados para restaurar e manter o equilíbrio hidrológico e sustentável nas grandes cidades.

## 1.2 CONTEXTO DA PESQUISA

A ocupação urbana resulta em uma série de impactos negativos sobre os recursos hídricos, portanto a ciência do manejo da água no meio urbano surge como resposta, a fim de promover ações para mitigação desses impactos. No Brasil, como o controle das cargas pontuais na drenagem urbana ainda é pouco eficaz, os projetos que atuam em bacias hidrográficas sempre foram mais voltados à questão do controle de efluentes a fim de garantir a melhoria da drenagem urbana na cidade. Dado o aumento da urbanização em todo o mundo e o impacto das águas pluviais urbanas sobre os seres humanos e os ecossistemas aquáticos, a gestão da drenagem urbana é um desafio criticamente importante (Chocat *et al.*, 2001; Fletcher *et al.*, 2013).

Um dos grandes desafios que o sistema de drenagem enfrenta são os grandes alagamentos que ocorrem nas cidades e o controle qualitativo e quantitativo do escoamento superficial das águas. Em sua avaliação, Fletcher *et al.* (2014) cita que a urbanização impacta as propriedades físicas dos solos urbanos, resultando nas mudanças no movimento da água e na capacidade dos solos de atuar como um sumidouro para a poluição transportada pela água. Ademais, nos últimos anos, muitas áreas urbanas sofreram alagamentos frequentes como resultado das mudanças climáticas e da expansão urbana (Jemberie; Melesse, 2021).

À medida que esses problemas gerados pelo escoamento urbano aumentam, as estratégias que utilizam soluções de engenharia construídas, especialmente as redes de canalização impermeáveis e tubulações subterrâneas que enfatizam a rápida remoção do escoamento das cidades para proteger os cidadãos, acabam por tornar-se o padrão convencional de gestão de águas pluviais (Karvonen, 2011; Roy

*et al.*, 2008). Além disso, frente à urbanização das bacias hidrográficas em países em desenvolvimento, o fenômeno da urbanização segundo Silveira (2002), gera impermeabilização da superfície, a qual impede infiltração das águas pluviais no solo produzindo mais água para a drenagem. Esses problemas constituem grandes calamidades a que a população brasileira tem estado sujeita e acontece como resultado da ocupação inadequada dos leitos dos arroios e urbanizações das cidades (Tucci *et al.*, 2000).

Neste sentido, visando obter um maior entendimento do gerenciamento das águas urbanas, as soluções tradicionais utilizadas pelas gestões municipais têm sido questionadas por muitos estudiosos, por exemplo, Kourtis *et al.* (2017), Silveira (2002b), Tucci (2006) e Zhou (2014), pois carecem de abordagens mais abrangentes e flexíveis e, que incluam a drenagem e a infraestrutura sustentáveis. Como essas estratégias tradicionais se mostraram inadequadas, muitas vezes agravando os problemas existentes, uma abordagem alternativa de gestão de águas urbanas pluviais conhecida como Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) evoluiu na Nova Zelândia e América do Norte, em países como Canadá e Estados Unidos. Refere-se à LID “*Low Impact Development*” - uma estratégia baseada na paisagem para manter e replicar a natureza de locais urbanos com o objetivo de minimizar os impactos do escoamento de águas pluviais e poluição nos ecossistemas das bacias hidrográficas (Roy *et al.*, 2008).

Neste caso, no desenvolvimento dessas tecnologias de baixo impacto, a difusão de seus resultados com as instituições e órgãos responsáveis pelas futuras urbanizações na cidade teria potencial tecnológico para construir ambientes mais sustentáveis. As estratégias da aplicação de tecnologias de baixo impacto ajudam e inovam o setor urbano sustentável empregando uma variedade de medidas e técnicas, incluindo reter, deter, coletar, infiltrar e filtrar o escoamento para gerenciar as águas pluviais o mais próximo possível de sua fonte e considerar as águas pluviais como um recurso, não um produto residual (Coffman, 2002). Existem muitos elementos no *kit* de ferramentas LID, incluindo jardins de chuva, bacias de biorretenção, biovalas, telhados verdes, barris de chuva, pavimentos permeáveis, tampões ribeirinhos e pântanos construídos (*wetlands*). Segundo Liptan e Murase (2002, p.131), “as formas físicas dessas técnicas são quase infinitas”. Essas técnicas podem ser aplicadas a quase todos os tipos de projetos e locais – sejam novos planos de desenvolvimento ou redesenvolvimento, sejam espaços cívicos,

residenciais ou comerciais, e sejam áreas urbanas ou suburbanas nas cidades.

Estudos na área de desenvolvimento de baixo impacto demonstram que as técnicas LID reduzem o risco de alagamentos urbanos ao retardar o escoamento das águas pluviais, proporcionando benefícios térmicos ao reduzir os efeitos das ilhas de calor e fornecer habitat para a vida selvagem (Bates *et al.*, 2013; Berndtsson, 2010). Além disso, são capazes de criar sistemas de áreas úmidas flutuantes (Chua *et al.*, 2012), fornecer células de biorretenção, captação de água da chuva e telhados verdes e, sistemas de pavimentos de concreto permeável (Nemirovsky, 2011). Logo, todas essas práticas citadas têm sido usadas como Técnicas LID (por exemplo, Brown *et al.*, 2013; Jemberie; Melesse, 2021; Palermo *et al.*, 2020; Stovin *et al.*, 2012; Trinh; Chui, 2013; Trowsdale; Simcok, 2011; Tzoulas *et al.*, 2007, Walsh *et al.*, 2014) nas cidades.

A pandemia da COVID-19<sup>1</sup>, que desde fins de 2019 afetou o mundo todo, mudou o uso dos espaços e urbanizações das cidades para trazer melhorias e novas técnicas na área da sustentabilidade. Uma consequência desse processo é que as cidades originadas a partir de expansão urbana descontrolada e não planejada acabaram sendo atingidas por eventos extremos, como os impactos das mudanças climáticas (secas, chuvas intensas e aquecimento global) e fenômenos como a pandemia do coronavírus (Buckeridge; Philippi Jr, 2020). Segundo Michalina *et al.* (2021), a qualidade de vida da população não inclui apenas fornecer melhorias e benefícios de índole material, mas também uma série de outros aspectos como o bem-estar público e as condições ambientais sustentáveis, e essa conscientização será sempre iniciada a partir das urbanizações dos centros urbanos que incumbem como agentes de mudança sustentável.

A partir do exposto, identifica-se a necessidade de compreender a lacuna do conhecimento desta pesquisa que engloba o conteúdo dos problemas relacionados à gestão de águas pluviais e de melhorias no sistema de drenagem urbana dos arroios e da cidade através de novas tecnologias de desenvolvimento de baixo impacto (LID) sob o ponto de vista das instituições e órgãos governamentais envolvidos, para o contexto das municipalidades sul-brasileiras, em específico, para

---

<sup>1</sup> De acordo com a organização Mundial de Saúde “*World Health Organization*” (2023, tradução nossa), a doença de coronavírus (COVID-19) é uma doença infecciosa causada pelo vírus SARS-CoV-2. O vírus pode se espalhar da boca ou nariz de uma pessoa infectada em pequenas partículas líquidas quando tosse, respira, fala, canta ou respira. Disponível em:< [https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1)> Acesso em: 16 jul 2023.

a cidade de Porto Alegre.

### 1.3 PROBLEMA DA PESQUISA

Países que sofrem com alagamentos têm sua principal fonte de intervenções nos corpos d' água, aquelas realizadas nos canais a fim de contê-las, através da realização de obras para o aumento da seção de escoamento do canal. Com o passar dos anos, os investimentos nas áreas urbanas colocaram em evidência as drásticas alterações na estrutura ambiental, entre os casos de alagamentos, conforme mencionam alguns autores (por exemplo, Silveira, 2002a; Tucci, 2006).

Assim, as cidades atravessam um intenso processo de urbanização, no qual o tempo vem determinando novas necessidades diante do contexto ambiental. A intensa degradação de espaços naturais e recursos hídricos destaca a importância da preservação das áreas verdes e seus arroios naturais. Sob esse aspecto, podemos salientar que o planejamento urbano integrado aos recursos hídricos não é uma realidade difundida nas cidades urbanizadas, embora necessária para a compreensão do metabolismo urbano e dos impactos da produção do espaço sobre essas áreas.

O reconhecimento da expansão desordenada nas urbanizações é a primeira etapa necessária para a minimização de impactos ambientais provocadas pela impermeabilização do solo, eliminação de vegetação nativa e alagamentos. A necessidade de técnicas sustentáveis que melhorem o impacto das urbanizações que ocorrem nas cidades tem importância estratégica para a população (Ahiablame *et al.*, 2013; Burton *et al.*, 2018; Vietz *et al.*, 2014a).

Diante do crescimento e degradação ambiental das cidades, a governança e a política atual devem garantir que a legislação brasileira apresente técnicas de manutenção das urbanizações de forma sustentável, por meio de um Plano de águas pluviais e plano de bacias hidrográficas (Ministério das Cidades, 2012). Por outro lado, a falta desses sistemas e técnicas sustentáveis entre os governos e os municípios acarretam diversos problemas para a população e a qualidade de vida urbana.

Para utilizar essas técnicas sustentáveis é importante que se tenha ideia do escopo de projetos da cidade, sua abrangência em termos de produto, bem como seu processo de desenvolvimento junto aos recursos hídricos. Os processos de

projetos ambientais têm seus desafios dentro do Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade que envolve ações de gestão e de planejamento. O planejamento adequado de planos de macrodrenagem é de relevante importância na promoção das melhorias para a população e para uma cidade mais sustentável (por exemplo, Caramori, 2012; Silveira, 2002a; Tucci; Bertoni, 2003). Esta iniciativa de gestão, que deveria vir do poder público, muitas vezes não prospera em termos de projetos, devido à falta de conhecimento dos planejadores e do governo local em diversos países.

No Brasil, a escassez desses planos é notável. No caso de Porto Alegre, apesar do Plano Diretor de Drenagem Urbana planejar várias ações, não existe regramentos específicos que tenham características sustentáveis para o caso do controle de alagamentos urbanos junto aos arroios da cidade e o processo de drenagem pluvial. Logo, as técnicas de baixo impacto (LID) seriam soluções viáveis e mais seguras em longo prazo do que as técnicas tradicionais de drenagem, como, por exemplo, as canalizações dos arroios e os tamponamentos. Dessa forma, as técnicas LID reduziriam os alagamentos e os impactos ambientais (Ahiablame *et al.*, 2013; Palla *et al.*, 2015), alcançando um tratamento integral e de despoluição das águas, combater mudanças climáticas e assim criando um novo símbolo sustentável para as comunidades (por exemplo, Burton *et al.*, 2018; Vietz, *et al.*, 2014a).

Reintegrar as urbanizações que sofreram transformações do espaço natural e provocam aumento da intensidade de alagamentos urbanos são desafios para as cidades brasileiras, bem como resgatar a qualidade ambiental dos arroios que cruzam as áreas urbanas. As novas técnicas a serem utilizadas para controlar a dinâmica pluvial em arroios urbanos podem contribuir de modo decisivo para a construção de uma nova visão urbanística relacionada aos processos de planejamento e gestão através de medidas de controle de drenagem (Villanueva *et al.* 2011; Cohen, 2006), uma vez que isso tem importância estratégica para soluções viáveis e mais seguras em longo prazo para as cidades.

A partir do exposto, identifica-se uma lacuna a ser investigada, representada pela necessidade de compreender a abrangência de todo o conteúdo dos problemas relacionados à gestão de águas pluviais e de melhorias no sistema de drenagem urbana dos arroios e da cidade através de novas tecnologias de desenvolvimento de baixo impacto (LID) sob o ponto de vista das instituições e órgãos governamentais envolvidos, para o contexto das municipalidades sul-brasileiras, em específico, para

a cidade de Porto Alegre. Tais aplicações assumem um papel fundamental no esforço para a melhoria dos alagamentos e problemas relacionados aos arroios urbanos, podendo também auxiliar as instituições envolvidas na avaliação dos resultados e no diagnóstico de erros e acertos frente aos objetivos e ações dos projetos, sendo assim fundamentais para garantir que os benefícios esperados por essas tecnologias de drenagem urbana sejam efetivamente alcançados.

#### **1.4 QUESTÃO DA PESQUISA**

A partir do problema de pesquisa e de seu contexto apresentado no item anterior, foi definida a seguinte questão principal:

Como avaliar a dificuldade das municipalidades do sul do Brasil em utilizar técnicas sustentáveis no gerenciamento dos alagamentos urbanos e na gestão de águas pluviais?

A partir da questão principal, foram propostas as seguintes questões secundárias:

(a) Como melhorar e explicitar a relação dos arroios com a drenagem sustentável das cidades e que possam ser utilizadas nos projetos urbanos?

(b) Como avaliar o desempenho das municipalidades sul-brasileiras pelos técnicos das instituições públicas envolvidas em contraponto as técnicas sustentáveis?

#### **1.5 OBJETIVO**

Apresentar a metodologia proposta para avaliação de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos para melhorias no desenvolvimento da drenagem no contexto das municipalidades sul-brasileiras.

A partir do objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

(a) Analisar e aplicar as ferramentas de modelagem LID no cenário dos alagamentos urbanos, em termos de processo de desenvolvimento e de produto (documento final) apresentado;

(b) Investigar abordagens que possibilitem auxiliar os técnicos municipais envolvidos no processo de gestão e planejamento sustentável dos planos de drenagem urbana através da aplicação e implementação de técnicas LID.

## **1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA**

Esta pesquisa tem algumas delimitações que devem ser consideradas:

A utilização do método proposto no estudo de caso nesta pesquisa será realizada juntamente com os técnicos das municipalidades sul-brasileiras (arquitetos, engenheiros, técnicos especializados) envolvidos no desenvolvimento de recursos hídricos, drenagem urbana e saneamento ambiental. A delimitação da pesquisa adotada refere-se à escala municipal de cidades sul-brasileiras e a participação desses agentes envolvidos na etapa de pesquisa tem como intuito gerar discussões para a melhoria e refinamento da avaliação do método de aplicação de tecnologias de baixo impacto (LID). Assim, apesar de envolver os agentes nas avaliações, esta pesquisa não tem como foco a inserção da avaliação no processo de desenvolvimento de projetos executivos de drenagem urbana pluvial de Porto Alegre conduzido pelas secretarias e departamentos da PMPA, o que envolveria outro nível de complexidade para a investigação.

## **1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A dissertação está estruturada em oito capítulos. O presente capítulo situou o leitor quanto à motivação desta pesquisa, analisando o contexto do problema de pesquisa, assim como sua relevância e as principais lacunas do conhecimento desta pesquisa relacionadas à necessidade de melhorias no desenvolvimento sustentável e aplicações de tecnologias com drenagem de baixo impacto (LID), bem como, para a melhoria dos alagamentos e problemas relacionados aos arroios urbanos. A partir do problema foram definidos as questões e objetivo a serem alcançados. Por fim, foram explicitadas as delimitações que foram consideradas para a realização desta pesquisa.

O capítulo dois apresenta uma revisão sistemática da literatura com a finalidade de entender o contexto geral e os dispositivos de gerenciamento para tratar os alagamentos urbanos nas cidades de forma sustentável. Concomitante à (RSL) Revisão Sistemática da Literatura, também é apresentada neste capítulo de forma detalhada a primeira etapa (Etapa A) da estratégia de pesquisa adotada da dissertação. Neste capítulo é apresentada de uma forma geral a sistematização da revisão sistemática da literatura, assim como as técnicas usadas como a pesquisa e seleção dos estudos. Em seguida na etapa de síntese, são apresentados os estudos

selecionados e a análise realizada através de framework conceitual.

O capítulo três apresenta o método da pesquisa. Neste capítulo, inicialmente é abordada a descrição da estratégia da pesquisa adotada. Posteriormente, o delineamento da pesquisa é apresentado através de três fases representadas a partir da Etapa A - Compreensão; Etapa B e C – Desenvolvimento e Etapa D – Avaliação do método proposto. As referidas etapas foram descritas de forma detalhada com relação às técnicas que serão utilizadas.

O capítulo quatro apresenta uma análise comparativa das técnicas LID com vista da identificação das variáveis de sustentabilidade ambiental por meio de um levantamento documental e a seleção dos dispositivos de baixo impacto para alagamentos urbanos (Etapa B), com o objetivo de alcançar melhorias de acordo com as técnicas LID que serão mapeadas no estudo de caso.

O capítulo cinco apresenta a apreciação das técnicas LID pelos técnicos municipais sul-brasileiros dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul através de pesquisa de questionário. O capítulo refere-se ainda a Etapa B, entretanto foi descrito em capítulo à parte, para melhor detalhamento desta pesquisa.

O capítulo seis tem como objetivo a análise espacial do plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre e o estudo documental das bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio (Etapa C). A partir dessa análise serão estabelecidos critérios de seleção para a área de estudo escolhida da bacia hidrográfica. Deste modo, serão apresentados os resultados da pesquisa e a eficácia do método para o desenvolvimento de aplicações LID para o controle dos alagamentos urbanos adaptáveis a escala das municipalidades sul brasileiras (o caso da sub-bacia do Arroio Dilúvio em Porto Alegre).

O capítulo sete compreende a percepção dos técnicos municipais sul-brasileiros (Etapa D), que serão obtidas por meio da realização de grupo focal, a fim de avaliar os resultados das etapas anteriores e obter contribuições para o refinamento do escopo e das aplicações propostas do estudo de caso.

O capítulo oito apresenta as conclusões e recomendações para futuras pesquisas. Neste capítulo são apresentadas e sintetizadas as principais contribuições da presente pesquisa.



## 2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Revisões sistemáticas da literatura são estudos secundários utilizados para mapear, encontrar, avaliar e consolidar os resultados de estudos primários relevantes acerca de uma questão ou tópico de pesquisa específico, resultando em um relatório coerente ou em uma síntese (Dresch; Lacerda; Antunes Júnior, 2015, p.142). A expressão sistemática significa que a revisão deve seguir um método explícito, planejado, responsável e justificável, assim como nos estudos primários (Ibid., p.142). Dessa forma, a presente pesquisa busca apoiar-se na Revisão Sistemática da Literatura de acordo com a estratégia de pesquisa construtiva ou Design Science Research – DSR, com a finalidade de entender o contexto geral e os dispositivos de gerenciamento para tratar os alagamentos urbanos nas cidades de forma sustentável.

### 2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Concomitante à (RSL) Revisão Sistemática da Literatura, também é apresentada neste item de forma detalhada a primeira etapa da estratégia de pesquisa adotada da dissertação. Assim sendo, inicialmente aborda-se o delineamento da RSL, sua apresentação e esquematização, e por fim, apresenta-se o resultado relacionado à etapa A (compreensão) da pesquisa através da revisão sistemática da literatura. Esta Revisão Sistemática da pesquisa envolve três etapas de revisão: (2.1.1) pesquisa e seleção de estudos da literatura; (2.1.2) etapa de síntese com a análise para avaliar quantitativamente os resultados encontrados de acordo com o recorte temporal da pesquisa de 2002-2022 e a seleção dos 25 artigos de periódicos que foram considerados relevantes para uso na pesquisa; e (2.1.3) resultados de síntese da revisão qualitativa da literatura através de um *Framework*<sup>2</sup> Conceitual que busca estruturar os conceitos desta pesquisa.

Na metodologia da “Design Science Research”, um *framework* conceitual possibilita organizar e explicar, de maneira gráfica ou textual, “[...] os aspectos principais a serem estudados – seus fatores-chaves, conceitos ou constructos – e suas possíveis relações” (Miles; Huberman; Saldaña, 2013). Partindo desta

---

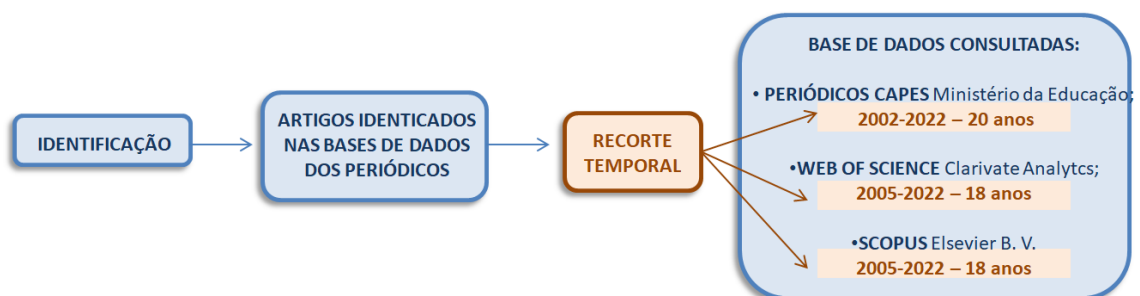
<sup>2</sup> De acordo com o dicionário Oxford (STEEL, 2000, tradução nossa), a palavra *framework* pode ser definida como “[...] uma estrutura básica que dá forma e suporte a algo [...]”, ou ainda “[...] um sistema de regras ou ideias que apoiam a tomada de decisão”. Na literatura, observa-se que suas definições e aplicações variam de acordo com os campos do conhecimento.

premissa, para o desenvolvimento desta pesquisa será adotada esta definição para a criação do framework conceitual, conforme citado por Miles, Huberman e Saldaña (2013).

### 2.1.1 Pesquisa e Seleção de Estudos

Para pesquisar e selecionar a literatura de forma abrangente e extensiva, um ponto de entrada de pesquisa foi estabelecido, juntamente com a determinação de quais fatores afetam os alagamentos urbanos e quais técnicas são adotadas para minimizar os riscos de estragos e danos na urbanização e na drenagem pluvial das cidades. Partindo desta premissa, as identificações dos artigos consultados foram através das bases de dados: Periódicos CAPES (Ministério da Educação); *Web of Science* (Clarivate Analytics) e *Scopus* (Elsevier B. V.), selecionados com recorte temporal de 20 anos (2002 a 2022).

O recorte temporal dos anos escolhidos para a base de dados foi definido de acordo com as possibilidades de encontrar estudos que abordassem o tratamento dos alagamentos urbanos nas cidades de forma sustentável por meio de dispositivos de desenvolvimento de baixo impacto. Em decorrência desta definição para a busca da literatura, na base de dados Periódicos CAPES foi delimitado o recorte temporal de 2002-2022, e nas bases de dados Web of Science e Scopus foram delimitados os anos de 2005-2022, não tendo sido possível recorte temporal menor, devido ao baixo volume de dados identificados em anos anteriores conforme Figura 01.



**Figura 01. Estrutura de Revisão (Base de dados consultados).**

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Após a seleção das bases de dados foram selecionadas as palavras-chave de busca para encontrar estudos relacionados à pesquisa. Desta maneira, foram utilizados quatro termos de palavras-chave em português-inglês: “*URBAN FLOOD - ENCHENTE URBANA*” e/and “*LOW IMPACT DEVELOPMENT -*

DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO”, “LID TOOLS – FERRAMENTAS LID” e/and “URBAN DRAINAGE – DRENAGEM URBANA”, conforme Figura 02. Os resultados encontrados na base de dados Periódicos CAPES foram de 2.125 resultados, *Web of Science* com 4.792 resultados e *Scopus* com 542 resultados disponíveis. Devido ao alto volume de dados identificados, foi necessário aplicar filtros de refinamento de pesquisa para que a busca ocorresse com o volume de resultados esperados. Empregando filtros de seleção disponíveis nas bases de dados como “Runoff” - escoamento, “Water Resources” – Recursos Hídricos, “Environmental Science” – Ciências Ambientais e “Stormwater management” – Gerenciamento de Águas Pluviais, foram obtidos volume de dados menores para a pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE INGLÊS / PORTUGUÊS	BASE DE DADOS			
	BASE	PERIÓDICO CAPES	WEB OF SCIENCE	SCOPUS
URBAN FLOOD- ENCHENTE URBANA AND/E LOW IMPACT DEVELOPMENT- DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO	RESULTADOS	2.125 Resultados De 2002 a 2022 – ING / PT	4.792 Resultados De 2005 a 2022 – ING / PT	542 Resultados De 2005 a 2022 – ING / PT
	FILTROS DE SELEÇÃO	“Runoff” AND “Water Resources”	“Water Resources”	“Environmental Science”
	RESULTADOS	<b>402 Resultados</b>	<b>546 Resultados</b>	<b>403 Resultados</b>
LID TOOLS – FERRAMENTAS LID AND/E URBAN DRAINAGE – DRENAGEM URBANA	RESULTADOS	824 Resultados De 2002 a 2022 – ING / PT	36 Resultados De 2005 a 2022 – ING / PT	43 Resultados De 2005 a 2022 – ING / PT
	FILTROS DE SELEÇÃO	“Stormwater management” AND “Water Resources”	“Water Resources”	“Environmental Science”
	RESULTADOS	<b>256 Resultados</b>	<b>20 Resultados</b>	<b>36 Resultados</b>
		T = 658 Resultados	T = 566 Resultados	T = 439 Resultados
	TOTAL	<b>1.663 Resultados Relacionados Disponíveis</b>		

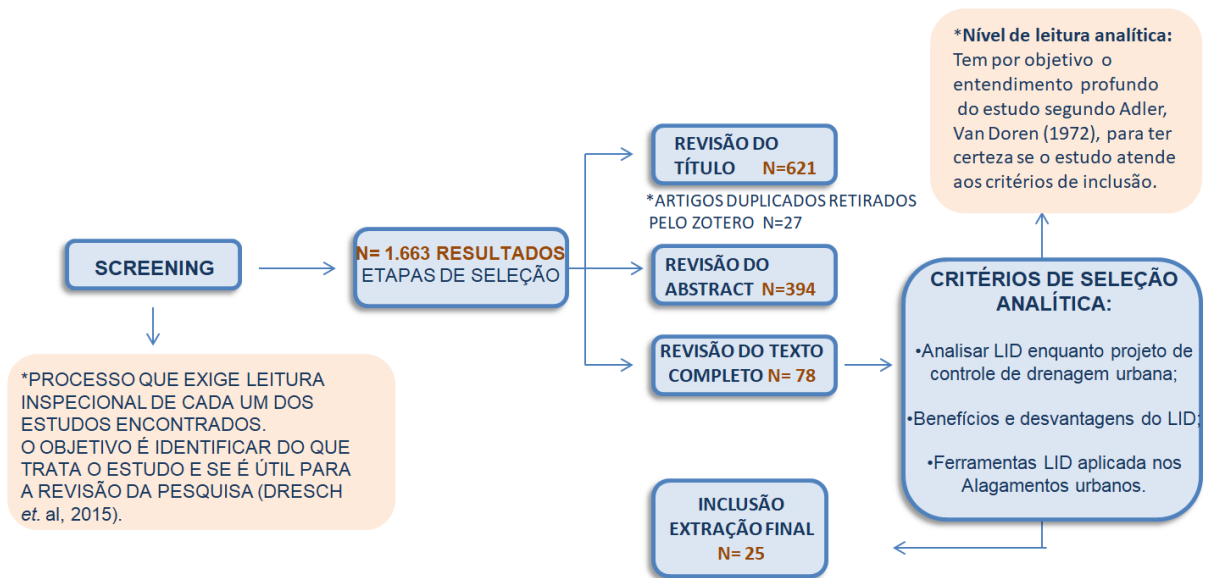
**Figura 02. Estrutura de Revisão (Pesquisa e Seleção de Dados).**

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nesta triagem, na base de dados do Periódicos CAPES totalizaram 658 resultados, *Web of Science* totalizaram 566 resultados e *Scopus* totalizaram 439 resultados; na soma total das bases de dados totalizaram 1.663 resultados relacionados disponíveis.

Depois de aplicar os termos de busca nas fontes selecionadas, um conjunto de estudos foi selecionado para posterior utilização. O elevado número de documentos constituiu por um processo de avaliação que procurou identificar estudos relevantes; chamado de *screening*, esse processo exigiu uma leitura inspeccional de cada um dos estudos encontrados (Figura 03). O objetivo foi

identificar do que trata o estudo e decidir se será útil para auxiliar a responder o problema da pesquisa (Dresch *et al.*, 2015).



**Figura 03. Estrutura de Revisão Sistemática (Processo de Screening).**

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em um primeiro momento, foi lida a Revisão dos Títulos dos artigos selecionando 621 resultados. Nesse caso, encontrou-se a duplicidade de 27 documentos no gestor bibliográfico *Zotero*, uma vez que três bases de dados foram pesquisadas. Após isso, foi realizada a Revisão dos Resumos “*Abstract*” dos artigos, a fim de verificar sua relevância para a revisão, selecionando 394 resultados.

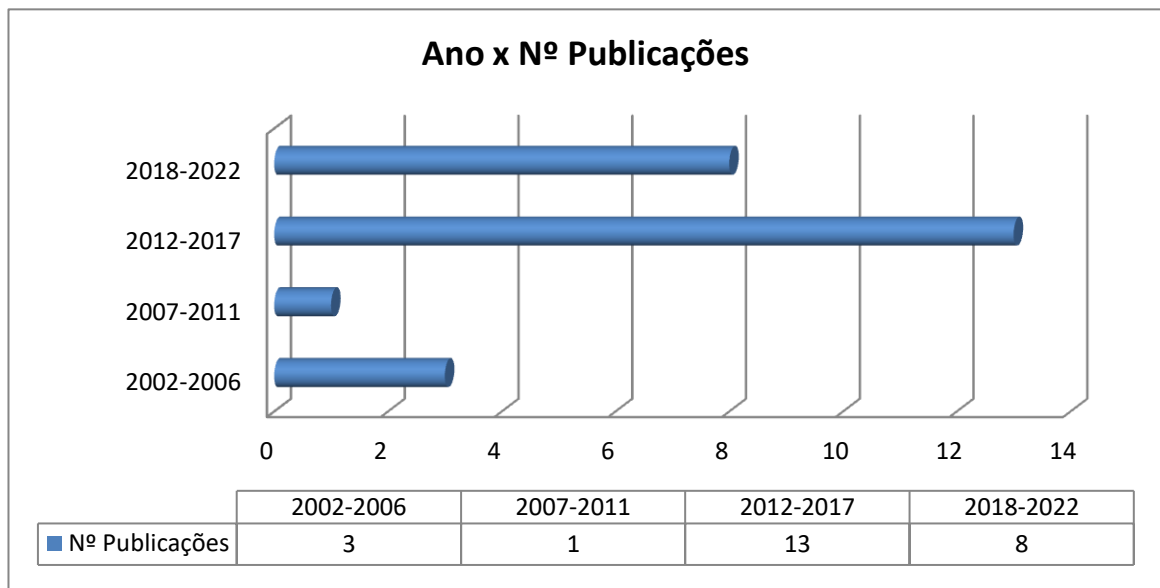
Após as duas primeiras fases, os 78 estudos encontrados na Revisão do Texto Completo dos resultados foram analisados em profundidade, por serem potencialmente relevantes para a pesquisa. Esse nível de leitura, chamado analítico, tem por objetivo o entendimento profundo do estudo (Adler; Van Doren, 1972), para ter certeza que ele atende aos critérios de inclusão (Dresch *et al.*, 2015). Dessa forma, os critérios de análise para que fossem considerados relevantes estes resultados levaram em consideração três fatores: (a) análise de baixo impacto enquanto projeto de controle de drenagem urbana; (b) benefícios e desvantagens do LID e, (c) ferramentas de desenvolvimento de baixo impacto aplicado para os alagamentos urbanos.

Alguns estudos precisaram ser excluídos por não ser possível o acesso aos textos completos devido às limitações em bancos de dados científicos com versões pagas e restritivas, tais obstáculos integram-se as limitações da RSL. Por outro lado,

os 25 estudos que foram considerados relevantes para a revisão (extração final), foram arquivados para uso na etapa de síntese (Brunton; Thomas, 2012).

### 2.1.2 Etapa de Síntese

O processo de síntese pressupõe a combinação dos resultados, a fim de gerar um novo conhecimento (Dresch *et al.*, 2015). Nesta fase ocorre a relação entre os textos (Adler; Van Doren, 1972), além de uma listagem dos resultados encontrados. O ponto de partida dessa etapa foi à organização dos dados selecionados através da revisão sistemática da literatura seguida pelo ano e local da publicação. Dessa forma, foi analisada a frequência dos anos de publicação ao longo do recorte temporal de 2002-2022. Os 25 artigos selecionados conforme mostrado na Figura 04, aparece no gráfico relacionando o ano das publicações e a frequência das pesquisas na área sobre gerenciamento de drenagem e seus dispositivos para amenizar os alagamentos urbanos.



**Figura 04. Nº de publicações observadas dos 25 Artigos Pesquisados.**

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No período de 2002-2006 foram encontrados três artigos publicados; no período de 2007-2011, o tema relacionado a alagamentos e drenagem urbana teve uma queda no número de publicações por ano, ficando apenas com um artigo publicado. Com relação ao período de 2012-2017, este se tornou gradualmente o período com mais publicações, com um total de treze artigos e por fim, o período de 2018-2022 com oito artigos selecionados publicados.

Dentre os 25 artigos selecionados, seis resultados foram utilizados de *Grey Literature*, também denominada literatura fugitiva, definida como o que é produzido fora dos canais tradicionais de publicação, anais de congresso, seminários e conferências, boletins informativos, documentos governamentais, discursos, *white papers*<sup>3</sup>, além do que é produzido no meio impresso ou por meio eletrônico, mas que não é controlado por editores comerciais (Kugley *et. al*, 2010). Sendo neste caso pesquisas empíricas realizadas junto a organizações e consulta a especialistas (Dresch *et al.*, 2015), utilizados como fonte de busca de estudos que não tenham sido publicados. A consulta a essas fontes conforme mencionada, é também uma forma de identificar estudos cujos resultados possam contribuir para o problema da pesquisa, que é também de grande interesse.

Deste modo, na extração final dos 25 artigos conforme Quadro 1, identificaram-se (i) o título dos artigos e os autores; (ii) o local de publicação dos artigos selecionados através de artigos e publicações de periódicos, teses de doutorado, publicações de trabalhos acadêmicos, livros e revistas, apostilas de curso e grey literature; e por fim, (iii) foi mencionado o ano da publicação da obra.

Nº.	TÍTULO DO ARTIGO / AUTORES	LOCAL DA PUBLICAÇÃO	ANO
01	<b>The use of low impact development Technologies in the attenuation of flood flows in na urban área: Settat city (Morocco) as a case</b>  Ben-Daoud, A.; Ben-Daoud, M.; Morosanu, M'Rabet, 2022.	ENVIRONMENTAL CHALLENGES	2022
02	<b>Adaptation of urban drainage networks to climate change : A review</b>  Kourtis; Tsihrintzis, 2021.	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	2021
03	<b>Toward sustainable stormwater management: Understanding public appreciation and recognition of urban Low Impact Development (LID) in the San Francisco Bay Area</b>  Darnthamrongkul; Mozingo, 2021.	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	2021
04	<b>The Application of Low Impact Development Facility Chain on Storm Rainfall Control: A Case Study in Shenzhen, China</b>  Zhang; Xu; Liu; Zhou, 2021.	WATER	2021
05	<b>Evaluation of the Impact of Rainfall Inputs on Urban Rainfall Models: A systematic review</b>  Hu; Liu; Yao; Wu; Ma; Jian, 2020.	WATER	2020

<sup>3</sup> Segundo *Oxford Biblical Studies Online* (2022, tradução nossa), a palavra *white papers* pode ser contrastado com a palavra *green papers*, uma publicação destinada a estimular a discussão pública de uma questão, sem comprometer o governo a legislar, ou às linhas que qualquer legislação pode seguir. Disponível em: <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803122318988> Acesso em: 11 set 2022.

06	<b>An Evaluation of Low Impact Development and Residential Basement Flood Risk in the reater Toronto Area</b>  Vrbán, 2019.	UNIVERSITY OF GUELPH, ONTARIO CANADA - THESIS <b>*Grey Literature</b>	2019
07	<b>Effects of LID implementation on Hydrological processes in na Urban Catchment under Consolidation in Brazil</b>  Zanandrea; Silveira, 2018.	ASCE	2018
08	<b>Water Quality Target Assessment Using LID TTT for better SWM Design in Ontario</b>  Auger; Seters; Singh; Antoszek, 2018.	ASCE	2018
09	<b>LID TREATMENT TRAIN TOOL OVERVIEW</b>  Auger, 2017.	Sustainable Technol. Evaluation Program Member of ConservationOntario <b>*Grey Literature</b>	2017
10	<b>DEVELOPMENT OF AN LID AND URBAN WATER BALANCE MODELING TOOL</b>  Auger; Davidson, 2017.	TRIECA 2017 CONFERENCE <b>*Grey Literature</b>	2017
11	<b>Performance and implementation of low impact development – A review</b>  Eckart; McPhee; Bolisetti, 2017.	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	2017
12	<b>Development of a Low Impact Development and Urban Water Balance Modeling Tool</b>  Auger; David; Ho; Sani; Singh; Seters; Davidson; Kennedy; Mackenzie, 2016.	ASCE	2016
13	<b>Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality</b>  Rossmán; Huber, 2016.	EPA United States Environmental Protection Agency – Water Resources <b>*Grey Literature</b>	2016
14	<b>Thinking outside the channel: Challenges and opportunities for protection and restoration of stream morphology in urbanizing catchments</b>  Vietz; Rutherford; Fletcher; Walsh, 2015.	LANDSCAPE AND URBAN PLANNING	2015
15	<b>From Rain Tanks to Catchments: Use of Low-Impact Development To Address Hydrologic Symptoms of the Urban Stream Syndrome</b> Askarizadeh; Rippey; Fletcher; Feldman; Peng; Bowler; Mehring; Winfrey; Vrugt; Aghakouchak; Jiang; Sanders; Levin; Taylor; Grant, 2015.	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY	2015
16	<b>Rehabilitation of concrete canals in urban catchments using low impact development techniques</b>  Palanisamy; Chui, 2015.	JOURNAL OF HYDROLOGY	2015
17	<b>SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage</b>  Fletcher; Shuster; Hunt; Ashley; Butler; Arthur; Trowsdale; Barraud; Semadenidavies; Bertrand-Krajewski; Steen; Mikkelsen; Rivard; Uhl; Dagenais; Viklander, 2014.	URBAN WATER JOURNAL	2014
18	<b>Protection of stream ecosystems from urban stormwater runoff: The multiple benefits of na ecohydrological approach</b> Fletcher, Vietz; Walsh, 2014.	PROGRESS IN PHYSICAL GEOGRAPHY	2014
19	<b>Indicators related to BMP performances: operational monitoring propositions</b>  Cherqui, Granger, Métadier, Fletcher, Barraud, Lalane, Litrico, 2013.	HAL AND OPEN SCIENCE	2013
20	<b>Locating Barriers to and Opportunities for Implement Low Impact Development within a Governance and Policy Framework in Southern Ontario</b>  Assad, 2012.	THESIS UNIVERSITY OF GUELPH, ONTARIO CANADA. <b>*Grey Literature</b>	2012
21	<b>Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos</b>  Agostinho; Poletto, 2012.	HOLOS ENVIRONMENT	2012
22	<b>Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban sotrmwater management: lessons from Australia and the United States</b>  Roy; Wenger; Fletcher; Walsh, Ladson; Shuster; Thurston; Brown, 2008.	ENVIRONMENT MANAGEMENT	2008

23	<b>Gestão de águas Pluviais Urbanas</b> Tucci, 2005.	MINISTÉRIO DAS CIDADES – GLOBAL WATER PARTNERSHIP	2005
24	<b>Inundações Urbanas na América do Sul</b> Tucci; Bertoni, 2003.	LIVRO EDITORA: ABRH	2003
25	<b>Drenagem urbana: aspectos de gestão</b> Silveira, 2002.	APOSTILA DE DRENAGEM IPH <i>*Grey Literature</i>	2002

**Quadro 1. Extração Final dos 25 Artigos Pesquisados.**

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Após a análise dos artigos por meio do número de publicações por ano, os artigos selecionados foram revisados através da revisão do texto completo (extração final), e pela relação com o contexto geral das drenagens urbanas e os dispositivos de gerenciamento para tratar os alagamentos nas cidades através de um *framework* conceitual.

### 2.1.3 Resultados de Síntese (*Framework* Conceitual)

Para os resultados de síntese foi utilizada a apresentação através de um *framework* conceitual que possibilita organizar e explicar, de maneira gráfica ou textual, os aspectos principais a serem estudados – seus fatores-chaves, conceitos ou constructos – e suas possíveis relações (Miles; Huberman; Saldaña, 2013), com a pesquisa estabelecida.

O processo de resultados de síntese pressupõe a combinação dos resultados, a fim de gerar um novo conhecimento. Nessa etapa, os 25 estudos selecionados devem ser alvo de uma leitura sintópica. Neste tipo de leitura comparativa, o pesquisador estará apto a desenvolver uma análise a partir de diversos livros e conteúdos sobre um mesmo assunto (Adler; Van Doren, 1972), buscando estabelecer relações entre os textos revisados, os conceitos e os autores, e diante disso, construir uma opinião original com novas conclusões acerca de um problema. O ponto de partida é a análise e organização dos dados disponíveis dos estudos selecionados. A integração dos dados é a próxima fase, na qual várias técnicas podem ser utilizadas (Dresch; Lacerda; Antunes Jr, 2015).

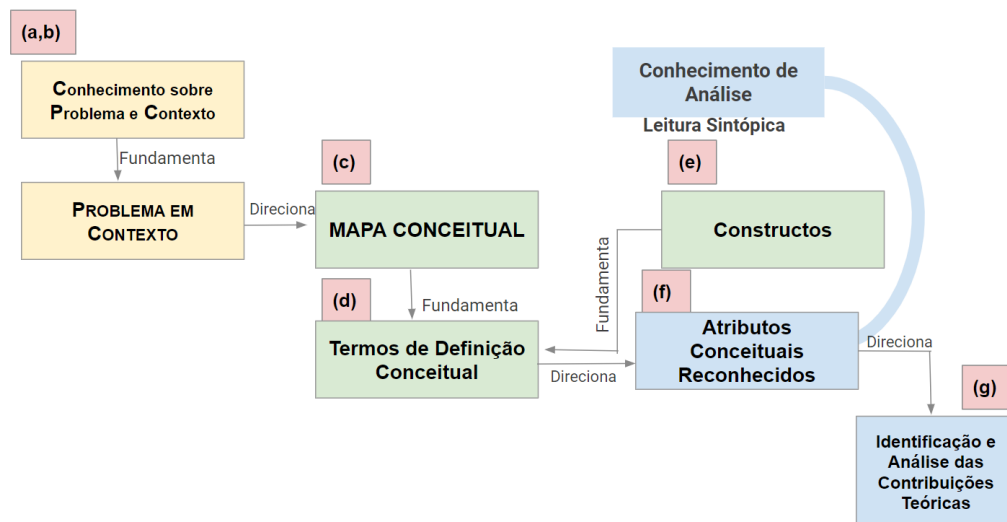
Para o resultado de síntese da pesquisa propõe-se uma abordagem altamente estruturada, que aborda uma composição da síntese de forma bem desenvolvida para a extração dos artigos, com organização e análise dos dados a partir de um *framework* conceitual, assim, o produto final da revisão da literatura pode ser expresso graficamente, de modo a permitir mapear a natureza e a



variedade dos conceitos encontrados (Barnett-Page; Thomas, 2009; Thomas; Harden; Newman, 2012), através de atributos conceituais, identificando as associações com a finalidade de entender o contexto geral e os dispositivos de gerenciamento para tratar os alagamentos urbanos nas cidades de forma sustentável, bem como prover explicações entre os diversos artigos selecionados.

A análise realizada do *framework* conceitual abrangeu os 25 artigos selecionados, que consistiu na leitura e no exame manual de página por página. Essa abordagem deve ser considerada, uma vez que autores citados dos estudos relevantes podem estar incluídos nas principais referências podendo ser útil para pesquisa e também para a localização de outros estudos, utilizando do procedimento chamado de *backward* ou retrospectivo, que consiste em consultar referências bibliográficas do próprio estudo analisado (Brunton, Thomas, 2012).

A Figura 05 apresenta o delineamento para chegar aos resultados de síntese, a qual foi subdividida em passos, sendo estas referentes: (a, b) o qual visa encontrar o problema com potencial entre a contribuição teórica e prática, neste caso, busca entender o contexto e o problema dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras.

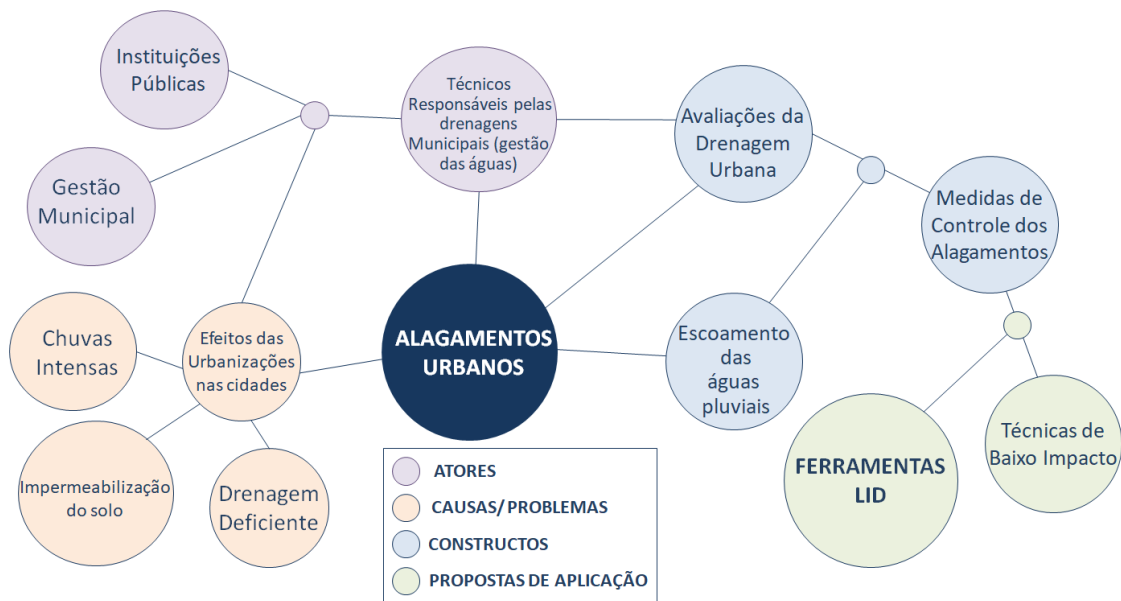


**Figura 05. Delineamento para processo da etapa de síntese.**

Fonte: Elaborada pela autora.

O passo (c) é referente ao Mapa Conceitual que será apresentado conforme Figura 06, que mostra a relação entre o problema dos Alagamentos Urbanos, e sua possível relação entre os conceitos principais permitindo correlacioná-los. A estrutura esquematizada do Mapa Conceitual consiste em analisar as principais causas e problemas relacionados aos alagamentos; juntamente com os atores, que

são os responsáveis pelas drenagens municipais e a gestão das águas e busca-se o refinamento das propostas de aplicação sustentáveis nas cidades; os constructos, que são estabelecidos para compreender o problema real dos alagamentos urbanos nos municípios, e as propostas de aplicação que buscam adotar as técnicas de sustentabilidade ambiental para propor um novo método baseado em técnicas de baixo impacto LID para o controle dos alagamentos urbanos, que serão detalhadas no delineamento das Etapas B e C da pesquisa construtiva.



**Figura 06. Mapa Conceitual dos Alagamentos Urbanos.**

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Ainda conforme Figura 05, os (d) Termos de Definição Conceitual representam as percepções encontradas sobre determinados temas, sendo analisados de acordo com as ideias dos autores dos artigos selecionados. Além disso, para colaborar na fundamentação dos termos de definição, os (e) constructos<sup>4</sup>, representam o modo de compreender a realidade de determinado problema, resultante de experiências de especialistas.

Partindo dos termos de definição conceituais, estes direcionam para o melhor entendimento dos temas através de quatro conceitos que são reconhecidos no

<sup>4</sup> Segundo os autores De Andrade e Pelissaro (2005), a palavra constructo pode ser definida como um conceito ou construção teórica que possui um significado construído intencionalmente a partir de um determinado marco teórico devendo ser definido de tal forma que permita ser delimitado traduzido em proposições particulares observáveis e mensuráveis. Um constructo é uma variável – conjunto de termos, de conceitos e de variáveis –, isto é, uma definição operacional robusta que busca representar empiricamente um conceito dentro de um quadro teórico específico. Como se pode depreender, um constructo poderá ser um embrião de um modelo. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337228656003>> Acesso em: 11 set. 2022.

*framework* conceitual. Estes conceitos adotados são definidos como (f) atributos conceituais reconhecidos, que são informações que descrevem, qualificam e caracterizam o estado e a identificação do problema, neste caso, dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras. A partir desses atributos que foram concebidos através do conhecimento de análise (leitura sintópica) dos estudos analisados foi avaliado a (g) identificação e análise das contribuições teóricas. É esperado que a consolidação e agregação dos resultados dos estudos primários resultem em um novo conhecimento (Dresch; Lacerda; Antunes Júnior, 2015), ademais, através dos atributos conceituais ressaltou os grupos relacionados ao contexto geral dos dispositivos sustentáveis para alagamentos urbanos nas cidades, bem como prover explicações entre os diversos artigos selecionados pelos autores.

Os atributos conceituais reconhecidos, identificados na revisão da literatura foram analisados a partir de uma matriz dos estudos dos artigos selecionados para posterior cruzamento de dados. Além disso, os artigos e estudos acadêmicos foram definidos através do Termo de Definição Conceitual, conforme Quadro 2. Cabe ressaltar que a seleção do número de artigos analisados do *framework* conceitual foi maior do que 25 pesquisas, devido ao procedimento chamado de *backward* segundo os autores Brunton e Thomas (2012), em que consiste consultar referências bibliográficas dos próprios artigos e estudos analisados.

Deste modo, identificaram-se os (i) atributos conceituais reconhecidos; (ii) as variáveis de sustentabilidade ambiental, que analisaram as técnicas no controle dos alagamentos urbanos; e por fim, (iii) as principais referências que foram citadas nestes termos de definição.

Termo de Definição Conceitual	(i) Atributos Conceituais Reconhecidos	(ii) Variáveis de Sustentabilidade (Técnicas no Controle dos Alagamentos Urbanos)	(iii) Principais Referências (Autores)
Evolução da Gestão das Águas Urbanas (1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impedimentos sociais e institucionais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Chamar a atenção do planejamento público para os benefícios de arroios ecologicamente saudáveis em cidades sustentáveis;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Kourtis et al., 2017</a>;</li> <li>• <a href="#">Zavadil, 2009</a>;</li> <li>• <a href="#">Zhou, 2014</a>.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão e instituições públicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Incentivar os processos de planejamento e aprovação em escala de captação;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Davies et al., 2011</a>;</li> <li>• <a href="#">Roy et al., 2008</a>;</li> <li>• <a href="#">Vietz et al., 2014a;2014b</a>.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Percepção Pública de arroios por meio de projetos sustentáveis focados em objetivos sociais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coutts <i>et al.</i>, 2012.</li> <li>• Fletcher <i>et al.</i>, 2014;</li> <li>• Gurnell <i>et al.</i>, 2007;</li> <li>• Walsh; Fletcher; Burns, 2012.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mudanças na política e na legislação para a proteção e restauração de arroios por meio da mudança de valores e atitudes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Davies <i>et al.</i>, 2011.</li> </ul>
Efeitos da Urbanização nas Cidades (2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto para o fluxo das águas;</li> <li>• Excesso de Escoamento de águas pluviais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proteção ou restauração da morfologia do arroio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brandão, 2005;</li> <li>• Chocat <i>et al.</i>, 2001;</li> <li>• Fletcher <i>et al.</i>, 2015;</li> <li>• Gaur; Simonovic, 2018;</li> <li>• Jemberie; Melesse, 2021;</li> <li>• Kang <i>et al.</i>, 2016;</li> <li>• Palla <i>et al.</i>, 2018;</li> <li>• Schilling <i>et al.</i>, 2014;</li> <li>• Vietz <i>et al.</i>, 2015a;</li> <li>• Vietz, 2013;</li> <li>• Walsh <i>et al.</i>, 2005.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identificar os fluxos que devem ser evitados em arroios;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Booth; Jackson, 1997;</li> <li>• Booth, 1990; 2005;</li> <li>• Burns <i>et al.</i>, 2012;</li> <li>• Pompêo, 2000;</li> <li>• Silveira, 2002a;</li> <li>• Steveaux <i>et al.</i>, 2009;</li> <li>• Tucci, 1997,1999.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implementação de bacias de retenção de águas pluviais com tomadas menores e de vários níveis para reduzir os fluxos acima dos limites erosivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CVC e TRCA, 2010;</li> <li>• Sustainable Technologies Evaluation Program, 2018;</li> <li>• Vietz <i>et al.</i>, 2014b;</li> <li>• Walsh; Fletcher; Burns, 2012;</li> <li>• Zhou <i>et al.</i>, 2012.</li> </ul>
Medidas de Controle de Alagamentos (3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de drenagem que capta problemas causados pelas águas pluviais;</li> <li>• Planejar e controlar a distribuição do escoamento superficial;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medidas de controle de águas pluviais que reduzem o volume do excesso de escoamento de águas pluviais para os arroios, proporcionando qualidade de água adequada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botelho, 2011;</li> <li>• Cruz; Tucci, 2008;</li> <li>• Dias, 1992;</li> <li>• Pompêo, 2000;</li> <li>• Silveira, 2002a;</li> <li>• Tucci; Bertoni, 2003;</li> <li>• Tucci, 2003; 2005a; 2005b.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Múltiplos benefícios das medidas de controle de águas pluviais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cohen, 2006;</li> <li>• Kourtis <i>et al.</i>, 2020;</li> <li>• Zhou <i>et al.</i>, 2013.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Preservação do espaço ribeirinho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caramori, 2012;</li> <li>• Canholi, 2005.</li> </ul>

		✓ Reduzir o impacto dos alagamentos nas obras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Villanueva <i>et al.</i>, 2011;</li> </ul>
Tecnologias Low Impact Development (LID) (4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Técnicas modernas que procuram imitar o pré-desenvolvimento das condições ambientais;</li> <li>Aplicação de práticas que procuram imitar o regime hidrológico e o equilíbrio hídrico.</li> </ul>	✓ Medidas sustentáveis de mitigação para inundações e alagamentos;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vrban, 2019;</li> <li>Chin, 2017;</li> <li>Kourtis <i>et al.</i>,2018;2020;</li> <li>Singh <i>et al.</i>,2020;</li> <li>Tsihrintzis; Hamid, 1997;</li> <li>Zhou <i>et al.</i>,2013.</li> </ul>
		✓ Redução de impactos econômicos e ambientais associados a eventos de chuvas fortes;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fletcher; Andrieu; Hamel, 2013;</li> <li>Gupta, 2012;</li> <li>Trowsdale; Simcock, 2011.</li> </ul>
		✓ Mantém o equilíbrio hídrico das paisagens;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ferguson, 1991-1992;</li> <li>Prince George's County, 1999.</li> </ul>
		✓ Práticas de baixo impacto e abordagens sustentáveis;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ahiablame <i>et al.</i>,2013;</li> <li>Askarizadeh; Rippy; Fletcher, 2015;</li> <li>Eric <i>et al.</i>,2013;</li> <li>Palla <i>et al.</i>, 2015.</li> </ul>
		✓ Captação de armazenamento de água em área designada da paisagem;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jemberie; Melesse, 2021;</li> <li>Trinh; Chui, 2013;</li> <li>Stovin <i>et al.</i>, 2012.</li> </ul>
		✓ Utilização de técnicas (LID) aplicadas na cidade que contribuem para a captação e infiltração dos solos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ando; Freitas, 2011;</li> <li>Berndtsson, 2010;</li> <li>Brown <i>et al.</i>, 2013;</li> <li>Chua <i>et al.</i>,2012;</li> <li>Palermo; Talarico; Turco, 2020;</li> <li>Palla <i>et al.</i>,2018.</li> </ul>
		✓ As técnicas LID desempenham a absorção de poluentes no escoamento de águas pluviais e na liberação de ar limpo no meio ambiente;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Burton <i>et al.</i>,2018;</li> <li>Silveira, 2002b;</li> <li>Vietz <i>et al.</i>,2014a.</li> </ul>
		✓ Vantagens hidráulicas e efeitos ambientais sustentáveis quando aplicadas essas medidas de controle de baixo impacto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kang <i>et al.</i>,2016;</li> <li>Mentens <i>et al.</i>,2006;</li> <li>Tzoulas <i>et al.</i>,2007;</li> <li>Walsh <i>et al.</i>,2014.</li> </ul>

Quadro 2. *Framework* Conceitual de Revisão da Literatura.

Fonte: Autora (2022).

## 2.2 TERMOS CONCEITUAIS ENCONTRADOS NA REVISÃO DA LITERATURA

A presente revisão dos Termos de Definição Conceitual representaram as percepções encontradas sobre determinados temas, sendo analisados de acordo com as ideias dos autores dos artigos selecionados, por essa razão, buscou apoiar-se na revisão da literatura através do *framework* conceitual realizado com a finalidade de entender o contexto geral e as formas de gerenciamento da drenagem urbana das cidades. A seguir, os conceitos encontrados no *framework* conceitual da revisão da literatura foram revisados com o objetivo de compreender as funções e

benefícios dessas áreas. Os conceitos de (2.2.1) Evolução da Gestão das Águas Urbanas, e (2.2.2) de Efeitos da Urbanização nas Cidades foram investigados para a compreensão dos problemas urbanos; a seguir, as (2.2.3) Medidas de Controle dos Alagamentos que têm por objetivo planejar a distribuição da água no tempo e no espaço; e por último, as (2.2.4) Técnicas Low Impact Development (LID) que abordam as questões relacionadas aos benefícios e desvantagens das técnicas de baixo impacto no controle dos alagamentos urbanos.

### **2.2.1 Evolução da Gestão das Águas Urbanas**

Para o entendimento da Evolução da Gestão das Águas Urbanas, é necessário compreender os modelos gerenciais da administração pública e suas mudanças no decorrer do tempo. Segundo Martins (1997), as práticas de gestão gerencial através do planejamento estratégico, buscam a equidade nos acessos aos serviços, assim a sociedade surge como fator importante na formulação de alternativas aos novos desafios enfrentados nas cidades. Na maioria das vezes, as instituições públicas e as práticas padrão para a gestão das águas urbanas através da drenagem urbana continuam a enfatizar as atividades focadas na estabilidade do canal e na eficiência hidráulica (Trinh; Chui, 2013), muitas vezes relacionada ao gerenciamento e a aplicação de conhecimentos técnicos. Os arroios urbanizados, dinâmicos e hidraulicamente irregulares, são considerados de alto risco por gestores e formuladores de políticas (Zavadil, 2009).

As soluções tradicionais de drenagem têm sido questionadas por muitos estudiosos, pois carecem de flexibilidade e, mais importante, por sua incapacidade de se adaptar às circunstâncias (Kourtis *et al.*, 2017; Zhou, 2014). Além disso, muitos pesquisadores exploraram os impactos negativos da drenagem convencional como soluções sobre o ambiente urbano (Zhou, 2014). Infelizmente, muitas preocupações ou incertezas sobre alternativas para a falta de proteção legislativa para arroios (Davies *et al.*, 2011), podem restringir e entrar em conflito com as metas de restauração das águas e das urbanizações.

A falta de esclarecimento sobre o que constitui a zona ribeirinha e a falta de legislação sobre áreas urbanizadas nas margens dos cursos d' água nos níveis nacional ou estadual, muitas vezes transferem o processo de tomada de decisão para os governos locais (Davies *et al.*, 2011). Isso pode levar a decisões do governo

local sobre o desenvolvimento em zonas ribeirinhas que levam a impactos cumulativos de grande escala nos sistemas de arroios. Em adição, tem ocorrido uma falta de reconhecimento dos valores de biodiversidade dos arroios nas bacias urbanas; a falta de legislação para proteção de arroios constitui do resultado tradicionalmente de canais vistos para remoção de forma rápida e eficiente as águas pluviais (Roy *et al.*, 2008), para minimizar os alagamentos urbanos.

A partir dessa argumentação, ocorre um crescente reconhecimento nas últimas décadas de que os fluxos urbanos ecologicamente saudáveis são uma parte importante para alcançar cidades mais sustentáveis. A transição de restauração de águas urbanas por meio de atividades de escala de captação em ambientes urbanos depende de duas mudanças políticas principais: (i) melhorias da coordenação da gestão de arroios e estratégias de águas pluviais urbanas, dado o importante papel do sistema de drenagem convencional na condução da degradação do canal urbano (Vietz *et al.*, 2014b), e (ii) melhor reconhecimento das planícies de alagamentos urbanos (e seu papel hidrológico, geomórfico e ecológico) no planejamento e processos estatutários (Davies *et al.*, 2011; Gurnell *et al.*, 2007). Logo, essa transição na gestão de águas pluviais requer uma infinidade de mudanças no status quo das cidades (Roy *et al.*, 2008).

A oportunidade para essa transição nas cidades é fortalecida pelos múltiplos benefícios sociais trazidos pelas técnicas de baixo impacto no ambiente urbano, exemplos de tentativas de abordar os problemas em escala de captação como, a gestão do excesso de escoamento de águas pluviais para proteger os arroios e as bacias hidrográficas (Fletcher *et al.*, 2014), que resultam em “paisagens verdes” e melhoram o microclima urbano (Coutts *et al.*, 2012). Além disso, a captação de águas urbanas oferece uma grande oportunidade de abastecimento de água para cidades e vilas (Walsh; Fletcher; Burns, 2012).

A gestão de escoamento de águas pluviais encontra-se em processo de desenvolvimento na tentativa de minimizar os problemas gerados pelos impactos causados pelas urbanizações através de técnicas sustentáveis de baixo impacto na paisagem urbana (Vietz *et al.*, 2014a). Ainda assim, é importante fundamentar os efeitos gerados pelas urbanizações nas cidades que geram estes impactos ambientais, técnicos e socioeconômicos no desenvolvimento urbano e qualidade de vida das comunidades, os quais serão descritos a seguir.

### 2.2.2 Efeitos da Urbanização nas Cidades

Os maiores efeitos das urbanizações começam no período de chuvas, em que a população assentada em fundos de vales ou encostas entra em estado de alerta para o enfrentamento de alagamentos nas cidades. Devido à falta de capacidade e suporte das cidades para absorver esse crescimento urbano, muitas áreas iniciam o processo de urbanização sem planejamento e infraestrutura urbana.

Somado a maior ocupação dessas regiões, o adensamento urbano está diretamente associado à diminuição da cobertura vegetal e à impermeabilização do solo, causando a redução da infiltração das águas pluviais e o aumento do escoamento superficial nas bacias hidrográficas dos cursos d'água (Tucci, 1999). Com este processo de urbanização, formam-se grandes concentrações populacionais em pequenas áreas (Stevaux *et al.*, 2009), um desses efeitos é o aumento do volume de escoamento superficial (Silveira, 2002b; Steveaux *et al.*, 2009). Como consequência, eventos naturais extremos, como alagamentos, permanecem cada vez mais intensos e frequentes (Tucci, 1999), gerando perdas econômicas e sociais para as comunidades.

Os diversos fatores provocados pela urbanização dentre os quais destacamos o excessivo parcelamento do solo e a consequente impermeabilização das grandes superfícies, a ocupação de áreas ribeirinhas tais como várzeas, zonas alagadiças, a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos e também as obras de drenagem inadequadas (Pompêo, 2000, p. 16), são provocados pelos alagamentos urbanos nas cidades.

No caso referente aos alagamentos, esses devem ser analisados no contexto urbano, pois não são decorrentes somente das condicionantes geomorfológicas e topográficas do sítio urbano para sua ocorrência, mas também, da intensa impermeabilização do solo urbano, a exemplo da cidade de Porto Alegre.





**Figura 07. Inundações acarretando transtornos para locomoção dos usuários em vias urbanas.**  
Fonte: Jornal Digital GZH (2022).



**Figura 08. Acúmulo de Resíduos Sólidos gerado pelas enchentes.**  
Fonte: Jornal Digital GZH (2022).



**Figura 09. Alagamento em vias de Porto Alegre devido às enchentes urbanas.**  
Fonte: Jornal Digital GZH (2022).



**Figura 10. Arroio Dilúvio com o nível da água alto provoca alagamentos nas vias paralelas.**  
Fonte: Globo - Rio Grande do Sul (2014).

Os cenários apresentados nas Figuras 07, 08, 09 e 10 são alarmantes pelos mais variados efeitos das enchentes e abrangência de suas consequências para as cidades. A partir das enchentes, originam inundações nas áreas urbanas que por sua vez, geram um acúmulo de água em regiões específicas, chamados de alagamentos. Pompêo (2000) afirma que os controles das inundações e alagamentos em áreas urbanas são emergenciais esporádicos e quase sempre definidos após ocorrência de algum desastre. O autor discute que, para que as ações de controle sejam efetivas, devem incorporar conceitos de sustentabilidade ambiental, visando não somente soluções de engenharia, mas também balancear as relações entre os ecossistemas naturais, os sistemas urbanos construídos e a sociedade.

Neste sentido, Brandão faz importantes considerações:

No momento em que se assiste, com maior frequência e intensidade, a uma série de *fenômenos naturais extremos* destruidores de paisagens em diferentes escalas e em distintas regiões da Terra, urge investigar as ligações sincrônicas entre eventos de escala planetária com aqueles de natureza local e microclimática, como, por exemplo, os gerados na escala da cidade. (Brandão, 2005, p. 49).

Partindo deste princípio, para a compreensão da dimensão desses eventos, deve-se num primeiro momento considerar a frequência e intensidade das chuvas, dessa forma, é apresentada na Figura 11 a representação dos fenômenos de alagamento, enchente e inundação.



**Figura 11. Representação de inundação, enchente e alagamento.**

Fonte: Funasa (2015).

A Funasa (2015) define esses termos como:

Enchente: “representa o fenômeno de ocorrência de aumento de vazões com transbordamento de um canal de drenagem”.

Inundação: “representa o extravasamento do fenômeno de enchente. Logo, uma enchente pode ou não causar inundações, no entanto, observa-se comumente que esses termos são usados como sinônimos”.

Alagamento: “acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos por problema de drenagem”.

Ainda segundo Tucci (1999), os alagamentos em áreas urbanas decorrem de dois processos, que podem ocorrer isoladamente ou de forma integrada: respectivo à urbanização, que causam o aumento da frequência e magnitude das enchentes devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de

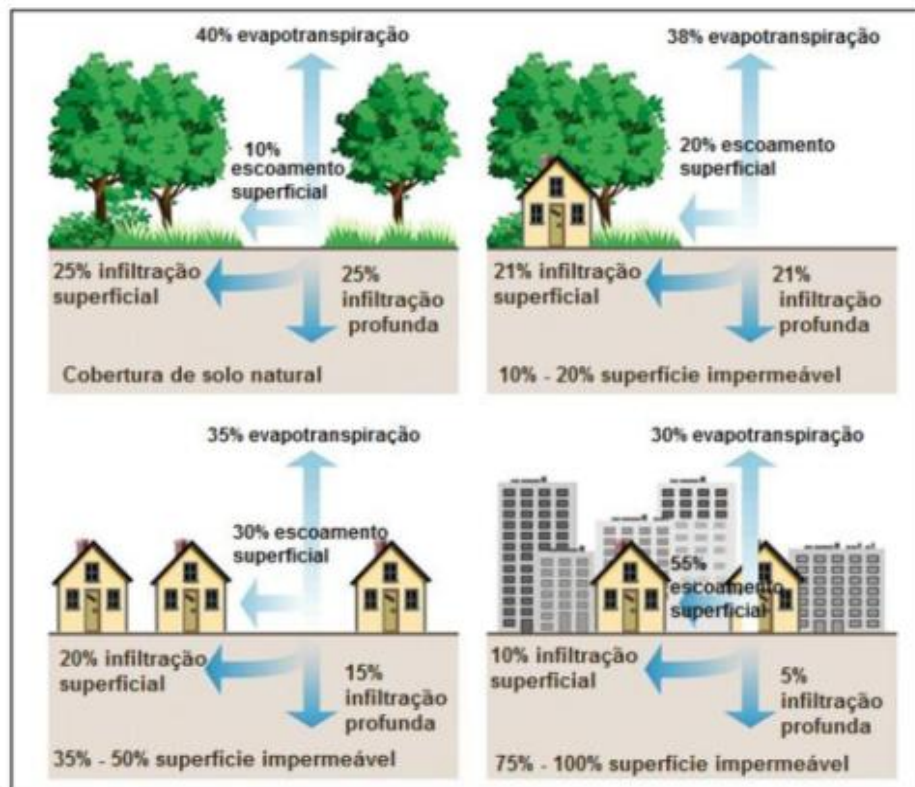
escoamentos com obstruções, além de drenagens inadequadas; e respectivo às áreas ribeirinhas, em que os alagamentos e deslizamentos naturais atingem a população que ocupa o leito maior dos arroios.

Além disso, o uso de abordagens de drenagem convencional promove o transporte rápido do escoamento de águas pluviais das cidades, inevitavelmente levando a condições geomórficas prejudicadas, como canais ampliados e sem características (Vietz, 2013; Walsh *et al.*, 2005). Ao invés de promover melhorias urbanísticas, esses arroios são afetados pelo uso do solo urbano (Vietz *et al.*, 2015) e, em vez de 'tratar' os arroios urbanos, as abordagens convencionais acabam por desconsiderar os fatores de degradação do canal.

Apesar das boas intenções das drenagens convencionais, a abordagem típica de mitigação de alagamentos e inundações de usar bacias de retenção no final das sub-bacias para atenuar os picos de fluxo muitas vezes estende os fluxos acima dos limites de erosão por períodos mais longos, aumentando a degradação (Booth; Jackson, 1997; Burns *et al.*, 2012). De fato, para atender aos objetivos geomórficos em termos de vazão e duração, tais bacias muitas vezes exigiriam volumes de armazenamento de uma ordem de magnitude maior do que os normalmente necessários para o controle de alagamentos (Booth, 1990).

Pesquisas recentes sugerem que os resultados hidrológicos de uma determinada impermeabilidade da bacia, variam significativamente dependendo de como as águas pluviais são gerenciadas (por exemplo, Booth, 2005; Burns *et al.*, 2012; Walsh; Fletcher; Burns, 2012). Com o período de chuvas, a água pode seguir vários caminhos quando infiltrada no solo, contribuindo em última análise para qualquer superfície de corpos d'água, como arroios e lagos por infiltração, ou pode se infiltrar profundamente no solo que contribui para os aquíferos subterrâneos.

Além disso, a água da chuva pode ser interceptada por árvores e outra vegetação, seja pelas folhas ou pelas raízes, caso em que retornará à atmosfera por evaporação ou evapotranspiração. Cidades em áreas com precipitação pluvial intensa e águas residuais infiltram no solo, produzem grandes escoamentos superficiais que a rede de drenagem urbana é incapaz de acomodar, e por isso estão potencialmente expostas a inundações (CVC e TRCA, 2010). Uma rota final que a água da chuva pode tomar é o escoamento superficial para o corpo d'água mais próximo. Assim, a urbanização tende a uma mudança significativa na proporção de água que entra em certas vias (Figura 12).



**Figura 12. Efeitos da urbanização nas vias de águas pluviais.**

Fonte: Adaptado de CVC e TRCA (2010, tradução nossa).

Especificamente, o aumento das superfícies impermeáveis e a diminuição da vegetação provocam até um aumento de 3 a 5 vezes na quantidade de escoamento pluvial que atinge os arroios enquanto a quantidade de água infiltrando no solo ou evaporando na atmosfera diminui a uma taxa correspondente (CVC e TRCA 2010).

Isso representa uma mudança no volume total ou quantidade de água da chuva que entra nos cursos d'água, ocorrendo também mudanças na taxa de fluxo, quando a água da chuva encontra superfícies impermeáveis e, em seguida, entra em um sistema de transporte que flui muito mais rapidamente pela paisagem do que em condições naturais, que tende causar um aumento na taxa de escoamento logo após um evento de chuva.

As mudanças associadas ao aumento dos volumes de escoamento causam problemas para fluxos de recepção, incluindo a alteração dos fluxos de água, alteração da forma do canal e efeitos associados no habitat aquático, e aumento da erosão e sedimentação (CVC e TRCA 2010). A infiltração também contribui para um habitat de peixes pobre em arroios, uma vez que resulta em uma redução na vazão do fluxo de base devido ao escoamento pluvial e de diminuição (Schaefer, 2004).

Determinar os fatores contribuintes para os alagamentos pluviais e eventos de chuva é complexo porque é difícil identificar fatores individuais e sua magnitude de impacto. No entanto, o clima de persistente volatilidade em que a gestão pública se insere pode buscar uma ideia estimada dos gastos com drenagem urbana no futuro e através de sua influência antrópica, mostrar os impactos positivos e negativos provocados no ambiente, que geralmente são aceitos como as principais causas de alagamentos pluviais e contínua intensificação nos últimos anos (Gaur; Simonovic, 2018; Schilling *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2012).

Uma abordagem alternativa para mitigar impactos ambientais e mudanças nos regimes de redução de fluxo seria utilizar de medidas de controle de águas pluviais localizadas na fonte ou perto da fonte, com o objetivo de fornecer hidrologia mais natural. Essas aplicações consideradas de baixo impacto promovem a proteção ou restauração da morfologia do arroio (Chocat *et al.*, 2001; Jemberie; Melesse, 2021), infiltração, captação das águas e otimização do uso do solo sustentável (Fletcher *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2012), além de atenuar os impactos na redução dos alagamentos urbanos.

Para resumir, existem várias abordagens recentes de drenagens pluviais urbanas e restauração de arroios que consideram os estudos relacionados à geomorfologia<sup>5</sup> em direção a metas para canais dinâmicos e complexos que são autossustentáveis. Os autores Vietz *et al.* (2014b), descobriram que o excesso de escoamento de águas pluviais é um dos principais agentes de degradação geomórfica em bacias urbanizadas. Áreas urbanas estão se tornando maiores, mais densas e mais impermeáveis, e assim alagamentos urbanos estão se tornando mais frequentes e mais devastadoras do que no passado (Kang *et al.*, 2016).

Os alagamentos pluviais, também conhecidos como alagamentos de águas superficiais, ocorrem quando uma chuva forte ou evento de chuva sobrecarrega a infraestrutura urbana e permanece em superfícies impermeáveis, muitas vezes criando rotas temporárias de fluxo terrestre e lagoas em áreas não projetadas (Palla *et al.*, 2018), como por exemplo as áreas alagadas em áreas urbanizadas das cidades, em período de chuvas com volumes de escoamento excessivos.

---

<sup>5</sup> De acordo com Cunha (2011), o ensino da Geomorfologia fluvial tem um papel relevante dentro dos tópicos da Geomorfologia. O conjunto de técnicas e métodos ligados a monitoramento, predição e interpolação espacial permite analisar as variabilidades espaciais e temporais das mudanças no sistema fluvial, na dinâmica das águas, dos processos fluviais de erosão, transporte e deposição, do perfil longitudinal dos rios e do equilíbrio fluvial e seu rompimento.

Frente à complexidade dos efeitos das urbanizações nas cidades, um dos principais instrumentos de gestão empregados para elaboração de diretrizes para controle dos alagamentos urbanos são os Planos Diretores de Macrodrenagem (PMD), que segundo Tucci (1997) e Cohen (2006), tem o objetivo de planejar a distribuição da água através de medidas de controle para as ocupações dos alagamentos nas cidades.

### 2.2.3 Medidas de Controle de Alagamentos

À medida que a cidade se transforma, a falta de um sistema de drenagem sustentável ocasiona sérios problemas para a sociedade, para o ambiente e para a economia, através de alagamentos, prejuízos de bens materiais, destruição da pavimentação, erosões, deslizamentos e doenças por veiculação hídrica. Diante disto, surge a preocupação das ferramentas de planejamento dos sistemas de drenagem urbana de águas pluviais, que tem por objetivo recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escorrem sobre sua superfície (Caramori, 2012), conduzindo-as a um destino final e, conseqüentemente captando as medidas de controle para os problemas causados pelas águas pluviais como os alagamentos urbanos. Segundo Cohen (2006), os planos diretores municipais têm sido a ferramenta de planejamento de escoamentos e drenagens pluviais mais frequentes nos municípios brasileiros. No entanto, a especulação imobiliária, entre outros interesses, interfere no reordenamento das áreas urbanas e rurais (Gottman, 1970), ocorrendo que muitas vezes o que foi devidamente planejado não se concretiza.

Tucci e Bertoni (2003) descrevem que os Planos Diretores de Macrodrenagem visam: a caracterização das causas dos alagamentos e a orientação e definição das diretrizes a serem consideradas na elaboração dos planos municipais, visando reduzir progressivamente a frequência, a intensidade e a gravidade das ocorrências de problemas no escoamento pluvial. Os autores discutem que esses relatórios devem ser estruturados pelos seguintes estudos: levantamento de informações básicas; análise e diagnóstico da situação atual; recomendações de intervenções imediatas; propostas de ações prioritárias e propostas de ações sistemáticas.

Para Villanueva *et al.* (2011) e Cohen (2006), os Planos Diretores de Drenagem Urbana incorporam conceitos visando compensar os impactos devido à expansão da urbanização, focando em reduzir o volume de escoamento, as velocidades, as taxas, as frequências e a duração dos alagamentos. Os autores ainda afirmam que as medidas propostas nos planos “são tentativas de minimização dos efeitos adversos ao meio ambiente, especialmente dos aspectos qualitativos dos corpos d’água receptores, com conseqüente redução de perdas econômicas, melhoria das condições de saúde da população e do meio ambiente da cidade”.

Outras definições encontradas nos estudos dos Planos Diretores de Drenagem Urbana são acerca dos planos de macrodrenagem, que têm como meta planejar e controlar a distribuição do escoamento superficial, com vistas às tendências de uso e ocupação futura na bacia, compatibilizando o desenvolvimento urbano com a redução das perdas econômicas, ambientais e sociais (Cruz; Tucci, 2008). Nesses planos, tanto o planejamento do desenvolvimento da bacia quanto à programação das medidas de controle do escoamento superficial são extraídos a partir da avaliação de projetos viáveis hipotéticos e dos riscos de alagamentos ocorridos nesses cenários.

Conforme Tucci e Bertoni (2003), durante o crescimento das cidades as alterações urbanas prejudicam a macrodrenagem “natural dos cursos de água” pelos seguintes motivos: ocupação e invasão das várzeas, principalmente o leito maior de alagamento; impermeabilização plena do solo; redução da cobertura vegetal; entre outros. A ausência de planejamento urbano das cidades, especialmente das várzeas dos cursos de água, proporciona restrições às planícies urbanas naturais, antes utilizadas para amortecimento do hidrograma de alagamentos.

Apesar do emprego dos planos de macrodrenagem, segundo Villanueva *et al.* (2011), discutem que a drenagem urbana moderna deve enfatizar aspectos de gestão das águas pluviais, fornecendo diretrizes sustentáveis para o desenvolvimento urbano de baixo impacto. Além dos sistemas de drenagem que se classificam em relação às suas dimensões, como microdrenagem e macrodrenagem (Caramori, 2012), existem as medidas de correção e prevenção que visam minimizar as alterações urbanas, os danos dos alagamentos e demais prejuízos que são classificadas, de acordo com sua natureza, em medidas estruturais e medidas não estruturais (Villanueva *et al.*, 2011; Tucci; Bertoni, 2003).

Segundo descrição de Tucci e Bertoni (2003), as soluções de combate aos alagamentos enfatizam as obras: (i) estruturais, que são obras hidráulicas que tem como principal função controlar a água qualquer que seja sua origem, encontradas na bacia hidrográfica ou diretamente no curso d'água, destinadas a reduzir os impactos dos alagamentos e as (ii) obras não estruturais que são ações institucionais que impactam a forma como o cidadão percebe o planejamento de tais ações, visando o controle e a convivência dos efeitos dos alagamentos urbanos.

A abordagem das medidas de controle de alagamentos está relacionada a uma ótica de implementação nos planos diretores para reduzir o risco de impactos ambientais nas urbanizações das cidades. Essas medidas podem ser (iii) intensivas ou (iv) extensivas (Figura 13).



**Figura 13. Principais Medidas Estruturais e Não Estruturais de Controle de Alagamentos.**  
Fonte: Autora, Adaptado de Botelho (2011).

Conforme Tucci e Bertoni (2003), as medidas estruturais são caracterizadas pelas obras de engenharia em duas extensões; as medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como as alterações da cobertura vegetal do solo que reduzem e retardam os alagamentos e controlam a erosão da bacia. E as medidas intensivas que são aquelas que agem no arroio e podem acelerar o escoamento: construção de diques e polders e aumento da capacidade de descarga dos arroios (canais); além de



retardar o escoamento: reservatórios e as bacias de amortecimento; e desviar dos escoamentos como as obras de canais de desvios pluviais (Tucci, 2005a, p.56).

As medidas não estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com os alagamentos, através de medidas preventivas como melhorias no zoneamento das áreas de risco, medidas de proteção individual e educação ambiental da população e alterações no Plano Diretor para melhor atender a demanda relacionada às águas pluviais. Segundo Tucci (1999, p. 482) no primeiro caso (estruturais), estão as “medidas de controle através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalização, bacias de amortecimento, captação de água da chuva, reuso das águas, entre outras”, e no segundo caso (não estruturais), são “medidas do tipo preventivo, tais como zoneamento de áreas de alagamentos, planos de zoneamento e educação ambiental” e por esta razão, “as medidas estruturais envolvem custos maiores que as medidas não estruturais”.

Apesar da intensa caracterização desses planos, para que as ações de controle sejam efetivas, devem, além do uso dessas medidas, incorporar conceitos de sustentabilidade ambiental, visando não somente soluções de engenharia, mas balancear as relações entre os ecossistemas naturais (Pompêo, 2000), os sistemas urbanos construídos e a sociedade. Em adição, Canholi (2005) enfatiza que a carência desses projetos de drenagem e planejamento pluvial nas administrações municipais se deve ao fato da drenagem urbana ser abordada de forma secundária em vistas aos planos municipais. Assim, as soluções de controle dos alagamentos ou adoção de critérios que envolvam contenção do escoamento superficial durante o parcelamento do solo são, geralmente, postergadas nas gestões municipais.

Os princípios da drenagem urbana sustentável deveriam prever novos desenvolvimentos, propondo medidas tanto estruturais quanto não estruturais e incorporar maiores demandas com relação às medidas extensivas, que são aquelas que agem na drenagem urbana pluvial, procurando abordagens mais flexíveis nas relações no espaço urbanizado, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e minimiza os picos de alagamentos e controla a erosão do solo. Essas técnicas inovadoras da engenharia como a construção de estacionamentos permeáveis, pavimentos porosos, telhados verdes e canais abertos com vegetação, se agregam ao desenvolvimento de baixo impacto na drenagem pluvial a fim de atenuar os escoamentos superficiais e reduzir a concentração de poluentes das

águas de chuva nas áreas urbanas (por exemplo, Kourtis *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2013).

Com base nessas definições, pode-se afirmar que essas ações de desenvolvimento de baixo impacto estão ligadas ao desenvolvimento econômico e social de uma determinada região, sem agredir de modo significativo o meio ambiente, minimizando o consumo dos recursos naturais primários, substituindo-os por recursos renováveis (Dias, 1992). Assim, podem melhorar as necessidades sustentáveis da região como a qualidade da água e condições de quantidade por meio desses processos; fluxos de águas pluviais que podem ser reduzidos em volume e intensidade, e auxiliar nos problemas com infraestrutura de drenagem sobrecarregada dos bairros, que exigem novos métodos sustentáveis de escoamento pela gestão municipal responsável.

Na sequência são apresentadas as práticas de desenvolvimento de baixo impacto, *Low Impact Development (LID)*, presentes na *framework* conceitual da revisão da literatura que estruturam essa relação para o melhor entendimento das medidas de controle de águas pluviais para as cidades urbanizadas.

#### **2.2.4** Tecnologias Low Impact Development (LID)

As práticas de *Low Impact Development – LID* são consideradas infraestruturas modernas que procuram imitar o pré-desenvolvimento das condições ambientais e restaurar o regime hidrológico (ou seja, o equilíbrio hídrico), através de medidas adicionais para a infiltração e evapotranspiração de escoamento pluvial das cidades (Palla *et al.*, 2018), além disso o uso e aplicação de práticas LID têm sido fundamental nos últimos anos para atender requisitos exigidos pelo governo para a gestão dos projetos sustentáveis, minimizar a poluição nas cidades e gerenciar os alagamentos através do controle das águas (Vrban, 2019).

A promoção dos planos de sustentabilidade ambiental resultou em vários projetos de pesquisa e estudos sobre medidas de minimizar os alagamentos em todo o mundo conforme citado pelos autores através de medidas sustentáveis de mitigação para alagamentos (Chin, 2017; Singh *et al.*, 2020; Tsihrintzis; Hamid, 1997), essas técnicas se agregam ao desenvolvimento de baixo impacto na drenagem pluvial a fim de atenuar os escoamentos superficiais e reduzir a concentração de poluentes das águas de chuva nas áreas urbanas (Kourtis *et al.*,

2020, 2018; Zhou *et al.*, 2013).

O desenvolvimento dessas práticas começou no início da década de 1990 em resposta aos custosos impactos econômicos e ambientais associados a eventos de chuvas fortes, que excederam a capacidade da infraestrutura convencional das cidades (Kang *et al.*, 2016). O conceito de desenvolvimento de baixo impacto (LID), visava manter o equilíbrio hídrico do local natural através de paisagens hidrológicas que eram 'funcionalmente equivalentes' ao seu estado pré-desenvolvimento (por exemplo, Departamento de Recursos Ambientais do Condado de Prince George's County, 1999). Além do mais, Ferguson (1991-92, p.193) retrata a hidrologia da paisagem como "o movimento e armazenamento de água nas paisagens". Assim, este conceito de balanço hídrico pode ser aplicado a qualquer paisagem específica do local, deste modo, as práticas de baixo impacto são o principal método de mover a água através de nossas paisagens com abordagens sustentáveis.

Neste sentido, se faz importante compreender o conceito principal de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) desenvolvido nesta pesquisa. O conceito das técnicas LID está preocupado em se concentrar na diferença entre o fluxo, a entrada e a saída de água em uma área designada da paisagem da cidade, garantindo que a diferença entre entradas e saídas seja manuseada por áreas destinadas à captação e armazenamento de água (Ferguson, 1991-92), promovendo os usos sustentáveis de baixo impacto dos recursos naturais.

Algumas precipitações de águas tornam-se escoamento pluvial nas cidades; por outro lado, outras precipitações se infiltram no solo e armazenam a água por um tempo. Enquanto determinado escoamento de águas fluem para o uso do solo nas cidades, os fluxos que ressurgem nas superfícies como pavimentações e áreas permeáveis sem conseguir infiltrar o solo, podem ser desviados artificialmente através de técnicas LIDs que podem ser tratadas por uma variedade de implementações e aplicações sustentáveis.

O uso de LIDs em uma paisagem promove a infiltração de água no local (Ando; Freitas, 2011), além disso, a implementação de técnicas de baixo impacto pode ser usada como estratégia de mitigação de alagamentos devido a sua abordagem de captação pluvial. Muitos são os autores, que podem ser mencionados que consideram como tipologias de infraestrutura de baixo impacto as seguintes técnicas aplicadas nas cidades contribuindo para a captação e infiltração dos solos como espaços verdes permeáveis como jardins, parques, corredores verdes e

praças (Brown *et al.*, 2013; Chua *et al.*, 2012; Palermo; Talarico; Turco, 2020), bacias de sedimentação, bacias de biorretenção e jardins de chuva (Berndtsson, 2010), biovaleta, canteiro pluvial, lago seco ou bacia de retenção (Walsh *et al.*, 2014), lagoa pluvial (bacia de retenção ou biorretenção), pavimentos porosos e telhados verdes (Trinh; Chui, 2013; Trowsdale; Simcok, 2011).

Essas técnicas compensatórias baseiam-se, essencialmente, na retenção e na infiltração das águas precipitadas, visando o rearranjo temporal das vazões e, eventualmente, a diminuição do volume escoado, reduzindo a probabilidade de alagamentos e possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais. Para evitar os efeitos da urbanização, o desenvolvimento de baixo impacto (LID) pode aumentar a infiltração em áreas de origem e, assim, reduzir o escoamento e remover poluentes, como têm sido praticado nos últimos anos.

Existem co-benefícios importantes de abordagens em escala de captação que buscam restaurar os regimes de fluxo para arroios urbanos através de práticas dos LIDs nas cidades. Por exemplo, o uso da coleta de águas pluviais para reduzir os volumes de escoamento também tem o benefício de fornecer grandes novos suprimentos de água e melhorar a comodidade da paisagem urbana por meio de valores sociais aumentados, aumentar a atratividade do bairro, aumentar os valores das propriedades e melhorar a saúde e o bem-estar dos moradores da área (Burton *et al.*, 2018; Vietz *et al.*, 2014a). Além disso, Silveira (2002) elencou as vantagens hidráulicas e os efeitos ambientais dessas medidas de controle de baixo impacto, entendidas pelo autor como dispositivos de drenagem urbana benéfica para as cidades.

Em adição, na escala de bacias hidrográficas nas cidades, as técnicas de LID desempenham um papel substancial na absorção de poluentes, no escoamento de águas pluviais (Fletcher; Andrieu; Hamel, 2013; Trowsdale; Simcok, 2011), e na liberação de oxigênio e ar limpo no meio ambiente (Gupta *et al.*, 2012). Para que um LID seja eficaz, ele não precisa acomodar uso humano, mas precisa responder ao valor de amenidade para uma comunidade e às necessidades biofísicas da condição do local. LIDs bem-sucedidos responderão à variação local, especialmente dentro de uma cidade ou contexto onde os limites da propriedade são estreitados (Askarizadeh *et al.*, 2015). Devido às restrições baseadas no local, o que classifica como espaços disponíveis para LID precisam ser reconceituados, de acordo com cada estudo de caso. Deste modo, a eficiência do tratamento das técnicas de LID, no entanto,

depende de muitos fatores, como duração e intensidade da chuva, espessura das estruturas instaladas, porosidade do meio de cultivo, profundidades de armazenamento no solo (Mentens *et al.*, 2006; Stovin *et al.*, 2012; Trinh; Chui, 2013), e fontes de escoamento.

Embora o LID mostre evidências através de estudos dos inúmeros benefícios para a qualidade e quantidade das águas pluviais (Bates *et al.*, 2013; Berndtsson, 2010; Brown *et al.*, 2013; Chua *et al.*, 2012; Jemberie; Melesse, 2021; Nemirovsky, 2011; Palermo *et al.*, 2020; Stovin *et al.*, 2012; Trinh; Chui, 2013; Trowsdale; Simcock, 2011; Tzoulas *et al.*, 2007, Walsh *et al.*, 2014), ainda há vários desafios a serem enfrentados. Assim, identifica-se uma lacuna de conhecimento relacionada à necessidade de uma metodologia de aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos para melhorias no desenvolvimento da drenagem urbana adaptáveis ao contexto das municipalidades sul-brasileiras.

Em primeiro lugar, as documentações relacionadas aos projetos das águas pluviais das cidades estão em defasagem devido aos poucos levantamentos in loco e informações específicas para os projetos urbanos, além do pouco conhecimento sobre essas ferramentas pelos técnicos da área, engenheiros e arquitetos, o que difere muito nas análises projetuais.

A qualidade dos locais disponíveis para fins de desenvolvimento são geralmente pobres, com alta sazonalidade (eventos que acontecem em determinada época do ano), e a existência de lençóis freáticos e solos com pouca drenagem para os quais as práticas de LID não podem ser as únicas medidas de atendimento. Além disso, também ocorrem as questões relativas à manutenção, especificamente se as responsabilidades de manutenção recairão sobre os proprietários ou o setor público, assim vários estudos de pesquisa citaram a necessidade de explorar todos os aspectos da prática de desempenho LID em uma escala maior (Ahiablame *et al.*, 2013; Eric *et al.*, 2013; Palla *et al.*, 2015), abrangendo além dessas ferramentas uma conexão maior com os planos diretores de drenagem urbana das cidades e a gestão municipal responsável que gerencia as águas pluviais. Embora o processo para desenvolvê-los aconteça de forma diversificada pelas cidades, os planos de drenagem urbana têm mais sucesso quando representam uma visão que reúne preocupações de diferentes grupos de interesse (técnicos da área, políticos, sociedade, comunidade local), para um desempenho mais satisfatório nessas abordagens urbanas.

## 2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO

Neste capítulo buscou-se através do *framework* conceitual da revisão da literatura, delimitar e compreender a temática relacionada à metodologia de aplicação de Baixo Impacto (LID) no Controle dos Alagamentos Urbanos. Posteriormente, foram abordados conceitos relacionados à gestão das águas urbanas e os efeitos das urbanizações nas cidades como os alagamentos. Em seguida foram apresentadas medidas de controle dos alagamentos através dos planos diretores de macrodrenagem e as técnicas de baixo impacto (LID), como modelo sustentável de minimização do escoamento superficial das águas, além dos problemas na gestão da drenagem urbana. A finalização do capítulo apresenta a revisão da literatura sobre os benefícios e desvantagens das técnicas LID no controle dos alagamentos.

Conforme destacado, a análise desses conceitos tende a ser de ordem complexa uma vez que sua interpretação foi direcionada através do *framework* conceitual. A revisão sistemática da literatura realizada neste capítulo permitiu inferir que as variáveis encontradas (técnicas de sustentabilidade no controle dos alagamentos urbanos) tem ganhado relevância em relação à escala global, regional e municipal. Esse fato se deve à mudança de pensamento sobre a relação entre as cidades e o ambiente urbano e o planejamento urbano sustentável.

Alinhado ao objetivo desta dissertação, a delimitação da pesquisa adota a escala municipal de cidades sul-brasileiras para a abordagem dos elementos sustentáveis de baixo impacto (LID) discutido anteriormente. O conceito de LID adotado nesta pesquisa é o de Ferguson (1991-1992), o qual reconhece que as técnicas LID se concentram na diferença entre o fluxo, a entrada e a saída de água em uma área designada da paisagem da cidade, garantindo que a diferença entre entradas e saídas seja manuseada por áreas destinadas à captação e armazenamento de água promovendo os usos sustentáveis de baixo impacto dos recursos naturais.

Este capítulo com a Revisão Sistemática da Literatura concomitante com a Etapa A desta metodologia permitiu por meio do *framework* conceitual o reconhecimento desses usos sustentáveis, no total de 19 variáveis encontradas em Variáveis de Sustentabilidade ambiental (Técnicas no Controle dos Alagamentos Urbanos), que tende a ser analisado em conjunto para posterior cruzamento de

dados com os estudos de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto LID na Etapa B dessa dissertação (Quadro 3).

<b>Termo de Definição Conceitual</b>	<b>Atributos Conceituais Reconhecidos</b>	<b>Variáveis de Sustentabilidade Encontradas</b>
Efeitos da Urbanização nas Cidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Impacto para o fluxo das águas;</li> <li>✓ Excesso de Escoamento de águas pluviais.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proteção ou restauração da morfologia do arroio;</li> <li>2. Identificar os fluxos que devem ser evitados em arroios;</li> <li>3. Implementação de bacias de retenção de águas pluviais com tomadas menores e de vários níveis para reduzir os fluxos acima dos limites erosivos.</li> </ol>
Medidas de Controle de Alagamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistema de drenagem que capta problemas causados pelas águas pluviais;</li> <li>✓ Planejar e controlar a distribuição do escoamento superficial.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Medidas de controle de águas pluviais que reduzem o volume do excesso de escoamento de águas pluviais para os arroios, proporcionando qualidade de água adequada;</li> <li>5. Múltiplos benefícios das medidas de controle de águas pluviais;</li> <li>6. Preservação do espaço ribeirinho.</li> <li>7. Reduzir o impacto dos alagamentos nas obras.</li> </ol>
Evolução da Gestão das águas Urbanas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Impedimentos sociais e institucionais;</li> <li>✓ Gestão e Instituições Públicas.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. Chamar a atenção do planejamento público para os benefícios de arroios ecologicamente saudáveis em cidades sustentáveis;</li> <li>9. Incentivar os processos de planejamento e aprovação em escala de captação;</li> <li>10. Percepção Pública de arroios por meio de projetos sustentáveis focados em objetivos sociais;</li> <li>11. Mudanças na política e na legislação para a proteção e restauração de arroios por meio da mudança de valores e atitudes.</li> </ol>
Tecnologias Low Impact Development (LID)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Técnicas modernas que procuram imitar o pré-desenvolvimento das condições ambientais;</li> <li>✓ Aplicação de práticas que procuram imitar o regime hidrológico e o equilíbrio hídrico.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>12. Medidas sustentáveis de mitigação para alagamentos urbanos;</li> <li>13. Redução de impactos econômicos e ambientais associados a eventos de chuvas fortes;</li> <li>14. Mantém o equilíbrio hídrico das paisagens;</li> <li>15. Práticas de baixo impacto e abordagens sustentáveis;</li> <li>16. Captação de armazenamento de água em área designada da paisagem;</li> <li>17. Utilização de técnicas de baixo impacto (LID) aplicadas na cidade que contribuem para a captação e infiltração dos solos.</li> <li>18. As técnicas LID desempenham a absorção de poluentes no escoamento de águas pluviais e na liberação de ar limpo no meio ambiente;</li> <li>19. Vantagens hidráulicas e efeitos ambientais sustentáveis quando aplicadas essas medidas de controle de baixo impacto.</li> </ol>

**Quadro 3. Framework Síntese.**

Fonte: Autora (2022).

A partir dos subsídios encontrados neste Capítulo, foram delimitados objetivos e como podem ser estruturadas as etapas para desenvolvimento do método de pesquisa das aplicações e melhorias para controle dos alagamentos urbanos que será abordado na etapa B desta metodologia, por fim, é abordado no próximo capítulo o método utilizado para esta pesquisa.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo trata do método adotado para a realização desta pesquisa. Inicialmente é apresentada a estratégia de pesquisa, seguida pelo delineamento e pelas etapas de desenvolvimento da pesquisa.

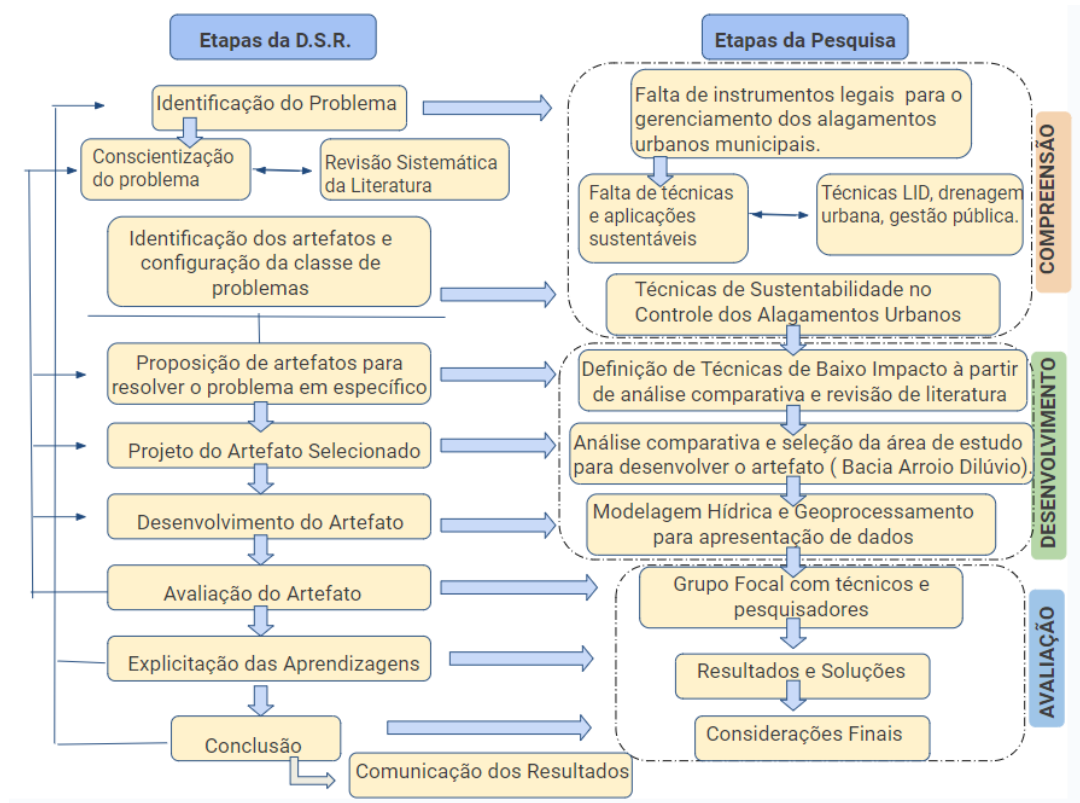
#### 3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento desta dissertação, adotou-se a estratégia de pesquisa construtiva (*Constructive Research* ou *Design Science Research*). A estratégia de pesquisa construtiva é definida como uma investigação capaz de produzir construções inovadoras como constructos, modelos, métodos e instanciações, podendo resultar ainda em um aprimoramento de teorias (Dresch, Lacerda, Antunes Júnior, 2015). Segundo os autores, a pesquisa que utiliza a *Design Science Research* (DSR), tem como características:

- ✓ Foco em problemas do mundo real;
- ✓ Desenvolvimento de artefato (construção) inovadora;
- ✓ Implementação ou teste da solução prática;
- ✓ Cooperação entre pesquisador e representante da organização envolvida;
- ✓ A partir do conhecimento teórico existente, busca-se fazer uma reflexão sobre os resultados empíricos em termos de contribuição teórica.

A partir das necessidades organizacionais observadas, bem como do interesse do investigador, a DSR pode sustentar o desenvolvimento e a construção de artefatos e contribuir para fortalecer a base do conhecimento existente (Dresch *et al.*, 2015). A DSR é um método de trabalho que define a sequência de passos lógicos que o pesquisador seguirá para alcançar os objetivos de sua pesquisa (Figura 14). É essencial que o método de trabalho esteja muito bem estruturado e que seja seguido adequadamente, a fim de assegurar a replicabilidade do estudo (Dresch *et al.*, 2015; Mentzer; Flint, 1997). No caso da presente pesquisa, trata-se de uma demanda real para a proposição de um método de desenvolvimento de aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos e melhorias no desenvolvimento da drenagem urbana no contexto das municipalidades sul-brasileiras.





**Figura 14. Método proposto para condução da pesquisa construtiva.**

Fonte: Autora, adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

Além disso, o método de trabalho, os objetivos e a forma de análise foi organizado em quatro estágios no total, conforme representado no Quadro 4.

Estágio	Objetivo	Forma de análise / Ferramentas
<b>Inicial</b> <b>FASE 1 - Análise do Estudo de Caso</b>	Definir o Estudo da Área (Seleção da sub-bacia do Arroio Dilúvio)	Análise comparativa das sub-bacias do Arroio Dilúvio no PDDU POA (2014)
<b>Levantamento de Dados e Geoprocessamento</b> <b>FASE 2 - Definição de métricas de comparação</b>	Medindo valores de cada mapa no software QGIS	Levantamento de dados geoespaciais
<b>Refinamento</b> <b>FASE 3 – Modelagem de dados e análise</b>	Definir a modelagem hídrica no software <i>LID TTT</i>	Verificação cruzada das áreas de pré e pós-desenvolvimento utilizando das técnicas LID
<b>Resultados e Validação</b> <b>FASE 4 – Apresentando as propostas de Aplicação LID</b>	Definir fatores de ponderação finais	Avaliar os resultados que se enquadram no controle dos alagamentos urbanos divergentes da área.

**Quadro 4. Ferramentas de trabalho do método.**

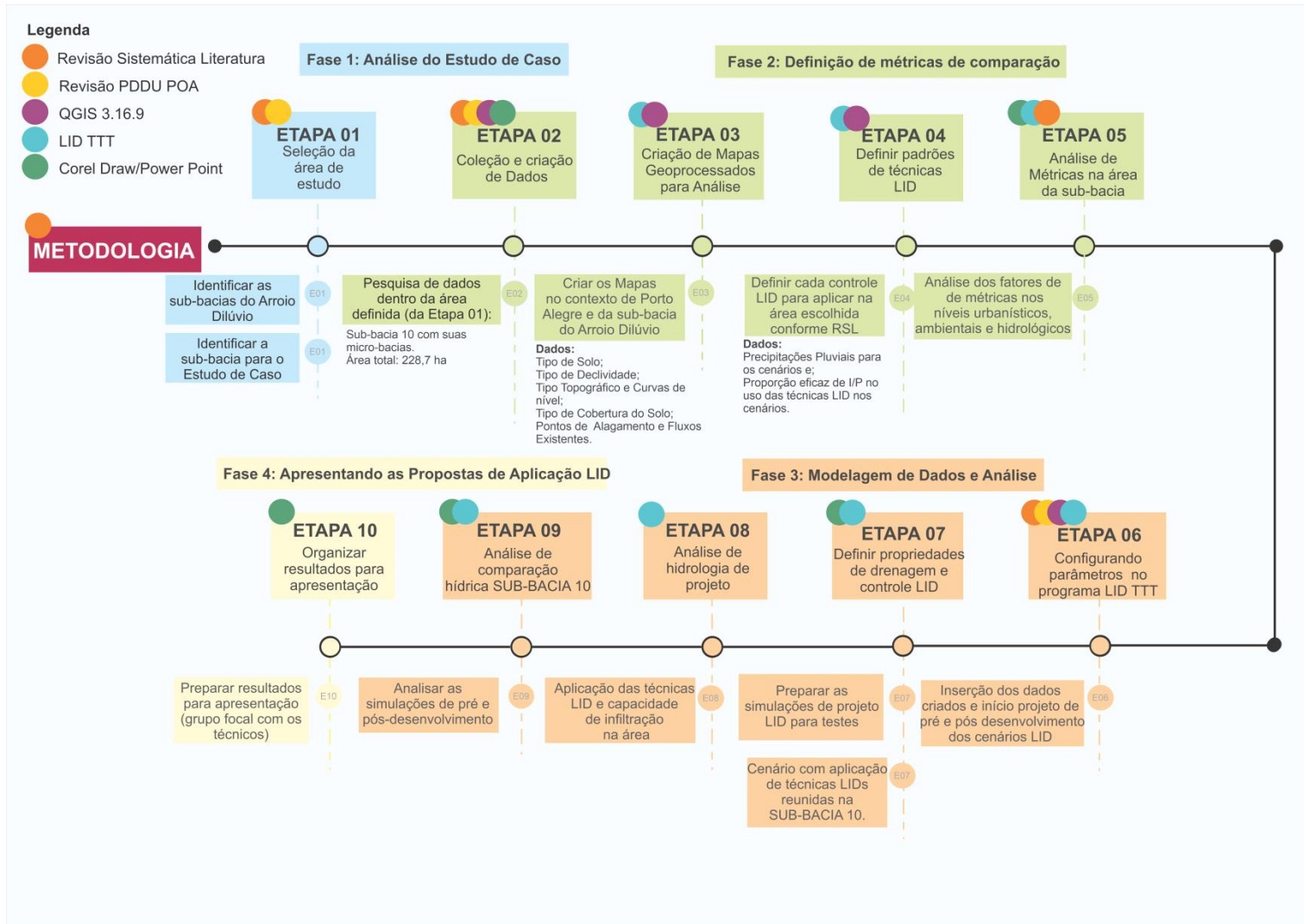
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Primeiramente, a etapa inicial consistiu na definição da área de estudo que se enquadram dentro da análise comparativa do PDDU de Porto Alegre (2014). Assim, a sub-bacia escolhida será o estudo de caso para as próximas etapas do processo. A segunda etapa de trabalho do método foi baseada no levantamento de dados e geoprocessamento realizado no *software* QGIS para analisar e medir os valores de

cada mapa. Esta etapa resultou em uma tabela de atributos que serão agregados na etapa seguinte de refinamento. Na etapa 03 associados ao refinamento serão utilizados os dados encontrados dos mapas geoprocessados no *software* de modelagem hídrica *LID TTT*. Esta etapa resultou na utilização das técnicas LID com a intenção de melhorias no controle dos alagamentos urbanos no estudo de caso desta pesquisa. Na Etapa 04 relacionada aos resultados e validação, consistiu em uma etapa de avaliação dos resultados que se integram no controle dos alagamentos urbanos da área e seus pontos divergentes.

A realização do estudo de caso baseado na proposição de uma metodologia para aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos para melhorias no desenvolvimento da drenagem urbana adaptáveis ao contexto das municipalidades sul-brasileiras requer uma análise integrada da área. Primeiramente, a identificação preliminar das técnicas LID foi através da revisão sistemática da literatura, da análise dos atributos chaves e do grupo de pesquisa de questionário com os técnicos das municipalidades sul-brasileiras nos capítulos anteriores.

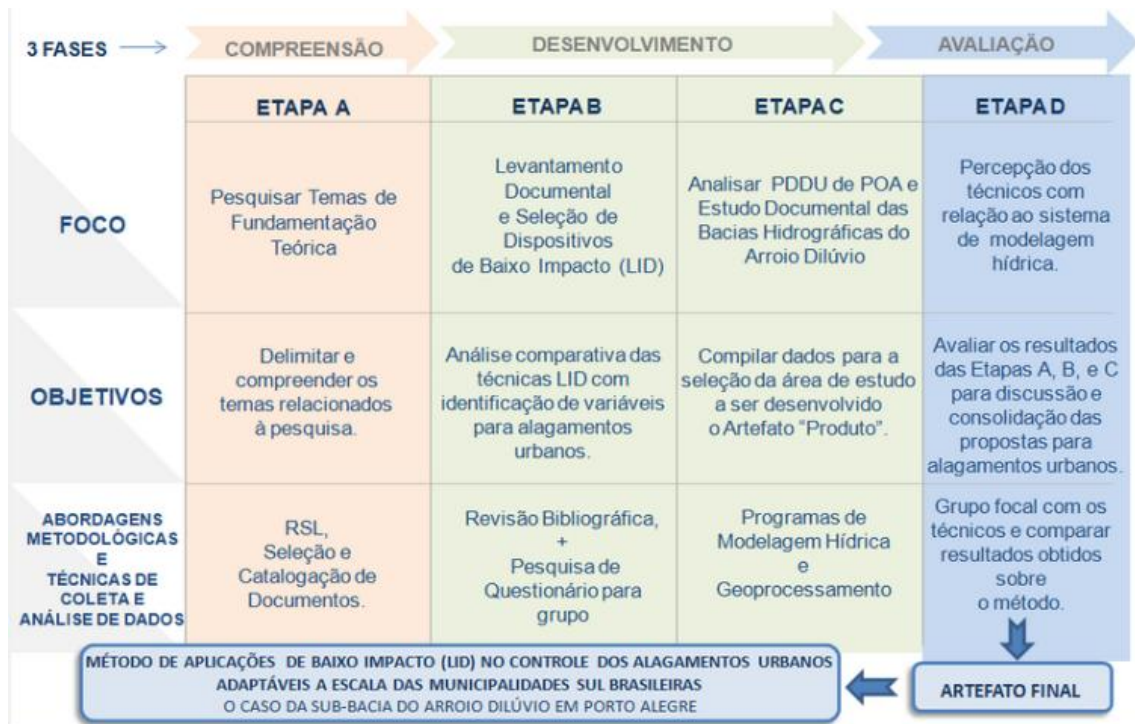
Assim, na sequência da metodologia foi dividido esse estudo em quatro fases demonstradas por meio de quatro cores distintas (conforme Figura 15), em que demonstra o mapeamento geral da metodologia. Por meio do desenho da metodologia proposta buscou-se analisar as etapas da proposição metodológica. Desta forma apresenta-se a Fase 1 - análise do estudo de caso: com a (Etapa 01 - seleção da área de estudo). Na Fase 2 – definição de métricas de comparação possui quatro etapas, entre as quais se destacam: (Etapa 02) coleção e criação de dados; (Etapa 03) criação de mapas geoprocessados para análise; (Etapa 04) análise de métricas na área da sub-bacia escolhida; (Etapa 05) definir padrões de técnicas LID. Na Fase 3 – modelagem de dados e análise abrangendo três etapas: (Etapa 06) configuração dos parâmetros no programa *LID TTT*; (Etapa 07) definição de propriedades de drenagem e controle LID; (Etapa 08) análise de hidrologia de projeto e; (Etapa 09) análise de comparação hídrica. Por fim, na Fase 4 apresentando as propostas de aplicação LID, a (Etapa 10) buscou organizar os resultados para apresentação ao grupo focal. Logo, este produto final também será apresentado e discutido com os técnicos municipais sul-brasileiros no capítulo de grupo focal confirmatório.



**Figura 15. Metodologia proposta para aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos.**  
 Fonte: Elaboração Própria Autora (2022).

### 3.2 DELINEAMENTO E ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa foi conduzida com base no delineamento proposto na Figura 16, onde cada etapa possui foco, objetivos, abordagens metodológicas e técnicas de coleta e análise de dados com vistas ao desenvolvimento do artefato final: método de aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos adaptáveis à escala das municipalidades sul-brasileiras, com estudo de caso da sub-bacia do Arroio Dilúvio em Porto Alegre.



**Figura 16. Delineamento e etapas da pesquisa construtiva.**  
Fonte: Elaborada pela autora.

Cabe ressaltar que na Figura 16 cada coluna corresponde a uma etapa de desenvolvimento da estratégia da pesquisa construtiva ou DSR, sendo:

A Etapa A desta pesquisa correspondeu à fase de Compreensão da estratégia de pesquisa construtiva, a qual visou encontrar um problema com potencial relevância e teórica para a pesquisa. Esta Etapa teve como objetivo compreender o contexto, o problema, as perguntas de pesquisa e os objetivos a serem investigados a partir de um *framework* conceitual sobre evolução da gestão das águas urbanas, efeitos da urbanização nas cidades, medidas de controle de alagamentos e tecnologias *Low Impact Development* (LID).

Paralelamente à compreensão da literatura, também foram realizadas nesta Etapa a (RSL) Revisão Sistemática da Literatura, assim aborda-se inicialmente, o delineamento da RSL, sua apresentação e esquematização, e por fim, apresenta-se

o resultado relacionado à etapa A (compreensão) da pesquisa através da revisão sistemática da literatura e *framework* conceitual. Essa etapa auxiliou na construção do método proposto na etapa subsequente, correspondendo à fase de Desenvolvimento da estratégia de pesquisa construtiva, o qual visa examinar o potencial das técnicas LID no controle dos alagamentos urbanos para as cidades.

A Etapa B corresponde à fase de Desenvolvimento da estratégia de pesquisa construtiva, a qual visou obter um profundo entendimento teórico da área de pesquisa, assim como propor técnicas de baixo impacto para o problema dos alagamentos urbanos, respectivamente. Esta Etapa teve como objetivo a identificação de variáveis LID para alagamentos urbanos das municipalidades sul-brasileiras com levantamento documental de estudos referenciados da área sustentável, além de selecionar os melhores Dispositivos de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) para os alagamentos urbanos. Por fim, a etapa busca alcançar melhorias, benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos através de pesquisa de questionário com os técnicos e profissionais de municipalidades sul-brasileiras.

A Etapa C desta pesquisa corresponde também à fase de Desenvolvimento da estratégia da pesquisa construtiva, a qual visou obter conhecimento através da análise do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre e o estudo documental das bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio, dessa forma, busca-se compilar os dados das bacias que se encontram no contexto dos alagamentos urbanos da cidade de Porto Alegre. A partir dessa análise foi realizada a seleção da sub-bacia escolhida para a área de estudo do Arroio Dilúvio, na qual foram implementadas e testadas às técnicas LID para o controle dos alagamentos urbanos através de análise espacial.

A Etapa D desta pesquisa corresponde à fase de Avaliação da pesquisa construtiva, a qual visou avaliar o método proposto. Esta Etapa teve como objetivo a avaliação do método escolhido por meio da percepção dos técnicos municipais sul-brasileiros envolvidos. Por fim, o objetivo foi realizar reflexões acerca das contribuições teóricas do método proposto encontrado para esta pesquisa.

### 3.2.1 Etapa A – Compreensão da Estratégia de Pesquisa Construtiva

A primeira etapa do trabalho representa a macroetapa de compreensão dos temas relacionados à pesquisa, a partir da revisão sistemática da literatura. Nesta etapa, a pesquisa foi desenvolvida em critérios de seleção analítica, através do levantamento bibliográfico de artigos encontrados nas bases de dados periódicos (*Scopus*, *Web of Science* e Periódicos CAPES) e documentos relacionados à pesquisa, tendo como objetivo a compreensão dos atributos conceituais relacionados. Esta etapa desdobrou-se em duas fases distintas: i) Fase Exploratória e a ii) Fase Descritiva conforme Quadro 5.

Fases da Etapa A	i) Fase Exploratória	ii) Fase Descritiva
Objetivos	Compreender os temas de fundamentação teórica relacionados a alagamentos urbanos.	Alcançar a compreensão do levantamento bibliográfico e documental obtido, além das limitações referentes à análise de conteúdo.
Obtenção de Dados	Revisão Sistemática da Literatura	Análise na Base de dados ( <i>Scopus</i> , <i>Web of Science</i> e Periódicos CAPES).

**Quadro 5. Fases da Etapa A**

Fonte: Elaboração própria autora (2022).

Foram atributos de análise reconhecidos na revisão sistemática da literatura:

- 1) Evolução da Gestão das Águas Urbanas – 08 publicações de trabalhos acadêmicos;
- 2) Efeitos da Urbanização nas Cidades – 21 publicações de trabalhos acadêmicos, 04 livros, 03 revistas e 04 sites;
- 3) Medidas de Controle de Alagamentos – 04 publicações de trabalhos acadêmicos, 06 livros, 04 revistas, 02 apostilas de curso e 01 site;
- 4) Tecnologias Low Impact Development (LID) – 29 publicações de trabalhos acadêmicos, 01 livro, 01 manual, 01 apostila de curso e 01 tese de doutorado.

Nessa etapa, uma revisão de literatura foi realizada para a delimitação de temas pertinentes ao objetivo da dissertação: evolução da gestão das águas urbanas, os efeitos da urbanização nas cidades, as medidas de controle dos alagamentos e as tecnologias Low Impact Development (LID). Paralelamente, foram

iniciadas a identificação, a seleção e a catalogação de uma série de documentos relacionados aos 25 artigos selecionados na revisão sistemática de literatura e considerado as principais referências e autores consagrados desses estudos, podendo ser útil para pesquisa e também à localização de outros estudos que foram encontrados, que consistiu em consultar referências bibliográficas do próprio estudo analisado (Brunton; Thomas, 2012).

Essa etapa possibilitou a melhor compreensão acerca dos temas relacionados ao estudo, bem como a delimitação do problema de pesquisa que envolve os alagamentos urbanos nas cidades. A partir dos mencionados documentos foram identificadas variáveis de sustentabilidade que contribuem para a captação e infiltração dos solos urbanos, os quais serão analisados com maior profundidade na etapa subsequente para estabelecer parâmetros de referência para as aplicações das técnicas LID que visam controlar os alagamentos urbanos no contexto das municipalidades sul-brasileiras.

### 3.2.2 Etapa B – Desenvolvimento da Pesquisa Construtiva (Análise Teórica)

A segunda etapa teve por objetivo realizar um levantamento documental e seleção dos dispositivos de Desenvolvimento de Baixo Impacto para desenvolver uma análise comparativa das técnicas LID com vista da identificação das variáveis de sustentabilidade ambiental para os alagamentos urbanos das municipalidades sul-brasileiras. Esta Etapa foi desdobrada nas seguintes sub etapas: i) fase descritiva e ii) fase exploratória. O Quadro 6 apresenta as fases da Etapa B, assim como os objetivos e a obtenção de dados para análise.

Fases da Etapa B	i) Fase Descritiva	ii) Fase Exploratória
Objetivos	Identificação de variáveis LID para alagamentos urbanos das municipalidades sul-brasileiras.	Alcançar melhorias, benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras.
Obtenção de Dados	Levantamento Documental e Seleção de Dispositivos de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID).	Questionário com técnicos das municipalidades sul-brasileiras (cidades escolhidas dos três estados sul brasileiros – Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).  Pesquisa de Questionário para grupo

**Quadro 6. Fases da Etapa B**

Fonte: Elaboração própria autora (2022).

O diagnóstico de análise teve como foco as variáveis de sustentabilidade para alagamentos urbanos que foram identificadas no *Framework* Conceitual de Revisão Sistemática de Literatura da Etapa A deste método. Nesta etapa da metodologia, pretendeu-se identificar através destas variáveis, o mapeamento das técnicas de baixo impacto (LID) que possuíam o conjunto de características aplicáveis para o controle dos alagamentos urbanos em áreas afetadas nas municipalidades sul-brasileiras. Para esta etapa foram selecionados artigos, manuais, sites e publicações de trabalhos acadêmicos que permitam uma maior compreensão sobre as técnicas LID e sua relação ao contexto dos alagamentos urbanos.

Em adição, com o objetivo de alcançar melhorias de acordo com as técnicas LID mapeadas nesta etapa, foi realizada uma pesquisa de questionário com técnicos de municipalidades sul-brasileiras nos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul conforme Quadro 7.

Pesquisa de Questionário	Pesquisa Exploratória
Objetivos	Alcançar melhorias, benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras.
Papel do Questionário	Fornecimento de informações que possam ser utilizadas para eventuais mudanças no artefato (estudo de caso) a ser criado da sub-bacia do Arroio Dilúvio.  Refinamento das técnicas LID utilizadas e a identificação de constructos a serem utilizados nas etapas subsequentes.
Etapa a realizar o questionário	Etapa B
Participantes	Técnicos de municipalidades sul-brasileiras (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).  Pesquisa de Questionário Grupo 01 Exploratório

**Quadro 7. Pesquisa de Questionário – Etapa B**

Fonte: Elaboração própria autora (2022).

Segundo Parasuraman (1991), um questionário é tão somente um conjunto de questões, feito para gerar os dados necessários para se atingir os objetivos do projeto. Embora o mesmo autor afirme que nem todos os projetos de pesquisa utilizam essa forma de instrumento de coleta de dados, o questionário é muito importante na pesquisa científica. Parasuraman afirma também que construir questionários não é uma tarefa fácil e que aplicar tempo e esforço adequados para a construção do questionário é uma necessidade, um fator de diferenciação favorável.



Não existe uma metodologia padrão para o projeto de questionários, porém existem recomendações de diversos autores com relação a essa importante tarefa no processo de pesquisa científica.

Com relação aos critérios de análise para que fossem escolhidas as cidades sul brasileiras relevantes foram levados em consideração três fatores: (a) municípios que estejam inseridos nos estados sul brasileiros (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul); (b) cidades que sofreram e sofrem com alagamentos urbanos; e (c) municípios que tenham arroios em áreas urbanas consolidadas e dentro do perímetro da cidade.

Dessa forma com uso de questionário nesta etapa buscou-se alcançar melhorias, benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras, através da investigação de como os técnicos apreciam e reconhecem os locais e elementos típicos das técnicas LID urbanas. Além disso, também foram avaliadas questões relacionadas a problemas de gestão de águas pluviais e práticas LID em áreas urbanizadas.

As contribuições geradas pela pesquisa de questionário foram elaboradas por formulário via *Google Forms* e encaminhadas por email para as prefeituras das municipalidades sul-brasileiras (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Antes do envio do email aos técnicos das municipalidades, pretendeu-se fazer contato com as prefeituras via telefonemas, dessa forma, verificou os departamentos e setores responsáveis pelo urbanismo e drenagem urbana da cidade, levando em consideração as perguntas elaboradas na pesquisa de questionário. Após os telefonemas e contatos com os profissionais responsáveis, foi enviado via e-mail carta convite somente para os técnicos e profissionais da prefeitura de cada cidade escolhida.

Um roteiro foi elaborado para a pesquisa de questionário via *Google forms* para que todos os profissionais de cidades e estados sul brasileiros diferentes respondam às mesmas questões com relação ao desenvolvimento de baixo impacto (Técnicas LID), reconhecendo problemas de gestão urbana de acordo com sua cidade de lotação profissional. Em seguida foi realizada a análise de conteúdo das respostas visando identificar os benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras.

Cabe considerar que esta etapa foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa, e os resultados potencializaram o refinamento das técnicas LID utilizadas

e a identificação de constructos a serem utilizados nas etapas subsequentes, além do desenvolvimento do artefato e produto final da sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (estudo de caso), que será apresentado na próxima etapa.

### 3.2.3 Etapa C – Desenvolvimento da Pesquisa Construtiva (Análise Espacial)

A terceira etapa, como parte da macroetapa de desenvolvimento, teve como objetivo analisar o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre e o estudo documental das bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio de referência. A partir dessa análise foram compilados dados para a seleção da bacia escolhida para a área de estudo do Arroio Dilúvio através de análise espacial com o Programa de Modelagem Hídrica *Software LID TTT* e o *Software* de Geoprocessamento *QGIS 3.16.9*.

A bacia hidrográfica foi escolhida através da análise do total de bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio, a partir de um trabalho de geoprocessamento da área. A seleção da bacia hidrográfica de referência foi reconhecida através de uma análise comparativa. Segundo Fachin (2001), o método comparativo consiste em investigar fatos e explicá-los segundo suas diferenças e semelhanças, com a dedução de divergências e similaridades de elementos constantes, abstratos e gerais, propiciando investigações de caráter direto. Neste sentido, foram observadas características dentro do contexto dos alagamentos urbanos de Porto Alegre, bem como a área de estudo relacionada a critérios espaciais estabelecidos decorrentes das (i) condicionantes de uso e ocupação da área; (ii) características de declividade do solo em suas estruturas topográficas, (iii) sistema de drenagem existente e, (iv) contraste socioeconômico da bacia escolhida.

Para possibilitar o melhor desenvolvimento do objeto de estudo, foi necessário dividir a análise em duas etapas, conforme apresentado no Quadro 8.

Fases da Etapa C	Obtenção dos Dados	Análise dos Dados
(1) Proposta do Método	(a) Revisão dos Estudos do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre; (b) Estudo Documental das Bacias Hidrográficas do Arroio Dilúvio.	(c) Análise de Conteúdo através de autores referenciados no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre.

<p>(2) Objeto de Estudo para a implementação do método e representação do produto final</p>	<p>(d) Processo da pesquisa para desenvolvimento do estudo de caso.</p>	<p>(e) Escolha da sub-bacia hidrográfica através de análise espacial comparativa com critérios relevantes para o objeto de estudo; (f) Análise da sub-bacia escolhida através do <i>software</i> QGIS e <i>software LID TTT</i>; (g) Diagnóstico do produto final e resultados encontrados.</p>
---	---	---

**Quadro 8. Fases da Etapa C**

Fonte: Elaboração própria autora (2022).

A primeira etapa segue pela (1) proposta do método em que analisa (a) revisão dos estudos do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre; e (b) estudo documental das Bacias Hidrográficas do Arroio Dilúvio; buscando, (c) a análise de conteúdo dos dados através de autores referenciados no PDDU de Porto Alegre. A segunda etapa representada pelo estudo da (2) sub-bacia escolhida para a implementação do método e representação do produto final, que foi composto das sub-etapas: (d) processo de pesquisa para desenvolvimento do estudo de caso; analisado através da (e) escolha da sub-bacia hidrográfica com a análise espacial comparativa e critérios estabelecidos de seleção para o objeto de estudo; (f) análise da sub-bacia escolhida através do *software* QGIS 3.16.9 e *software* LID TTT; e (g) diagnóstico do produto final e resultados encontrados da análise dos dados processados.

A análise dos dados e o produto final processado nos *softwares* estabeleceram os critérios para a versão que foi apresentada para a construção de um método de avaliação de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos adaptáveis a municipalidades sul brasileiras no contexto do município de Porto Alegre. Logo, este produto final também foi apresentado e discutido com os técnicos municipais sul-brasileiros, a serem apresentados na próxima etapa.

Além disso, é importante ressaltar que a autora da pesquisa também desenvolveu na disciplina do PROPUR de Ambiente Hídrico um artigo científico publicado no XXX Congresso Latino Americano de Hidráulica, com foco em “Potencialidades do Programa *LID TTT* no Estudo de Caso de Porto Alegre, RS Brasil”, que trata de uma atividade prática de análise de drenagem urbana sustentável no CEASA (Central Estadual de Abastecimento), no município de Porto Alegre. Pretende-se com o auxílio deste artigo utilizá-lo nesta etapa da pesquisa

como embasamento para a aplicação de técnicas sustentáveis na sub-bacia escolhida do Arroio Dilúvio em Porto Alegre.

#### **3.2.4** Etapa D – Avaliação da Pesquisa Construtiva

A última etapa do trabalho refere-se à avaliação dos resultados obtidos através de grupo focal (*focus group*). Esse diagnóstico foi realizado por meio da condução de uma abordagem de percepção dos técnicos municipais envolvidos das municipalidades sul-brasileiras ligadas ao desenvolvimento de recursos hídricos, drenagem urbana e saneamento ambiental. O objetivo desta etapa foi avaliar as etapas A, B e C, bem como discutir e consolidar as aplicações sustentáveis para os alagamentos urbanos no contexto de Porto Alegre e demais municipalidades sul-brasileiras. O material desenvolvido nas etapas anteriores foi apresentado com o intuito de gerar discussões para a melhoria e refinamento do método de aplicação de tecnologias de baixo impacto (LID) para o controle dos alagamentos urbanos municipais. No grupo focal foi realizada a avaliação da clareza das soluções esboçadas, bem como da utilidade e da pertinência das aplicações de desenvolvimento de baixo impacto na drenagem urbana.

Segundo Minayo (2009, p. 132), a estratégia do grupo focal traz como técnica qualitativa a coleta de dados em seu caráter dinâmico, posto que a entrevista seja parte relevante da pesquisa (por causa dos dados específicos que nela afloram), ressaltando um conjunto de dados que encadeará as informações que o pesquisador lançará mão para compor a análise. Para Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), os grupos focais garantem uma discussão mais profunda e colaborativa em relação aos artefatos desenvolvidos, gerando assim, melhorias adicionais no artefato de forma colaborativa. Além disso, a pesquisa com grupos focais permite fazer emergir uma multiplicidade de pontos de vista e processos emocionais, pelo próprio contexto de interação criado, permitindo a captação de resultados e significados que permitem a construção da realidade com a compreensão de práticas cotidianas, de atitudes, comportamentos e traços em comum dos grupos sociais, relevantes para o estudo e para a investigação do problema da pesquisa (Gatti, 2005; Lopes, 2014).

Ademais, outro ponto importante que deve ser destacado é o processo de apreciação deste trabalho através do grupo focal e a pesquisa de questionário em

que foi submetido para a COMPEAQ e o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (CEP-Plataforma Brasil), conforme apresentado na sequência.

#### **3.2.4.1 Avaliação do projeto de pesquisa pela COMPEAQ e pelo Comitê de ética da UFRGS (CEP)**

Após qualificação desta pesquisa em 31 de agosto de 2022, foram realizadas as revisões e adaptações necessárias para posterior submissão da pesquisa à apreciação da Comissão de Pesquisa da UFRGS (COMPEAQ) e do Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (CEP) realizado pela Plataforma Brasil. A pesquisa foi submetida à análise da COMPEAQ (número 43327), em 31 de outubro de 2022, recebendo parecer de “aprovação sem alterações” em 21 de novembro do mesmo ano. Em 05 de dezembro de 2022, a pesquisa foi submetida à apreciação do CEP (CAAE: 65815122.5.0000.5347), recebendo parecer de “aprovado” na versão 2, em 18 de janeiro de 2023. Os pareceres da COMPEAQ e do CEP se encontram no Anexo 01 desta dissertação.

#### **3.2.4.2 Validação coleta de dados desta pesquisa**

Com o objetivo de validar o instrumento de coleta de dados a autora da pesquisa buscou comparar os resultados das etapas posteriores para avaliar e consolidar as soluções finais da pesquisa. Assim, os dados obtidos devem considerar o processo em grupo, por meio da utilização da entrevista e, buscar obter dados objetivos e subjetivos necessários ao estudo (Oliveira *et al.*, 2020, p.04). Os dados objetivos podem ser obtidos através do uso de fontes como o *software* de georreferenciamento *QGIS* e do *software* de modelagem hídrica *LID TTT*. Entretanto os dados subjetivos, de maneira geral, só podem ser obtidos por meio do uso de entrevista, uma vez que tais dados se relacionam com os valores e às opiniões das pessoas entrevistadas.

Para um resultado coerente aos objetivos da pesquisa, o delineamento do grupo foi definido de forma coerente, tendo em vista apresentar um método de avaliação de aplicações extensivas de técnicas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos adaptáveis à escala de municipalidades sul brasileiras, com estudo de caso do Arroio Dilúvio em Porto Alegre, RS. Segundo Gil (2007), a composição do grupo focal deve ter no mínimo seis e no máximo dez participantes.

A esse respeito, Gatti (2005), instrui também sobre o número de participantes que deve ser de 6 a 12 pessoas. Por outro lado, grupos maiores restringem a troca de ideias, o registro e o aprofundamento sobre a temática.

Outro ponto distintivo para Gatti (2005), em relação ao convite e a motivação do grupo focal, pois mesmo com a adesão dos participantes pode haver ausências de última hora. Em consonância com tal contexto, Nery (2006, p.57), retrata que é importante determinar um número ideal para o grupo focal, porém, durante o planejamento, deve-se deixar disponível um número maior, caso seja necessário recompor a ausência de algum integrante do grupo, dessa forma, os grupos de foco devem ser muito bem planejados. As reuniões deverão ocorrer em modo presencial ou remoto (plataforma virtual), dependendo do momento de pandemia, e o moderador será a autora da pesquisa. Além disso, a tarefa básica do moderador será manter o grupo em interação por um tempo de 60 a 90 minutos, com a finalidade de obter dados acerca do tema da pesquisa (Kind, 2004).

Essa técnica precisa ser bem planejada para que seja possível obter informações mediante a interação entre os participantes, gerando consensos ou divergências de opiniões. É importante a elaboração de um roteiro que vai guiar as estratégias do moderador para a condução dos debates, buscando captar o ponto de vista de todos e de cada um. O principal valor do grupo focal se baseia na capacidade humana de formar opiniões e atitudes por meio da interação com outros indivíduos (Minayo, 2008). Os grupos focais podem ser aplicados como um método único ou combinado com outros instrumentos como observações, entrevistas individuais, questionários, entre outros (Flick, 2009).

Com relação à utilização de questionário como instrumento de coleta de dados em pesquisas qualitativas, Minayo (2008) afirma que esta técnica tem um lugar de complementaridade às técnicas de aprofundamento qualitativo. Dessa forma, nesta pesquisa, pretende-se utilizar o questionário como complemento aos demais instrumentos de coleta de dados com o intuito de obter dos participantes respostas a questões mais precisas acerca da experiência vivenciada, uma vez que, as perguntas do questionário, geralmente, dão origem a respostas rápidas e específicas (Boni; Quaresma, 2005).

As etapas para a condução da discussão no grupo focal serão desenvolvidas com base na sugestão de Debus (1988) no artigo intitulado “Manual para excelência em la investigación mediante grupos focales” e a autora Kind (2004) com o artigo

intitulado “Notas para o trabalho com a técnica de grupos focais”. Segundo os autores, as etapas a serem realizadas seguem o seguinte cronograma:

- **Introdução: Abertura do Moderador**

Este é o momento de estabelecer o *rapport*<sup>6</sup> com o grupo, dessa forma é uma maneira rápida e eficiente de gerar confiança, cooperação e diálogo, sendo de grande utilidade para as relações interpessoais, com maior interação e trocas de informações. O moderador deve fazer breve introdução, com o objetivo de tranquilizar e estabelecer o enquadre para o grupo; ele se apresenta e explica os objetivos do grupo, e, em seguida, assegura para os participantes que não existem opiniões corretas, que opiniões contrárias serão bem-vindas e que não há interesse em nenhuma opinião em particular.

- **Etapa I: preparação**

O moderador convida os participantes a se apresentarem. O objetivo aqui é estabelecer boa relação entre os participantes. No final desta etapa, os vários indivíduos devem estar interagindo e começando a se organizar em torno do tema. É dever do moderador fazer a transição de uma etapa para a seguinte de forma fluida, sem rompimentos bruscos. Esta etapa dura aproximadamente 10 minutos.

- **Etapa II: conjunto do debate em grupo**

O objetivo agora se aproxima mais dos objetivos da pesquisa: “Explorar plenamente a natureza da dinâmica das atitudes associadas com os comportamentos dos participantes e observar diretamente a linguagem e emoções dos participantes associadas com a temática tratada” (Debus, 1998, p. 69).

Nesta hora, o moderador deve dispor da sua habilidade de permitir que o debate transcorra de forma espontânea, estando atento, porém, para os prováveis desvios do tema. É essencial a investigação em profundidade. Deve-se recorrer a técnicas que aprofundem a discussão. Além disso, o moderador deve estar atento também para deixar em suspenso um tema demasiadamente profundo, levantado prematuramente por algum participante, e retomá-lo oportunamente, dando a palavra ao participante que o trouxe para a discussão. A inserção de perguntas não previstas no temário, mas que se mostrem importantes para a elucidação do tema proposto deve ser realizado quando se fizer necessária.

---

6 De acordo com a autora Travelbee (1963, tradução nossa) no artigo “O que queremos dizer com *rapport*?”, *rapport* é uma maneira particular pela qual percebemos e nos relacionamos com nossos semelhantes. É composto por um conjunto de pensamentos e sentimentos inter-relacionados: interesse e preocupação pelos outros; empatia, compaixão e simpatia; uma atitude de não julgamento e respeito ao indivíduo como ser humano único. O *rapport* também é caracterizado pela capacidade de traduzir esses sentimentos e atitudes em ações inteligentes e criativas, para comunicá-los ao outro de maneira verbal e não verbal. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/3452595>> Acesso em: 01 out. 2022.

- **Etapa III: encerramento do grupo**

O encerramento requer a exposição, de maneira sintética, da discussão promovida pelo grupo focal. Pode-se também esclarecer dúvidas que tenham ficado pendentes. O moderador deve ficar atento para não inferir juízos de valor ao resumir posicionamentos contrários no grupo. O propósito é identificar, com o grupo presente, temas principais, consolidar os sentimentos dos grupos acerca de algumas questões e identificar diferenças principais.

- **Etapa IV: questões posteriores à avaliação do grupo**

Na avaliação dos resultados obtidos, esta etapa visa verificar se as necessidades de informação foram satisfeitas, se são necessários mais grupos, se o temário precisa ser revisto e se é necessária uma investigação quantitativa de alguns resultados. Feita essa primeira análise, deve-se tomar providências para futuras investigações.

- **Etapa V: Análise dos Resultados**

A análise deve ser feita pela organização do tema. O procedimento de análise envolve tanto uma análise temática quanto uma análise das interações, necessariamente interligadas (Kind, 2004, p.131).

As delimitações para a construção e condução dos grupos focais nesta pesquisa apontam para o uso criterioso do recurso metodológico. O grupo focal, por usar da fundamentação inscreve-se na construção de conhecimento em espaços de intersubjetividade (Kind, 2004). Dessa forma, devemos pressupor que muitos dos participantes ouvidos no grupo focal formem um grupo de semelhanças e diferenças, construções e desconstruções, inerentes a intersubjetividade que está sendo discutida nesta pesquisa.

Dessa forma, a pesquisadora desta dissertação foi a moderadora dos dois grupos que serão apresentados, na Etapa B (grupo pesquisa de questionário exploratório) e Etapa D (grupo focal confirmatório) desta pesquisa, para obter contribuições dos técnicos, conforme informações no Quadro 9.

Fases da Etapa B e D	Fase B - Pesquisa Exploratória	Fase D - Grupo Focal Confirmatório
Objetivos	Alcançar melhorias, benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul brasileiras.	Demonstrar a utilidade da aplicação das técnicas LID desenvolvidas no campo de processamento de dados.  Demonstrar a utilidade das técnicas LID para Porto Alegre através do estudo de caso da sub-bacia do Arroio Dilúvio.
Papel do Grupo	Fornecimento de informações que possam ser utilizadas para eventuais mudanças no artefato a ser criado da sub-bacia do Arroio Dilúvio.	Avaliar as etapas subsequentes bem como discutir e consolidar as aplicações sustentáveis para os alagamentos urbanos no contexto de Porto Alegre e demais municipalidades.



	Refinamento das técnicas LID utilizadas e a identificação de constructos a serem utilizados nas etapas subsequentes.	O material desenvolvido nas etapas anteriores será apresentado com o intuito de gerar discussões para a melhoria e refinamento do método de aplicação de tecnologias LID para o controle dos alagamentos urbanos em municipalidades sul-brasileiras.
Etapa a realizar o Procedimento	Etapa B	Etapa D
Participantes	Técnicos de municipalidades sul-brasileiras (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). <b>Pesquisa de Questionário</b> <b>Grupo 01 Exploratório</b>	Técnicos e profissionais das municipalidades de Porto Alegre-RS, Toledo-PR e Itajaí-SC. <b>Grupo 02 - Focal</b> <b>Confirmatório</b>

**Quadro 9. Síntese da Pesquisa de Questionário e Grupo Focal**

Fonte: Elaboração própria autora (2022).

Os grupos serão compostos por pesquisadores de distintas áreas que contemplem as áreas pesquisadas nesta dissertação. Desta maneira os pesquisadores serão divididos em dois grupos para as reuniões, conforme Quadro 10.

Grupo	Local de trabalho dos Profissionais	Área Atuação Profissional	Total Participantes esperados
Grupo 01 Exploratório Pesquisa de Questionário Etapa B	Paraná (Prefeituras Municipais)	Arquiteto e Urbanista, Engenheiro Civil, Engenheiro Florestal, Topógrafo, Administrador, Biólogo.	15
	Santa Catarina (Prefeituras Municipais)	Arquiteto e Urbanista, Engenheiro Civil.	10
	Rio Grande do Sul (Prefeituras Municipais)	Arquiteto e Urbanista, Engenheiro Civil.	08
Grupo 02 Confirmatório Grupo focal Etapa D	Prefeituras das Municipalidades do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.	Arquiteto e Urbanista, Engenheiro Civil, Engenheiro Ambiental, Topógrafo.	05

**Quadro 10. Divisão dos grupos (Pesquisa de questionário e grupo focal).**

Fonte: Elaboração própria autora (2022).

A pesquisa de questionário foi realizada na Etapa B deste método, com o Grupo 01 Exploratório (que contemplará profissionais de municipalidades sul brasileiras, das prefeituras do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). O objeto de realização deste grupo foi de alcançar melhorias, benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras. As contribuições geradas pela pesquisa de questionário foram elaboradas por formulário via *Google Forms* e encaminhadas por email para as prefeituras das municipalidades sul brasileiras (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Antes do envio do email aos técnicos das municipalidades, foi feito contato com as prefeituras via telefonemas, dessa forma, foi possível verificar os departamentos e setores responsáveis pelo urbanismo e

drenagem urbana da cidade, levando em consideração as perguntas que serão elaboradas na pesquisa de questionário. Após os telefonemas e contatos com os profissionais responsáveis, foi enviado via e-mail carta convite somente para os técnicos e profissionais da prefeitura de cada cidade escolhida.

O Grupo Focal Confirmatório (que contemplou profissionais das municipalidades sul-brasileiras) foi realizado na Etapa D desta metodologia em que foi abordado com os resultados adquiridos das etapas posteriores (A, B e C), bem como a discussão e consolidação do método avaliação das aplicações de técnicas LID para o controle dos alagamentos urbanos no contexto de Porto Alegre e demais municipalidades sul brasileiras, buscando o fechamento da dissertação.

As contribuições geradas pelo Grupo Focal confirmatório através dos técnicos que trabalham nas Prefeituras das municipalidades do PR, SC e RS, em que foram convidados para a reunião via e-mail com link de acesso a sala via *Google Meet*. No dia referente à reunião do grupo focal foram registradas na plataforma de videoconferência por meio de gravações, a partir de conversas livres sobre o tema apresentado, além disso, será feita a transcrição completa das respostas de cada um dos participantes. Um roteiro foi elaborado de forma que todos respondam as mesmas perguntas realizadas após a apresentação da pesquisa de dissertação. Por fim, será utilizado o método de análise de conteúdo do grupo focal confirmatório para a análise final e estatística referente às respostas dos técnicos convidados.

Em conclusão, esta pesquisa traz como garantia à comunidade, aos participantes da pesquisa e instituições a proposição de um método para um problema real encontrado através dos estudos, que poderá auxiliar como ferramenta no planejamento urbano, e de que, quando concluído os resultados do estudo, estará disponível na biblioteca da UFRGS em meio físico e digital, podendo ser acessada por qualquer pessoa que tenha interesse em seu conteúdo.

Após a apresentação do delineamento da pesquisa, juntamente com as quatro fases metodológicas que norteiam o desenvolvimento da presente dissertação (Etapa A – Compreensão; Etapa B e C – Desenvolvimento e Etapa D – Avaliação), são apresentados no próximo capítulo a Etapa B desta metodologia. A qual corresponde à fase de desenvolvimento do método de pesquisa, demonstrado através das aplicações e melhorias com técnicas LID para controle dos alagamentos urbanos das cidades.

## 4 TÉCNICAS LID PARA CONTROLE DOS ALAGAMENTOS URBANOS

Este capítulo apresenta o levantamento documental e seleção dos dispositivos de Desenvolvimento de Baixo Impacto para desenvolver uma análise comparativa das técnicas LID com vista à identificação das variáveis de sustentabilidade para os alagamentos urbanos das municipalidades sul-brasileiras. Primeiramente é apresentado o diagnóstico de análise das variáveis de sustentabilidade para alagamentos urbanos que foram identificadas no *Framework* Conceitual de Revisão Sistemática de Literatura. Concomitantemente a esta etapa, pretende-se identificar através destas variáveis, o mapeamento das técnicas de baixo impacto (LID) que possuam o conjunto de características sustentáveis para o controle dos alagamentos urbanos em áreas afetadas nas municipalidades.

Visando alcançar os objetivos da Etapa B desta dissertação, este capítulo envolve quatro etapas: (4.1) definição e análise de sustentabilidade para identificar os atributos-chave<sup>7</sup> de acordo com as variáveis de sustentabilidade encontradas no *framework* conceitual. Na segunda etapa buscou (4.2) analisar os atributos chave e o desempenho das técnicas LID, tendo em vista a identificação de possíveis técnicas que apresentem aspectos que os promovam à categoria de aplicações sustentáveis para os alagamentos urbanos. Por fim, na terceira etapa (4.3) buscou-se analisar as características qualitativas das técnicas LID através da sua utilização em áreas urbanizadas consolidadas.

### 4.1 DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDADE

As variáveis identificadas anteriormente no *framework* conceitual (Etapa A) foram analisadas em conjunto, a partir de uma matriz, levantou-se assim, um total de 19 variáveis de sustentabilidade citados pelos autores na revisão sistemática da literatura; com isso, foi feito um agrupamento levando em consideração sua natureza e proximidade do assunto (Quadro 11), gerando dessa forma, os Atributos-Chave como forma de identificação única dos valores das variáveis que foram associados para cada grupo relacionados aos autores referidos.

---

<sup>7</sup> De acordo com Tontini e Sant'ana (2007), a palavra "Atributo- Chave" é utilizada para identificar de forma única uma entidade, descobrir como o desempenho de diferentes atributos está relacionado a satisfação da área correlacionada. Ainda, a identificação de atributos melhora as oportunidades de melhorias em bens e serviço. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2007000100005> > Acesso em: 20 set. 2022.

Grupo	Atributos - Chave	Termo de Definição Conceitual Reconhecidos	Variáveis de Sustentabilidade (RSL)	Atributos Conceituais Reconhecidos	Autores Referenciados
1	Escoamento e Drenagem Pluvial para Alagamentos	Efeitos da Urbanização nas Cidades	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proteção ou restauração da morfologia do arroio;</li> <li>2. Identificar os fluxos que devem ser evitados em arroios;</li> <li>3. Implementação de bacias de retenção de águas pluviais com tomadas menores e de vários níveis para reduzir os fluxos acima dos limites erosivos.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Impacto para o fluxo das águas;</li> <li>✓ Excesso de Escoamento de águas pluviais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chocat <i>et al.</i>, 2001;</li> <li>• Fletcher <i>et al.</i>, 2014;</li> <li>• Gaur; Simonovic, 2018;</li> <li>• Jemberie; Melesse, 2021;</li> <li>• Kang <i>et al.</i>, 2016;</li> <li>• Kourtis <i>et al.</i>, 2020;</li> <li>• Schilling <i>et al.</i>, 2014;</li> <li>• Vietz <i>et al.</i>, 2014a;</li> <li>• Zhou, 2012, 2013, 2014.</li> </ul>
2	Qualidade da Água e do Espaço	Medidas de Controle de Alagamentos	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Medidas de controle de águas pluviais que reduzem o volume do excesso de escoamento de águas pluviais para os arroios, proporcionando qualidade de água adequada;</li> <li>5. Múltiplos benefícios das medidas de controle de águas pluviais;</li> <li>6. Preservação do espaço ribeirinho.</li> <li>7. Reduzir o impacto dos alagamentos nas obras.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistema de drenagem que capta problemas causados pelas águas pluviais;</li> <li>✓ Planejar e controlar a distribuição do escoamento superficial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roy <i>et al.</i>, 2008;</li> <li>• Silveira, 2002b;</li> <li>• Steveaux <i>et al.</i>, 2009</li> <li>• Trinh; Chui, 2013;</li> <li>• Tucci, 1999;</li> <li>• Vietz, 2013;</li> <li>• Vietz <i>et al.</i>, 2014a;</li> <li>• Vietz <i>et al.</i>, 2014b;</li> <li>• Walsh <i>et al.</i>, 2005;</li> <li>• Walsh; Fletcher; Burns, 2012.</li> </ul>
3	Desenvolvimento Ambiental e Mudanças Socioambientais	Evolução da Gestão das águas Urbanas	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. Chamar a atenção do planejamento público para os benefícios de arroios ecologicamente saudáveis em cidades sustentáveis;</li> <li>9. Incentivar os processos de planejamento e aprovação em escala de captação;</li> <li>10. Percepção Pública de arroios por meio de projetos sustentáveis focados em objetivos sociais;</li> <li>11. Mudanças na política e na legislação para a proteção e restauração de arroios por meio da mudança de valores e atitudes.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Impedimentos sociais e institucionais;</li> <li>✓ Gestão e Instituições Públicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Burton <i>et al.</i>, 2018;</li> <li>• Cruz; Tucci, 2008;</li> <li>• Trinh; Chui, 2013.</li> <li>• Tucci, 1999;</li> <li>• Vietz <i>et al.</i>, 2014a.</li> </ul>
4	Desempenho das Combinações LID	Tecnologias Low Impact Development (LID)	<ol style="list-style-type: none"> <li>12. Medidas sustentáveis de mitigação para alagamentos;</li> <li>13. Redução de impactos econômicos e ambientais associados a eventos de chuvas fortes;</li> <li>14. Mantém o equilíbrio hídrico das paisagens;</li> <li>15. Práticas de baixo impacto e abordagens sustentáveis;</li> <li>16. Captação de armazenamento de água em área designada da paisagem;</li> <li>17. Utilização de técnicas de baixo impacto (LID) aplicadas na cidade que contribuem para a captação e infiltração dos solos.</li> <li>18. As técnicas LID desempenham a absorção de poluentes no escoamento de águas pluviais e na liberação de ar limpo no meio ambiente;</li> <li>19. Vantagens hidráulicas e efeitos ambientais sustentáveis quando aplicadas essas medidas de controle de baixo impacto.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Técnicas modernas que procuram imitar o pré-desenvolvimento das condições ambientais;</li> <li>✓ Aplicação de práticas que procuram imitar o regime hidrológico e o equilíbrio hídrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fletcher <i>et al.</i>, 2014</li> <li>• Fletcher; Andrieu; Hamel, 2013;</li> <li>• Kourtis <i>et al.</i>, 2020;</li> <li>• Trowsdale; Simcock, 2011;</li> <li>• Vietz <i>et al.</i>, 2014a;</li> <li>• Vrbán, 2019;</li> <li>• Zhou <i>et al.</i>, 2013, 2018, 2020.</li> </ul>

**Quadro 11. Agrupamento das Variáveis de Sustentabilidade.**

Fonte: Autora (2022).

Desse modo, foi possível definir quatro grupos a partir de um termo de Atributo-Chave como definição para o grupo das variáveis descritas. Em relação ao Grupo 1, os atributos-chave foram definidos pelo tema de Escoamento e Água Pluvial para Alagamentos, englobando impactos e excesso nas águas subterrâneas

e sua dinâmica com o fluxo natural dos arroios evitando problemas urbanos na gestão das águas pluviais.

O Grupo 2, engloba a Qualidade da Água e do Espaço, este atributo assegura os serviços relacionados a medidas e sistemas de controle aos arroios através da drenagem urbana pluvial proporcionando qualidade da água para a população, além de melhorias nos espaços públicos e a interação dos usuários com melhorias de desenvolvimento sustentável.

No Grupo 3, de Desenvolvimento Ambiental e Mudanças Socioambientais, é destacada para a percepção pública dos arroios por meio de projetos sustentáveis, mudanças na política e na legislação para restaurar os valores de sustentabilidade na cultura das cidades referindo-se a questões de água, solo e vegetação, além de questões bioclimáticas, que ajudam a se adaptar ao ambiente e ao clima local das cidades para minimizar o impacto causado ao meio ambiente através das urbanizações.

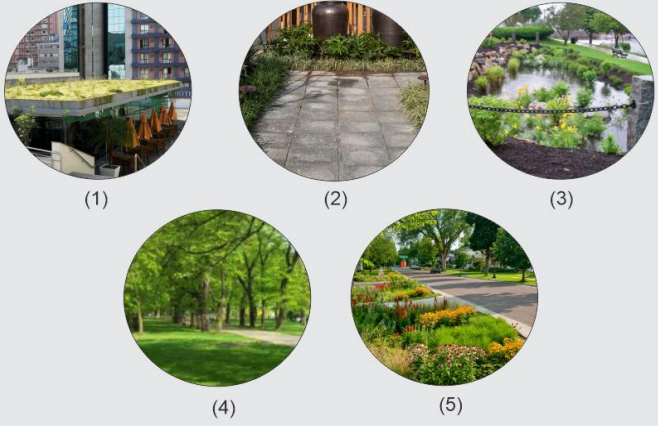


No Grupo 4, de Desempenho das Combinações LID, estão englobadas técnicas modernas que buscam imitar o pré desenvolvimento das condições ambientais e equilíbrio hídrico das paisagens urbanas, reduzir impactos econômicos e ambientais relacionados a eventos de chuva e alagamentos urbanos, além de trazer para as cidades aplicações de infiltração e captação dos solos urbanos.

#### **4.2 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS-CHAVE E O DESEMPENHO DAS TÉCNICAS LID**

A partir da análise dos grupos dos Atributos-Chave, foi elaborada uma segunda matriz que pretendeu identificar possíveis performances das técnicas de baixo impacto LID que as promovam à categoria de aplicações com soluções sustentáveis para os alagamentos urbanos.

Para essa proposta, foi realizado outro agrupamento, com a finalidade de encontrar o possível desempenho das estruturas LID gerados pelos projetos de sustentabilidade realizados em áreas urbanas citadas pelos autores. Foram considerados os grupos de Atributos-Chave pelos autores estudados, desta forma a performance das Estruturas LID em áreas urbanas foi analisado através das pesquisas desses estudos, de acordo com o *framework* conceitual mostrado anteriormente. As características observadas durante a análise foram divididas dentre os quatro Atributos-Chave, para que dessa forma encontre um enfoque maior

da performance de cada técnica LID em áreas urbanas, reconhecida através dos autores de referência conforme Quadro 12.

Grupo	Atributo - Chave	Performance das Estruturas LID em Áreas Urbanas	Autores de Referência
01	Escoamento e Drenagem Pluvial para Alagamentos	 <p>(1) (2) (3)</p> <p>(4) (5)</p> <p><b>Combinações LID:</b> (1) Telhados verdes, (2) Pavimentação Permeável, (3) Sistemas de Biorretenção, (4) Áreas Verdes e Paisagem, (5) Jardins de Chuva.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ahiablame <i>et al.</i>,2016;</li> <li>· Chandana <i>et al.</i>, 2010;</li> <li>· Chua <i>et al.</i>,2012;</li> <li>· Davis; Threlfall, 2009;</li> <li>· Kileshye Onema <i>et al.</i>, 2020.</li> <li>· Fileni <i>et al.</i>,2019;</li> <li>· Hamel; Daly; Fletcher, 2013;</li> <li>· Lee <i>et al.</i>,2012;</li> <li>· Jemberie; Melesse, 2021;</li> <li>· Liang <i>et al.</i>,2020;</li> <li>· Luan <i>et al.</i>,2017;</li> <li>· Mijin <i>et al.</i>,2017;</li> <li>· Trinh; Chui, 2013.</li> </ul>
02	Qualidade da Água e do Espaço	 <p>(1) (2) (3)</p> <p>(4) (6) (7)</p> <p><b>Combinações LID:</b> (1) Telhados verdes, (2) Pavimentação Permeável, (3) Sistemas de Biorretenção, (4) Áreas Verdes e Paisagem (6) Faixas de Grama/ Tiras de Filtro Vegetal, (7) Trincheiras de infiltração.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Barbaro <i>et al.</i>,2021;</li> <li>· Palermo <i>et al.</i>,2020;</li> <li>· Mitchell,2008;</li> <li>· Gallo <i>et al.</i>,2012;</li> <li>· Vijayaraghavan <i>et al.</i> ,2012;</li> <li>· Chen <i>et al.</i> (2011).</li> </ul>
03	Desenvolvimento Ambiental / Mudanças Socioambientais	 <p>(1) (3) (4)</p> <p>(5) (6)</p> <p><b>Combinações LID:</b> (1) Telhados verdes, (3) Sistemas de Biorretenção, (4) Áreas Verdes e Paisagem, (5) Jardins de Chuva, (6) Faixas de Grama/ Tiras de Filtro Vegetal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Brown, 2005;</li> <li>· Chaffin;</li> <li>· Gunderson, 2016;</li> <li>· Chang, 2010;</li> <li>· Chen <i>et al.</i>, 2011;</li> <li>· Berndtsson,2010</li> <li>· Tirpak <i>et al.</i>, 2021;</li> <li>· Elmhurst Energy, 2021;</li> <li>· Fletcher <i>et al.</i>, 2014.</li> <li>· Karamouz; Nazif, 2013;</li> <li>· Morsy <i>et al.</i>, 2016;</li> <li>· Wang <i>et al.</i> 2016, 2019.</li> </ul>



**Quadro 12. Performance das Estruturas LID com os Atributos-Chave.**

Fonte: Autora (2022).

A partir das combinações das Técnicas LID em cada Atributo-Chave, conforme o Quadro apresentado buscou-se compreender cada um dos quatro grupos citados e seu desempenho sustentável. Os grupos foram investigados para a compreensão a partir dos autores citados, além disso, abordam questões relacionadas aos benefícios e desvantagens das técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto LID e seu desempenho na paisagem urbana e em áreas urbanizadas.

#### 4.2.1 Grupo 1 - escoamento e Drenagem Pluvial para Alagamentos

Alagamentos urbanos induzidos por tempestades causam perda de vidas e propriedades, muitos métodos estruturais ou não estruturais (ou seja, alterar a estrutura de uso do solo, atualizar o sistema de esgoto e estabelecer um sistema de alerta antecipado, etc.) são adotados para minimizar os riscos de escoamento pluvial e seus danos. Como uma espécie de medida de mitigação eficaz e prática em resposta aos desafios enfrentados pela gestão de águas pluviais, as técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) se tornam alternativas de projeto local que usa técnicas de infiltração e armazenamento naturais e projetadas para controlar as águas pluviais (Mijin *et al.*, 2017).

Ao implementar um sistema de zonas úmidas flutuantes para remoção de nutrientes em Cingapura, Chua *et al.* (2012), mostraram que o sistema, com área de 7,5m<sup>2</sup>, removeu até 46% do fósforo total e até 68% do nitrogênio total do fluxo de base. Embora Chua *et al.* tenham concluído que o tamanho do sistema flutuante deve ser aumentado, seu desempenho na remoção de nutrientes exemplificou as

técnicas LID no tratamento do escoamento urbano. Além disso, Trinh e Chui (2013), também demonstraram que uma cobertura relativamente grande de telhados verdes (14%) e sistemas de biorretenção (5%) produziriam efeitos significativos no fluxo do canal.

No entanto, as técnicas de LID são frequentemente localizadas e esparsamente distribuídas em áreas onde o aumento do escoamento e poluentes pode ser motivo de preocupação (Trinh; Chui, 2013). Subsequentemente, apenas partes dos sistemas de drenagem pluvial se beneficiam das técnicas de LID, a menos que sejam instaladas em todas as bacias, inclusive ao longo de bueiros, para substituir os ambientes ciliares perdidos. Reabilitar áreas nas nascentes em bacias hidrográficas urbanas, também deve ser planejado nas extremidades receptoras das bacias hidrográficas ou perto delas.

Exemplos de tais reabilitações de canal em grande escala em ambientes fortemente urbanizados incluem o rio Kallang em Cingapura antes canalizado (Figura 17), foi restaurado para melhorar sua saúde ecológica, manipulando a morfologia do rio e seus regimes de fluxo (Marostica; Miron, 2022). Neste caso, o projeto teve o objetivo de melhorar a capacidade dos canais de água do Kallang (Figura 18), transformando o arroio canalizado em um rio renaturalizado (ASLA, 2016, n.p.). No que diz respeito ao tratamento das extremidades receptoras do fluxo de água, o espaço aberto acima dos canais (ou seja, a largura superior) também deve ser considerado como um espaço no qual as técnicas de LID podem ser instaladas para que o fluxo superficial seja tratado imediatamente antes de entrar nos canais.



**Figura 17. O Rio Kallang canalizado (2008).**  
Fonte: ASLA (2016).



**Figura 18. O Rio Kallang renaturalizado.**  
Fonte: ASLA (2016).

Além disso, pesquisas baseadas em observação de campo e modelagem apontaram que as abordagens LID não podem substituir completamente os sistemas



convencionais de drenagem urbana para controlar o escoamento pluvial (Hamel; Daly; Fletcher, 2013), e devem ser incorporadas ao sistema de drenagem convencional para fornecer soluções de controle para todo um espectro de eventos de tempestade e chuvas (Chandana *et al.*, 2010).

Liang *et al.* (2020) estudaram o desempenho de cinco cenários de projeto com diferentes distribuições espaciais, mas com os mesmos tamanhos de controles LID, na escala de captação urbana, e os resultados confirmaram que o desempenho hidrológico foi notável à intensidade as chuvas. Lee *et al.* (2012) investigaram o uso de instalações LID em um distrito de demonstração em AsanTangjung New Town localizado na Coreia do Sul, e descobriram que essas instalações podem reduzir as descargas de pico de inundação no período de retorno de 50 a 100 anos. A redução da descarga de pico de alagamento por cada período de retorno de tempestades foi estimada em cerca de 7 a 15% em uma escala de captação mais ampla. Além disso, Luan *et al.* (2017) revelaram que as técnicas de LID são mais eficazes na redução de alagamentos durante períodos mais fortes e tempestades mais curtas em algumas regiões.

Fileni *et al.* (2019) apontam que usando técnicas de pavimentação permeável e bacia de águas pluviais poderia ser reduzido mais de 40% do volume de alagamentos com aplicações de LID (Fileni *et al.*, 2019; Luan *et al.*, 2017). Outrossim, Ahiablame *et al.* (2016) destacam que diferentes níveis de implementação de práticas de LID reduziram o escoamento ao estudar a bacia hidrográfica em até 47%.

Jemberie e Melesse (2021), em um estudo sobre otimização do uso do solo urbano, empregaram técnicas de desenvolvimento de baixo impacto na Etiópia, para mostrar que as técnicas LID combinadas têm um impacto significativo na redução de alagamentos urbanos de até 75% (Jemberie; Melesse, 2021).

Existem várias técnicas LID como Célula de Bio-Retenção, Jardim de Chuva, Telhado Verde, Pavimento Permeável e Swale Vegetativo (Davis; Therelfall, 2009; Kileshye Onema *et al.*, 2020) que podem ser usados para controlar o escoamento. Dessa forma, os vários estudos realizados em todo o mundo têm demonstrado que a implementação das práticas de LID tem uma influência significativa na redução de escoamentos e alagamentos no ambiente urbano.

#### 4.2.2 Grupo 2 - Qualidade da Água e do Espaço

As técnicas LID possuem uma série de princípios a serem considerados no momento da implantação do cenário como as características físicas da área, largura, inclinação, tipo de solo e impermeabilidade, e justamente por isso, ocorre uma integração entre as diversas circunstâncias espaciais encontradas de cada local. Sua associação com a aplicação e promoção de políticas que envolvam a comunidade se mostra como um fator essencial para o sucesso de sua implantação nos espaços urbanizados nas cidades. A tecnologia LID visa controlar o escoamento na fonte por meio de medidas estruturais e não estruturais (Barbaro *et al.*, 2021). Entre elas, as técnicas não estruturais (áreas vegetadas e naturais) baseiam-se, por exemplo, no estabelecimento de proteção e qualidade de espaços verdes através da redução de superfícies impermeáveis e recorrendo a técnicas estruturais (sistemas técnicos) como a obrigatoriedade da instalação de equipamentos que permitam infiltração no solo (Palermo *et al.*, 2020).

Nos Estados Unidos, alguns dos conceitos de urbanização implantados possuem como base teórica e prática o reconhecimento da formação do espaço a partir de um sistema articulado em rede, que conecta os fragmentos espaciais da cidade para que se evite uma ocupação dispersa e que atenda as necessidades dos habitantes. Além disso, as cidades de Portland (Figura 19) e Seattle se tornaram referência de aplicabilidade de estruturas sustentáveis em áreas urbanizadas da cidade devido ao seu uso para pequenos e grandes eventos de chuvas, além de estarem associadas a medidas não estruturais, que envolvessem as gestões municipais e a comunidade, através do estímulo a construção da paisagem funcional e agradável.



**Figura 19. Tanner Springs Park, Oregon, Portland com aplicação de LIDs.**  
Fonte: PDXPLANNING (2013).

A cidade de Portland integrou com sucesso a sustentabilidade em seus programas de planejamento urbano eficazes (Mitchell, 2008). Portland é capaz de alcançar suas metas de plano de ação climática com eficiência, da construção de novas urbanizações a captação e destinação de lixo, com base em programas de aplicações sustentáveis nos espaços urbanos da cidade.

Essas aplicações sustentáveis permitem estabelecer normas que visem ocupações menos densas, viabilizando a acessibilidade ao transporte; estimulando a participação comunitária e elaborando uma paisagem urbana agradável. Essas estruturas de baixo impacto, como por exemplo, valas de infiltração, trincheiras, jardins de chuva e células de biorretenção, procuram capturar a água pluvial para conservar, limpar, deter e posteriormente transmitir o escoamento dessas águas (Gallo *et al.*,2012).

Com relação à qualidade da água nos espaços urbanos, Vijayaraghavan *et al.* (2012) também confirmaram que a descarga de poluentes através de técnicas sustentáveis como os sistemas de telhados verdes foi em grande parte baseada na profundidade do substrato e no volume de chuva; eles descobriram que durante o início das chuvas, as concentrações de poluentes eram mais altas, mas diminuía consideravelmente durante as chuvas subsequentes.

Em uma análise feita na China, por Chen *et al.* (2011), na Vila Olímpica de Beijing (Figura 20), foram considerados cenários para a verificação dos resultados obtidos em terrenos onde se deram a implantação das técnicas LID.



**Figura 20.** Vista aérea do Estádio Olímpico de Beijing.

Fonte: Thefield.asla (2021).

Nos resultados dos cenários foi considerada a melhoria da paisagem urbana, através do uso de espaços, telhados verdes e redução das áreas pavimentadas; além de considerar os princípios do LID, como reencaminhamento das águas pluviais, utilização de células de biorretenção e aumento de tempo de detenção das águas pluviais. Como resultado final dos testes na Vila Olímpica, foi verificado que os volumes e fluxos escoados foram menores onde houve o uso das práticas LID. Por conclusão, as técnicas LID aplicadas nos espaços urbanizados, tem-se como prática questões que envolvam a drenagem urbana e a sustentabilidade, medidas de controle urbanas que visam compensar o excesso de impermeabilização das áreas.

#### 4.2.3 Grupo 3 - Desenvolvimento Ambiental / Mudanças Socioambientais

Em um estudo concluído por Wang *et al.* (2019), foi constatado que a urbanização e o clima ocasionam mudanças gerando efeitos adversos e significativos nos sistemas de gestão de águas pluviais existentes, a influência do clima pode afetar severamente a funcionalidade dos sistemas de Desenvolvimento de Baixo Impacto LID. Além disso, outro estudo recomendado por Wang *et al.* (2016), cita que os parâmetros de projeto do LID devem incluir um grau de adaptação e resiliência contra surtos de chuva e condições do local urbanizado, como aumento de impermeabilidade para fornecer resiliência a potenciais surtos na intensidade das chuvas e aumentos na estanqueidade do local.

Com o aumento da frequência e intensidade dos eventos de precipitação existentes como uma realidade nos dias modernos, o design do LID precisa incorporar funcionalidade dentro do domínio das mudanças nas condições climáticas e os efeitos antropogênicos das áreas urbanas (Chang, 2010), através de telhados verdes (Chen *et al.*, 2011), jardins de chuva (Berndtsson, 2010) e sistemas de biorretenção (Tirpak *et al.*, 2021).

Para implementações de técnicas LID de prevenção de alagamentos especificamente, as barreiras urbanísticas mais prevalentes são: terra, propriedade e limites sobrepostos, falta de financiamento, baixa prioridade política para águas pluviais, gestão, falta de liderança do governo e domínio da infraestrutura cinza, levando a uma falta de especialização interdisciplinar, e a padrões de inclinação cinza relacionados à gestão da água (Brown, 2013; Chaffin; Gunderson, 2016).

As barreiras de financiamento foram identificadas com mais frequência em um contexto de municipalidades brasileiras quando o financiamento torna-se ainda um problema para o design ecológico e desenvolvimento ambiental; quando a terra em questão tem possibilidades de desenvolvimento, mas é necessário medir o retorno sobre o investimento para o design ecológico, e geralmente, consiste em uma métrica difícil de comparar com o  $ROI^8$  de um empreendimento (Chaffin; Gunderson, 2016).

Assim, em vez de olhar soluções de design ecológico separadas do desenvolvimento, considerando que essas ideias em conjunto podem oferecer benefícios multifuncionais, como por exemplo, usando o design ecológico interativo para preencher a porcentagem de espaços verdes necessária para novos empreendimentos urbanos. No entanto, o design ecológico e a infraestrutura ambiental ainda enfrentam barreiras que precisam ser compreendidas nas grandes cidades.

Essas barreiras podem, por sua vez, criar uma falta de aceitação para as estratégias de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). Em comparação com as taxas de adoção de infraestrutura cinza existentes, as estratégias de LID tem se mostrado como uma alternativa viável para as taxas de implementação da gestão de águas pluviais, embora ainda limitadas (Brown, 2013). O uso de LID para gerenciamento de águas pluviais provou retardar a taxa de escoamento para corpos de água receptores, bem como reduzir o volume de água que é recebido pela infraestrutura cinza em um evento de tempestade (Chaffin; Gunderson, 2016). Isso representa um singular desafio para os arquitetos paisagistas reformularem a narrativa sobre o design e desenvolvimento ecológico e ambiental.

A literatura apresentou as principais barreiras que existem atualmente para a implementação do LID (por exemplo, Brown, 2013; Chaffin; Gunderson, 2016). As implementações de LID precisam se encaixar nos sistemas ambientais e sociais, que às vezes requer um projeto de retrofit. Neste sentido, o sistema de “*retrofitting*” (Figura 21) é o ato de instalar novos sistemas projetados para alta eficiência

---

<sup>8</sup> De acordo com Resultados Digitais – Portal de Marketing e Vendas (2022), a palavra *ROI* é a métrica usada para saber quanto à empresa ganhou com os investimentos feitos, principalmente na área de marketing das vendas. A fórmula para calcular o *ROI* dos empreendimentos é (receita gerada – custos e investimentos) / custos e investimentos. Em inglês, a sigla *ROI* significa *Return on Investment* (Retorno sobre o Investimento). Disponível em: <https://resultadosdigitais.com.br/marketing/o-que-e-roi-retorno-sobre-investimento/> Acesso em: 22 set. 2022.

energética e baixo consumo de energia em edifícios anteriormente construídos (Elmhurst Energy, n. p., 2021 – tradução nossa). Isso pode variar de pequenas atividades como a instalação de lâmpadas com eficiência energética até a instalação de sistemas sustentáveis de última geração nas construções. Um edifício mais eficiente será mais barato de operar e terá menor impacto no meio ambiente e com uma melhor classificação sustentável, pode aumentar o valor da propriedade e do bairro onde se localiza. Além disso, para bacias hidrográficas altamente urbanizadas nas cidades onde o espaço é limitado, a distribuição de baixo impacto no controle de águas pluviais (LID) poderia oferecer um retrofit eficaz para lidar com problemas de alagamentos (Morsy *et al.*, 2016).



**Figura 21. Projeto de Retrofit de Edificação Existente.**

Fonte: Adaptado de 3D Reid (2022).

A Figura 21 demonstra um processo de retrofit de edificação, onde (A) era o ambiente natural sem intervenção do homem; e após a construção do edifício na segunda imagem, houve uma sobrecarga construída no ambiente urbano, assim, a imagem (b) mostra o retrofit executado no edifício com a otimização das práticas de LID (jardins de chuva, paisagens, telhado verde e placas fotovoltaicas, pavimentação drenante), abrangendo vários aspectos do design ecológico e avaliação da eficácia de práticas sustentáveis dentro de um ambiente urbano sob mudanças de engenharia e arquitetura. Além disso, os autores Karamouz e Nazif (2013) avaliaram os impactos das mudanças climáticas identificando através de modelagens de drenagem pluvial como a imagem demonstrada, que pode haver uma otimização das funções sustentáveis nas cidades urbanizadas a partir de projetos urbanos de retrofit.

Assim, os países vêm desenvolvendo pesquisas de gerenciamento de águas pluviais há várias décadas, além de estratégias de controle, como o uso de melhores práticas de gerenciamento, desenvolvimento de baixo impacto (LID) e infraestrutura verde, todos focados no uso de práticas de engenharia para obter um melhor controle do escoamento de águas pluviais urbanas (Fletcher *et al.*, 2014).

#### 4.2.4 Grupo 4 - Desempenho das Infraestruturas LID

De acordo com a literatura, o LID é uma estratégia sustentável de gestão de águas pluviais que está rapidamente ganhando aceitação em vários países ao redor do mundo (Babaei *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2018). Em termos de uso da tecnologia sustentável em todo o mundo, os pesquisadores consideram o LID como uma abordagem de gerenciamento e escoamento pluvial que facilita a recuperação do sistema do ciclo da água com base no aumento da taxa de infiltração e diminuição do escoamento coeficiente (Ferguson, 1991-1992).

Uma das razões para isso é o aumento das superfícies impermeáveis dos terrenos urbanizados que diminui o espaço para áreas ribeirinhas e as margens de rios e arroios, já que o espaço é geralmente convertido em vias impermeáveis para carros e pedestres. Além disso, considerando a importância da temperatura do arroio, a restauração da mata ciliar não é suficiente (Poole; Berman, 2001). Para a restauração dessas grandes urbanizações consolidadas, são necessárias medidas complementares que devem ser adotadas, assim como a possibilidade de pavimentações drenantes para canais de concreto abertos em bacias urbanas, filtros de grama vegetal e áreas verdes e de paisagem. Dessa forma, em resposta à crescente urbanização das cidades e limitação de espaço consolidado restabelecem a conectividade entre áreas urbanas e o desempenho das técnicas LID.

Samouei e Özger (2021) investigaram a resposta hidrológica da bacia após a substituição de proporções de superfícies impermeáveis por combinações de práticas de LID nas urbanizações, e os resultados mostraram que a implementação de 5-20% de LIDs tem um impacto notável no fluxo de pico de escoamento e redução de volume pluvial, especialmente em eventos de tempestade com períodos de retorno mais curtos.

Um estudo de Trowsdale e Simcock (2011) relatou que cerca de 14 a 100% do influxo de uma área urbana foi drenado através de um sistema de telhado verde,

com a menor porcentagem referente a grandes eventos de chuva e vice-versa, em uma bacia industrial leve na Nova Zelândia. Dessa forma, os telhados verdes atrasam uma fração da chuva antes que ela atinja os sistemas de drenagem pluvial, enquanto os jardins de chuva tratam a água que escorre da superfície da terra. Berndtsson (2010) sugeriu que em áreas urbanizadas altamente desenvolvidas, o LID só pode ser eficaz no tratamento de pequenas tempestades. Em adição, os telhados verdes atrasam uma fração da chuva antes que ela atinja os sistemas de drenagem pluvial, enquanto os jardins de chuva tratam a água que escorre da superfície da terra.

Jemberie e Melesse (2021) analisaram os impactos da urbanização e das mudanças climáticas na magnitude dos alagamentos gerados, usando o modelo hidrológico urbano de SWMM<sup>9</sup> e a técnica de otimização do uso sustentável do solo LID, e apontaram que as técnicas LID combinadas têm um impacto significativo na redução dos alagamentos urbanos de até 75%. Os estudos também indicaram que as instalações do LID apresentam desempenho diferenciado no controle do escoamento sob chuvas com características diferentes.

Qin *et al.* (2013) descobriram que *bioswales* (biovaletas), apresentam melhor desempenho durante um evento de tempestade com pico precoce, pavimentos permeáveis apresentam melhor desempenho com pico intermediário e telhados verdes apresentam melhor desempenho com pico tardio. Tirpak *et al.* (2021) apontaram que os efeitos combinados da célula de biorretenção e do pavimento permeável levaram a uma mitigação significativa do escoamento do estacionamento, reduzindo as profundidades de escoamento e as taxas de fluxo de água.

Em um estudo na China sobre o desempenho de técnicas LID no contexto urbano, Li *et al.* (2019) demonstraram que as práticas de LID, baseadas em biorretenção, filtros de grama e pavimento permeável, indicaram um bom desempenho na mitigação de tempestades urbanas na escala da bacia hidrográfica sob diferentes cenários de chuva. De fato, os diferentes tipos de práticas LID têm

---

<sup>9</sup> Segundo a Sustainable Infrastructure Tools (2022) – tradução nossa. O SWMM é um aplicativo de software de código aberto que pode ser usado para eventos únicos ou simulações de longo prazo da qualidade e quantidade do escoamento de água. A ferramenta avalia as estratégias de controle de águas pluviais de infraestrutura cinza, como tubulações e bueiros, e é útil para comparar a eficácia e os custos das soluções de controle de águas pluviais híbridas verdes ou cinzas, especialmente em áreas urbanas. Além disso, o SWMM permite determinar a eficácia de controles de Desenvolvimento de Baixo Impacto – LIDS no gerenciamento do escoamento pluvial. Disponível em: <<https://sustainable-infrastructure-tools.org/tools/storm-water-management-model-swmm/>> Acesso em: 22 set. 2022.



sido amplamente adotados por pesquisadores, especialmente as técnicas de biovaletas (barril de chuva) e pavimentos permeáveis.

Em geral, as técnicas de LID contam com medidas de gerenciamento de escoamento distribuído que buscam controlar as águas pluviais, reduzindo a impermeabilidade e retendo, infiltrando e reutilizando as águas pluviais no local de desenvolvimento onde são geradas. Muitos estudos recomendaram o desempenho das técnicas LID como uma adequada solução para a gestão de águas pluviais (Berndtsson, 2010; Li *et al.*, 2019; Qin *et al.*, 2013; Samouei; Özger, 2021; Jemberie; Melesse, 2021; Tirpak *et al.*, 2021; Trowsdale; Simcock, 2011), instalações de LID como faixas de grama, tiras de filtro vegetal e áreas verdes, valas vegetativas, jardins de chuva, pavimentação permeável e biorretenção têm sido amplamente utilizadas para controlar o fluxo de superfície urbana em muitas áreas já urbanizadas, e neste estudo, foi apresentado diferentes técnicas LID com desempenho conjunto para demonstrar as melhorias na drenagem urbana pluvial nos locais onde foram construídas.

### **4.3 ANÁLISE QUALITATIVA DAS TÉCNICAS LID**

A partir da análise de mapeamento do desempenho das técnicas LID identificadas na literatura para tratar os problemas dos alagamentos e da drenagem urbana, pretende-se apresentar os aspectos sustentáveis destas técnicas citadas acerca da análise qualitativa no meio urbano. A seguir, as técnicas encontradas no desempenho das estruturas LID de acordo com os atributos-chave foram investigadas a partir da síntese deste trabalho identificando dessa forma sete técnicas (Figura 22) que foram aplicadas nos projetos de drenagem urbana conforme as citações dos autores referenciados. Entre as aplicações de desenvolvimento de baixo impacto (LID) que foram citadas estão: (1) Telhados Verdes, (2) Pavimentação Permeável, (3) Sistemas de Biorretenção, (4) Áreas Verdes e Paisagem, (5) Jardins de Chuva, (6) Faixas de grama / Tiras de Filtro Vegetal e (7) Trincheiras de Infiltração, que serão explanadas a seguir:



**Figura 22. Desempenho das Técnicas LID identificadas no grupo dos Atributos-Chave.**  
 Fonte: Compilação da Autora (2022)<sup>10</sup>.

#### 4.3.1 (1) Telhados Verdes

Os telhados verdes consistem em técnica construtiva que envolve a implantação de vegetação sobre as coberturas das edificações (Figuras 23 e 24). Segundo Carter e Butler (2008) existem telhados extensivos em que são utilizadas vegetações rasteiras, como ervas e gramíneas, e apresenta uma camada fina de substrato, baixo peso estrutural, baixa manutenção, reduzindo consumo de água e possibilidade de construção sobre superfícies inclinadas. Já os telhados intensivos, são projetados com base na paisagem natural e, por isso, as gramas, flores, árvores e arbustos são os principais constituintes de vegetação. Assim apresentam maior peso estrutural, possibilidade de maior retenção de água e utilização do espaço para recreação, embora exija maior manutenção (Carter; Butler, 2008).

<sup>10</sup> Compilação da Autora (2022) a partir de imagens coletadas nos sites do Archdaily (2022), CimentPav (2011), Landscape Professionals (2022), FiltreXX (2022) e Aquafluxus (2012).



**Figura 23. Detalhe de Telhado Verde intensivo em edifício.**

Fonte: Archdaily Ecotelhado (2022).



**Figura 24. Detalhe de Telhado Verde extensivo em residência.**

Fonte: Archdaily Ecotelhado (2022).

Os telhados verdes podem desempenhar múltiplos papéis gerando vários benefícios à população e ao meio ambiente, por isso são considerados como medidas sustentáveis para as cidades. Bianchini e Hewage (2012) descrevem que a vegetação pode interferir no microclima por meio de sombreamento e da evapotranspiração, que converte a água do solo e das folhas em vapor d'água e em umidade, favorecendo assim a redução da temperatura do entorno. A interceptação da radiação solar pelas folhas reduz a transmissão do calor para as superfícies abaixo. Os telhados verdes podem contribuir na mitigação dos efeitos das ilhas de calor e no aquecimento global, assim, contribuem ainda para melhoria da qualidade do ar e redução dos ruídos.

Os telhados verdes têm impacto positivo no controle da poluição do ar, já que a vegetação pode remover material particulado do ar (Rowe, 2011). Também impactam no paisagismo e podem trazer benefícios psicológicos. Podem contribuir para a restituição do ecossistema e do habitat natural. Além disso, a presença de pássaros e borboletas podem aparecer após as implementações dos telhados verdes.

Outro impacto positivo determinante dos telhados verdes é relativo aos sistemas de microdrenagem, na escala de sub-bacias, já que promovem a retenção de águas pluviais, e em algumas configurações, podem ser usados materiais e substratos agrícolas que contribuem também no controle da poluição difusa, absorvendo algumas substâncias ou filtrando os efluentes. Os volumes retidos irão depender das características do projeto, inclinação da cobertura, do tipo de vegetação, das características físico-hídricas dos substratos e do estado de umidade do mesmo antes da precipitação. Neste contexto, também dependerá das

características da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração, também influenciada pelo tipo de vegetação e características do substrato (Bianchini; Hewage, 2012).

#### 4.3.2 (2) Pavimentação Permeável

Um componente importante do ciclo hidrológico e que afeta diretamente a drenagem urbana é a infiltração. Quando impermeabilizamos uma dada região ou área urbanizada através de pavimentos asfálticos, de concreto ou qualquer outro material que altere o solo natural, estamos diminuindo a permeabilidade do terreno, o que reduz a lâmina de infiltração (Schueler, 1987). Como a água não infiltra na mesma proporção, o que deixa de infiltrar como escoamento superficial e afetando diretamente a vazão drenada pelos dispositivos tradicionais. O uso dos pavimentos permeáveis visa aumentar a permeabilidade do solo e reduzir o escoamento superficial. Além do mais, retardam a chegada da água ao subleito, evitando a erosão; a erosão do subleito pode ocasionar a ruptura do pavimento (Schueler, 1987).

Para Silveira (2002), são os pavimentos que agem, normalmente, no controle do pico e volume do escoamento superficial, no controle da poluição difusa, e, quando infiltram a água no solo, promovem a recarga de águas subterrâneas. Podemos destacar três tipos de pavimentos permeáveis segundo Urbonas e Stahre (1993): (a) pavimentos de blocos de concreto vazados preenchidos com material granular, como areia ou com vegetação rasteira, grama; (b) concreto permeável; e (c) asfalto poroso.

Os (a) pavimentos de blocos de concreto vazados são estruturas de concretos com orifícios que permitem a passagem da água para os reservatórios subterrâneos (UDFCD, 2002). Este tipo de pavimento é indicado para o uso em vias de tráfego leve, estacionamentos, calçadas, praças e quadras de esporte. As Figuras 25 e 26 mostram algumas aplicações deste tipo de pavimento.



**Figura 25. Detalhe de Concregrama ou Pisograma.**

Fonte: Drenaltec (2022).



**Figura 26. Bloco de concreto vazado em passeios e calçadas.**

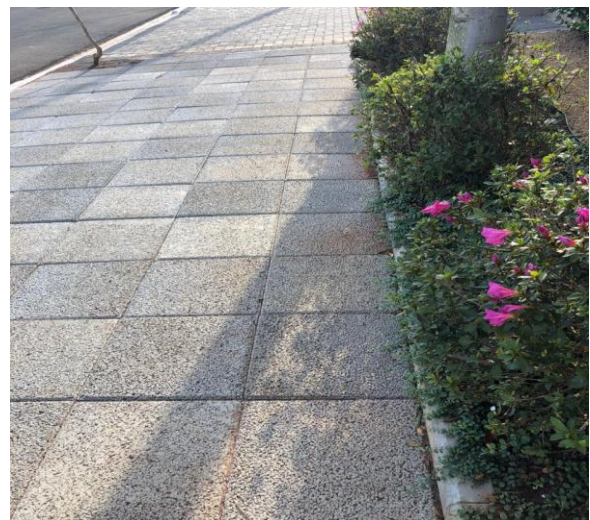
Fonte: Casa e Construção (2022).

O (b) piso de concreto permeável ou piso drenante trata de um concreto tradicional, nele as partículas do solo são bem graduadas, e, portanto os grãos menores ocupam os vazios, e futuramente impedem ou dificultam a passagem da água, reduzindo a permeabilidade do solo conforme Figuras 27 e 28. A estrutura do concreto permeável é, no entanto, uma das suas principais desvantagens, quanto maior o índice de vazios (grânulos) na peça, menor deverá ser a resistência do concreto. Deste modo, é mais indicado para estacionamentos, ciclovias, parques e arruamento de tráfego leve, devido às baixas tensões (Yang; Jiang, 2003).



**Figura 27. Paginação de Piso Drenante.**

Fonte: Braston (1998).



**Figura 28. Piso Drenante em passeio público.**

Fonte: CimentPav (2011).

O (c) asfalto poroso também é uma solução para pavimentos permeáveis. As características do asfalto poroso são muito similares ao concreto permeável. Este material além de reduzir o escoamento superficial, filtra a água que segue para a rede de drenagem, reduzindo a poluição e melhorando a qualidade dos cursos

d'água. Os alagamentos urbanos são problemas que acontecem muito em municípios brasileiros, com o asfalto poroso a água passa a ser absorvida pelo solo, já que o material permite a infiltração a partir da superfície (Tecnosil BR, 2022, n.p.). A Lafarge Tarmac, empresa britânica do ramo de construção, desenvolveu há alguns anos um asfalto poroso capaz de absorver mais de quatro mil litros de água em menos de um minuto. O projeto foi nomeado TOPMIX (Figura 29), e serviu para mostrar ao mundo como a questão dos alagamentos urbanos pode, de fato, se beneficiar do asfalto e concreto drenante.



**Figura 29. Teste realizado pela Lafarge Tarmac, na Inglaterra, que mostrou a eficiência do asfalto poroso para absorção rápida da água.**

Fonte: Tecnosil Br (2022)<sup>11</sup>.

Deste modo, o asfalto e concreto poroso tem utilidade também para a estocagem das águas das chuvas, dentre seus benefícios em climas chuvosos, além de ser favorável ao meio ambiente e sua utilidade em tempos de crise hídrica.

#### 4.3.3 (3) Sistemas de Biorretenção

Os Sistemas de Biorretenção ou biovaletas, também conhecidas como valetas de infiltração são técnicas compensatórias constituídas por simples depressões escavadas no solo, com o objetivo de recolher águas pluviais, efetuar seu armazenamento temporário e favorecer a infiltração no solo (Figura 30). Entretanto, segundo Silveira (2002), esse sistema pode causar colmatação, que permite a passagem de poluentes e também é propenso a estagnar a água na biovaleta, portanto este tipo de sistema necessita de manutenção.

---

<sup>11</sup> Disponível em: <http://www.tecnosilbr.com.br/conteudo/?p=181>Acesso em: 09 set 2022.



**Figura 30. Biovaleta de Infiltração em área pública.**

Fonte: Landscape Professionals (2022).

Biovaletas, ou valetas de biorretenção vegetadas semelhantes funcionam como um elemento de transporte e detenção da água, bem como, tem a função de sedimentação, filtração ou absorção biológica (Singapore, 2011, p. 34). As depressões são lineares e em terrenos permeáveis, onde, geralmente, tem uma cobertura gramada. Além disso, a vala de infiltração pode incorporar pequenas barragens de desaceleração (Figura 31) podendo ser amplamente aplicadas para tratar o escoamento das estradas, parques de estacionamento, áreas residenciais, dentre outros (Figura 32).



**Figura 31. Biovaleta de Infiltração entre o passeio público e a via de carros.**

Fonte: Biocycle (2016).

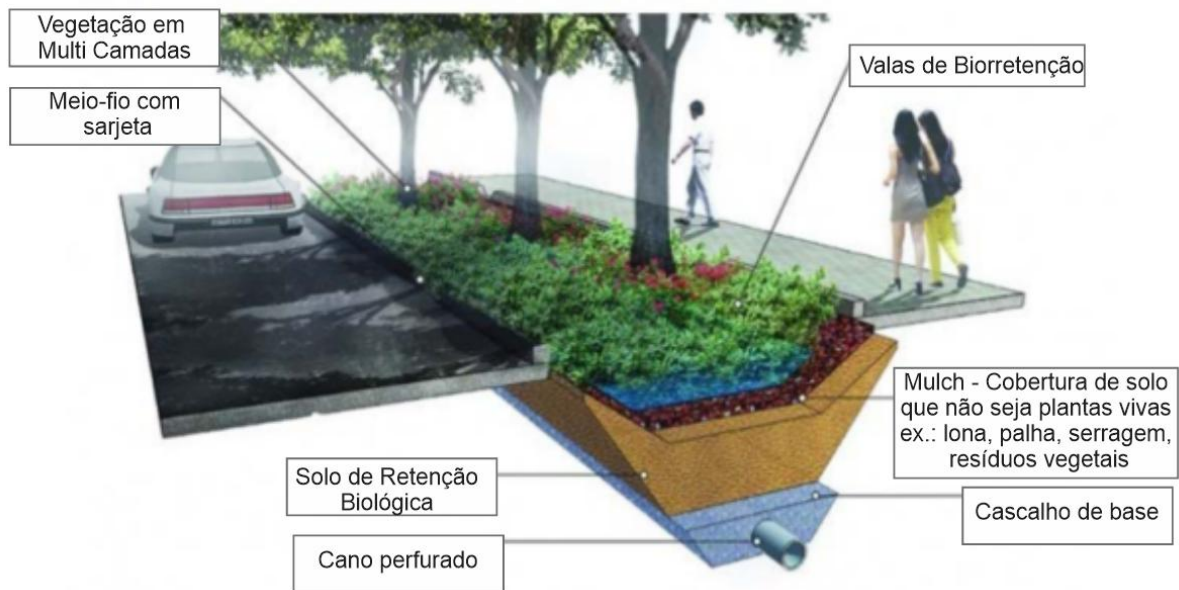


**Figura 32. Valeta de Infiltração em canteiro central.**

Fonte: Pinterest (2022).

A vegetação da vala retarda o escoamento da água, filtra-a e permite que ela se infiltre no solo ou em um bueiro, melhorando assim a qualidade da água. A maior

parte do escoamento de água contém metais das estradas, bem como produtos químicos do gramado da fertilização (Brankovic *et al.* 2018). Filtrar esses materiais duros antes que eles entrem em nosso sistema de água potável é de importância crucial para a sustentabilidade de arroios urbanos. O modo de funcionamento de uma biovaleta é demonstrado na Figura 33.



**Figura 33. Modo de funcionamento de uma biovaleta de infiltração.**

Fonte: Autora, adaptado de Dinic-Brankovic *et al.* (2018).

Os *bioswales* ou biovaletas são projetados com solo de cascalho, para que as águas pluviais sejam absorvidas rápida e profundamente. O local onde as biovaletas são aplicadas deve ser projetado de modo que a água de escoamento seja direcionada ou drenada para a vala de infiltração (Dinic-Brankovic *et al.* 2018). Em biovaletas nas ruas ou estacionamentos, isso pode ser feito com o uso de cortes de meio-fio nas áreas de plantio. As valas devem ser usadas para atender áreas com menos de 4 hectares com declividades não superiores a 5%, enquanto a área total da vala deve ser de 1% da área de onde está recebendo águas pluviais. Para declives superiores a 5%, as valas podem incluir barragens de verificação para ajudar a retardar e deter o fluxo e prolongar o tempo de infiltração (Dinic-Brankovic *et al.* 2018).

Além de reduzir o volume total de escoamento de águas pluviais, o principal valor das biovaletas reside no fato de que elas infiltram e filtram quase toda a água proveniente de chuvas frequentes e pequenas (NRCS, 2005). Dessa forma, as biovalas reduzem a pressão sobre o sistema de esgoto municipal da cidade, o que



acaba levando a arroios e cursos d'água mais limpos. Os sistemas de transporte *bioswale* podem tratar e descartar o escoamento de águas pluviais de um local inteiro, reduzindo assim o número e o custo dos drenos e tubulações tradicionais. Eles são menos caros do que o tratamento tradicional de meio-fio e sarjeta ou sistemas de águas subterrâneas (*University of Florida, 2008*).

#### 4.3.4 (4) Áreas Verdes e Paisagem

As Áreas verdes e de paisagem, são constituídos pela área de terra coberta principalmente por gramado ou grama cortada e muitas vezes com uma inclinação uniforme (STEP, 2018). Esse dispositivo é capaz de proporcionar belas paisagens nas cidades e bem estar ambiental para a sociedade (Figuras 34 e 35). Além disso, dentre as áreas verdes é encontrado os caminhos verdes ou *green ways*, consideradas as vias verdes para pedestres e ciclistas sem pavimentação, semelhantes a parques públicos utilizados para transportes. Assim, essas áreas aumentam a proporção de áreas verdes permeáveis e melhoram a qualidade de vida (Marostica *et al.* 2022).



**Figura 34. Áreas verdes no Central Park em Nova York.**

Fonte: Archdaily (2022).



**Figura 35. Áreas verdes em Rua na China.**

Fonte: Archdaily (2022).

No Brasil essa tendência se reflete na busca por ambientes com áreas verdes e paisagem com parques e ambientes ao ar livre, apropriadas para atividades físicas ou de lazer. Neste sentido as áreas verdes referem-se à quantidade de espaços livres de uso público, assim, são acrescentadas nesse cálculo as áreas de praça, parques e sistemas de lazer. Por outro lado, as áreas impermeáveis constituem-se por áreas que não permitem a infiltração de água no solo, tais como superfícies pavimentadas, áreas construídas e calçadas.

De fato, considerando a importância da temperatura dos arroios e da cidade construída, a restauração da mata ciliar não é suficiente (Poole; Berman, 2001). Para a restauração dessas grandes urbanizações consolidadas, são necessárias medidas complementares que devem ser adotadas, assim como a possibilidade de minimizar áreas impermeáveis e melhorar o escoamento através de áreas verdes e de paisagem.

#### 4.3.5 (5) Jardins de Chuva

As bacias de biorretenção também conhecidas como jardins de chuvas, podem ser caracterizadas por depressões de terras vegetadas destinadas a deter e tratar as águas do escoamento superficial (Singapore, 2011, p. 36). Em países como Estados Unidos e Canadá, é notável a utilização de técnicas LID, o uso de diversas técnicas de drenagem de baixo impacto que servem de exemplo para outras cidades conforme Figura 36.



**Figura 36. Jardim de chuva na cidade de Nova York.**

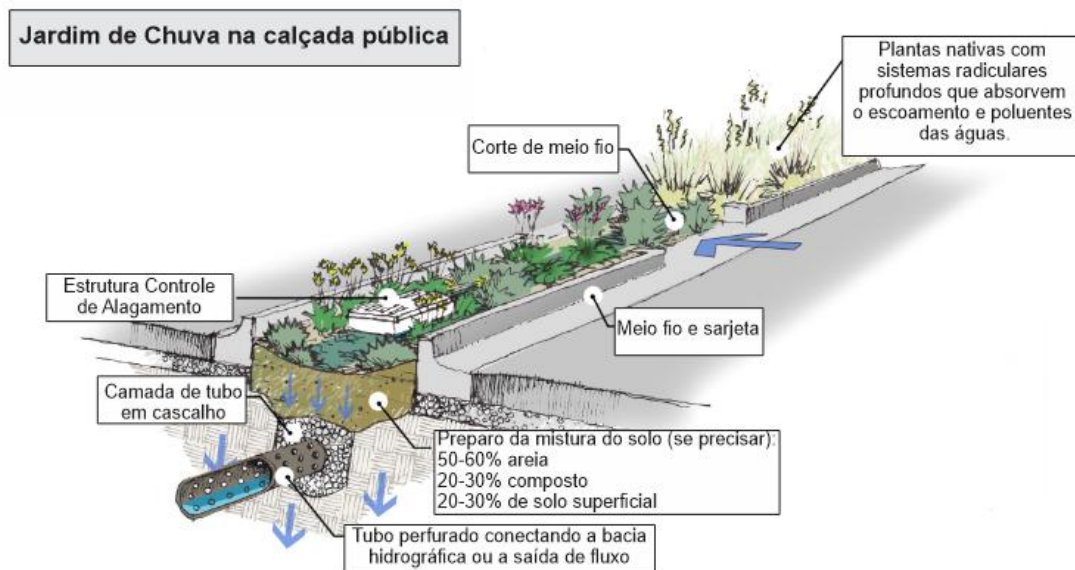
Fonte: The Structural Engineer (2017).



**Figura 37. Jardim de chuva em rua da cidade do Texas, EUA.**

Fonte: BCSLA.org (2022).

Em adição, na Figura 37 é possível analisar que os jardins de chuva ultrapassam a linha da calçada pública, avançando assim, na pavimentação para melhor aproveitamento do escoamento pluvial da rua. Em síntese, os jardins de chuva permitem a redução da velocidade do fluxo, assim como a infiltração e purificação natural das águas pluviais (Singapore, 2011). Na Figura 38, pode-se analisar o funcionamento de um jardim de chuva (bacia de biorretenção) em calçada pública para redução do escoamento superficial e melhorias na qualidade das águas.



**Figura 38. Detalhamento de Jardim de chuva em calçada pública.**

Adaptado de Saveitlancaster.com (2022).

Os jardins de chuva estão se tornando mais populares nas cidades, principalmente diante das mudanças climáticas (e devido à necessidade de as cidades se adaptarem aos impactos das mudanças climáticas). Estes jardins são soluções importantes em infraestrutura verde, principalmente pela facilidade de implementação e custos relativamente baixos devido aos materiais que se utilizam para esta técnica como cascalho, tubo perfurado conectando a saída do fluxo d'água, meio fio com sarjeta e sistema de plantas nativas radiculares que absorvem o escoamento e poluentes da água (Save it Lancaster, 2022, n.p.).

Para essa técnica LID foram considerados os benefícios para o meio ambiente (proteção da água, recarga das águas subterrâneas), bem como os lucros para os moradores e os potenciais benefícios econômicos. Entre as desvantagens e limitações na aplicação dos jardins de chuva, estão problemas que podem surgir durante a operação, decorrentes principalmente de erros de projeto ou realização, inconvenientes durante a implantação e manutenção dessas soluções no tecido urbano devido à falta de prática dos profissionais e técnicos da área.

#### 4.3.6 (6) Faixas de Grama e Tiras de Filtro Vegetal

As faixas de grama (Figuras 39 e 40) e tiras de filtro vegetal são concebidas para desacelerar e infiltrar parcialmente escoamentos laminares provenientes das superfícies impermeáveis urbanas (Silveira, 2002a), mas podem ter sua aplicação

associada em outras situações.



**Figura 39. Filtro de Grama em passeio público.**

Fonte: FiltreXX (2022).



**Figura 40. Filtro de Grama no Parque Mont Royal em Montreal.**

Fonte: Acervo Pessoal da Autora (2016).

Ainda, o autor Silveira (2002a) retrata que na macrodrenagem assumem o papel de zona de escape para alagamentos. O principal benefício das faixas e tiras de filtro vegetal, são diminuir significativamente a velocidade de escoamento superficial, além dessas técnicas auxiliarem na redução dos picos de vazão em áreas urbanas.

Outro fator importante do uso desse sistema é o aspecto visual da área, pois possui uma função paisagística. Assim como nos sistemas de telhados verdes, o uso de faixas e tiras de filtro vegetal possibilitam a redução dos efeitos das ilhas de calor e do aquecimento global, dessa forma, contribuindo para a qualidade dos centros urbanos.

#### 4.3.7 (7) Trincheiras de Infiltração

As trincheiras são estruturas longitudinais para captar águas pluviais, provenientes do escoamento superficial e facilitar sua infiltração (Marostica *et al.* 2022). São formadas por uma vala escavada na terra preenchida com matérias granulares como pedras de mão, brita e areia. Podem ser instaladas associadas a jardins, ao longo de vias públicas (captando a água que cai sobre o pavimento antes que chegue a rede pluvial) e até em estacionamentos (Figuras 41 e 42).



**Figura 41. Trincheira de Infiltração em jardim.**  
Fonte: Aquafluxus (2012).



**Figura 42. Trincheira de Infiltração em estacionamento.**  
Fonte: Aquafluxus (2012).

Segundo Cerqueira (2012) as trincheiras de infiltração são estruturas lineares nas quais o comprimento prepondera sobre a largura e profundidade. Geralmente as trincheiras se destinam a grandes volumes de água a serem infiltrados, além de permitir o uso paisagístico em harmonia com as demais estruturas. Em adição, Marostica *et al.* (2022) citam que as trincheiras de infiltração tem como função principal ampliar a área permeável, infiltrar a água no solo e contribuir para a redução de escoamento superficial das águas pluviais. Por outro lado, como aspectos negativos das trincheiras de infiltração, podem ser mencionados às áreas de terreno com altas declividades que reduzem a sua capacidade de infiltração, além de áreas gramadas que devem ser podadas periodicamente, incluindo custos de manutenção (Kobayashi *et al.*, 2008). Em adição, ainda existem poucos estudos na literatura repostando-se aos planos de infiltração, mostrando que essas estruturas necessitam ainda serem experimentadas.

#### **4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO**

Neste capítulo foi abordado o levantamento documental e a seleção dos dispositivos de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). A partir da análise dos grupos dos Atributos-Chave comparativa ao desempenho das Técnicas LID pretendeu identificar possíveis performances das técnicas de baixo impacto (LID) que possam contribuir para os alagamentos urbanos no contexto dos municípios sul-brasileiros. Concomitantemente a esta etapa, foram apresentados os aspectos sustentáveis das técnicas LID citadas acerca da sua qualidade no meio urbano. Assim, as técnicas encontradas no desempenho das estruturas LID de acordo com

os atributos-chave citados pelos autores da literatura foram investigadas a partir de sete técnicas sustentáveis (Figura 43): (1) Telhados Verdes, (2) Pavimentação Permeável, (3) Sistemas de Biorretenção, (4) Áreas Verdes e Paisagem, (5) Jardins de Chuva, (6) Faixas de grama e Tiras de Filtro Vegetal e (7) Trincheiras de Infiltração, que foram explanadas de acordo com os autores referenciados.



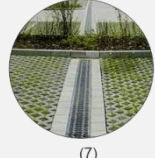


**Figura 43. Técnicas LID identificadas para contribuir com os alagamentos urbanos municipais.**  
 Fonte: Compilação da Autora (2022)<sup>12</sup>.

Dentre o mapeamento das técnicas LID encontradas na literatura e que possuam o conjunto de características sustentáveis para o controle dos alagamentos urbanos em áreas afetadas nas municipalidades sul brasileiras, foram utilizadas estas técnicas na etapa subsequente de análise espacial no software *LID TTT*. A síntese de identificação qualitativa destas técnicas conforme Quadro 13, mostram a descrição de cada técnica e os impactos positivos e negativos dos dispositivos LID realizados neste capítulo que tendem a contribuir para a melhor adaptação e ponderação destas técnicas nas análises espaciais e ainda, mais apropriadas ao controle de alagamentos urbanos dos municípios, tal quais foram citados conforme os estudos referenciados dos autores desta pesquisa e o Manual do *Software LID TTT* (2018).

<sup>12</sup> Compilação da Autora (2022) a partir de imagens coletadas nos sites do Archdaily (2022), CimentPav (2011), Landscape Professionals (2022), FiltreXX (2022) e Aquafluxus (2012).

Técnicas LID Citadas pelos Autores	Descrição	Impactos Positivos dos Dispositivos LID	Impactos Negativos dos Dispositivos LID
 <p>(1) Telhados Verdes</p>	<p>Cobertura de edificações para plantio de vegetação rasteira, gramas, flores e árvores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reduções de volume de águas pluviais colaboram no microclima e na radiação solar;</li> <li>✓ Melhorias no desempenho térmico das edificações;</li> <li>✓ Aumento de proporção de áreas verdes nas cidades;</li> <li>✓ Impacto no paisagismo e restituição do ecossistema natural.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Os volumes retidos de microdrenagem dependem das características do projeto como inclinação da cobertura, tipo de vegetação, substrato e umidade do solo.</li> </ul>
 <p>(2) Pavimentação Permeável</p>	<p>Implantação de piso em vias privadas e públicas que permitem a infiltração das águas pluviais no solo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Controle da quantidade de água: percolação através do pavimento permeável para o solo subterrâneo e armazenamento de cascalho, seguido de infiltração no solo nativo ou removido por um dreno.</li> <li>✓ Controle da qualidade da água: poluentes filtrados através do solo subterrâneo e armazenamento de cascalho e/ou solo durante a infiltração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A área de superfície dura e impermeável (por exemplo: estrada, área de estacionamento ou calçadas) que impede ou retarda a infiltração de água no solo.</li> </ul>
 <p>(3) Sistemas de Biorretenção</p>	<p>Recursos de biorretenção são depressões superficiais escavadas que contêm vegetação cultivada em uma mistura de solo com cobertura morta, colocada acima de um leito de drenagem de cascalho.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Controle da quantidade de água: retenção na superfície ou no armazenamento subterrâneo, infiltração total ou parcial no solo nativo e evapotranspiração.</li> <li>✓ Controle da qualidade da água: os poluentes são filtrados através da cobertura morta/solo manipulado e pela absorção pelas raízes das plantas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não encontrado na literatura.</li> </ul>
 <p>(4) Áreas Verdes e Paisagem</p>	<p>A área da terra coberta principalmente por gramado ou grama aparada e muitas vezes com inclinação uniforme e árvores plantadas cobrindo a paisagem.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proporciona belas paisagens nas cidades e bem estar ambiental para a sociedade.</li> <li>✓ Redução das ilhas de calor e aquecimento global nas cidades.</li> <li>✓ Dentre as áreas verdes são encontrado essas áreas que aumentam a proporção de áreas verdes permeáveis e melhoram a qualidade de vida como os caminhos verdes ou <i>green ways</i>, consideradas as vias verdes para pedestres e ciclistas sem pavimentação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não encontrado na literatura.</li> </ul>

 <p>(5) Jardins de Chuva</p>	<p>É um tipo de célula de biorretenção que consiste apenas na camada de solo concentrado sem leito de cascalho abaixo dela.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Controle da quantidade de água: armazenamento em depressões superficiais, infiltração e evapotranspiração.</li> <li>✓ Controle de qualidade da água: para água filtrada, filtração através do solo e absorção de poluentes pelas plantas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Entre as desvantagens estão problemas que podem surgir durante a operação, decorrentes principalmente de erros de projeto ou realização, inconvenientes durante a implantação dessas soluções.</li> </ul>
 <p>(6) Faixas de grama / Tiras de Filtro Vegetal</p>	<p>Faixas de filtro vegetadas que fornecem infiltração adicional para fluxos que saem de uma captação pluvial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ As faixas de vegetação são usadas para reduzir velocidades enquanto fornece infiltração.</li> <li>✓ A vegetação é mantida para reduzir os riscos de erosão e ajudar a evitar que o escoamento superficial se concentre.</li> <li>✓ Redução das ilhas de calor e aquecimento global das cidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não encontrado na literatura.</li> </ul>
 <p>(7) Trincheiras de Infiltração</p>	<p>As trincheiras de infiltração são trincheiras retangulares, galerias ou câmaras construídas abaixo do nível do solo e preenchidas com cascalho que interceptam o escoamento de áreas impermeáveis. Assim fornecem volume de armazenamento e tempo adicional para o escoamento capturado se infiltrar no solo nativo abaixo ou fluir para fora de um dreno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Controle da quantidade de água: retenção no armazenamento subterrâneo e infiltração no solo nativo ou apenas retenção no armazenamento subterrâneo e liberação pelo dreno.</li> <li>✓ Controle de qualidade da água: os poluentes são filtrados através de reservatório de pedra/cascalho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Áreas de terreno com altas declividades podem reduzir a sua capacidade de infiltração.</li> <li>✓ Áreas gramadas devem ser podadas periodicamente, incluindo custos de manutenção.</li> </ul>

**Quadro 13. Síntese do Desempenho das Técnicas LID analisadas.**

Fonte: Adaptado do Manual do Software *LID TTT* (2018) e da RSL desta pesquisa (2022).

Esta Etapa foi guiada por uma justificativa para garantir melhores variáveis de aplicação sustentável com técnicas LID para os alagamentos urbanos em municipalidades sul-brasileiras. Isso foi facilitado por uma ampla pesquisa de estudos com autores nacionais e internacionais demonstrando diferentes técnicas e soluções para áreas urbanizadas já consolidadas.

Por considerar que esta etapa (B) é fundamental para o desenvolvimento da pesquisa, e os resultados podem potencializar o desenvolvimento do artefato e produto final da sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, entende-se que a abordagem da análise e avaliação de desempenho das técnicas LID a partir da visão



dos técnicos das municipalidades sul brasileiras busque trazer informações sobre a utilização destas técnicas sustentáveis no planejamento e drenagem urbana das cidades.

A partir desta explicitação, será apresentado este passo de forma detalhada no próximo capítulo, utilizando da avaliação dos técnicos sul municipais através de pesquisa de questionário. Cabe salientar que, esse questionário foi reestruturado com base nas especificidades das técnicas encontradas nesta etapa, acabando por culminar em questões específicas para a avaliação. A partir dos subsídios apresentados neste capítulo, são apresentados no próximo capítulo, concomitante a Etapa B, a percepção dos técnicos municipais acerca da pertinência e da utilidade das técnicas LID para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul brasileiras.

## **5 APRECIÇÃO DAS TÉCNICAS LID PELOS TÉCNICOS MUNICIPAIS SUL BRASILEIROS (Grupo Aplicação de Questionário)**

O presente capítulo relata parte da pesquisa realizada em paralelo com a Etapa B. Este capítulo tem por objetivo explorar a percepção e a apreciação das técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto - LID pelos técnicos municipais. A partir do mapeamento das técnicas de baixo impacto (LID) para o controle dos alagamentos urbanos em áreas afetadas realizado no capítulo anterior, buscou-se investigar respostas dos técnicos das municipalidades sul brasileiras aos olhares das paisagens sustentáveis e práticas na gestão de águas pluviais, porquanto pesquisas com foco específico no conhecimento dessas técnicas e projetos LID implementados em áreas urbanas ainda são escassos.

Este estudo investigou como os técnicos apreciam e reconhecem os locais e elementos típicos das técnicas LID urbanas. Além disso, também pesquisou questões relacionadas a problemas de gestão de águas pluviais e práticas LID em áreas urbanizadas. Para os formuladores de política, planejadores urbanos e técnicos responsáveis pelo desenvolvimento de programas de gestão de águas pluviais, as descobertas reveladas por este estudo são essenciais para a criação de projetos LID que enriqueçam a experiência técnica dos projetos executados nos municípios sul brasileiros. Isso pode resultar em atitudes positivas em relação à gestão sustentável de águas pluviais e influenciar os técnicos e as gestões públicas a apoiar e utilizar projetos com técnicas LID.

### **5.1 SELEÇÃO E CONJUNTO DAS TÉCNICAS LID**

Com base na revisão da literatura e no mapeamento das técnicas de baixo impacto LID no controle dos alagamentos urbanos, nesta etapa foram selecionadas as sete técnicas LID que demonstraram resultados positivos com relação à minimização dos alagamentos em áreas urbanas. Além das técnicas LID, foram utilizadas também técnicas de drenagem convencional na coleta de dados por meio de questionário, assim, as técnicas citadas foram: (1) Telhados Verdes, (2) Pavimentação Permeável, (3) Técnicas com Bocas de lobo, (4) Sistemas de Biovaletas, (5) Áreas Verdes e Paisagem, (6) Reservatórios de Detenção ou Retenção, (7) Trincheiras de Infiltração, (8) Sistemas de Canalização, (9) Faixas de grama e Tiras de Filtro Vegetal e (10) Jardins de Chuva (Figura 44).



**Figura 44. Técnicas LIDs e de drenagem convencionais selecionadas para a aplicação de questionário.**

Fonte: Compilação da Autora (2022)<sup>13</sup>.

O estudo utilizou como instrumento de coleta o questionário online com envio de carta convite para cada respondente. O questionário continha uma combinação de diferentes perguntas fechadas, e uma elucidação fotográfica para obter melhores informações dos respondentes. Dessa forma a pesquisa de questionário continha dez técnicas, entre técnicas de desenvolvimento de baixo impacto LID e técnicas de drenagem convencional. A adição dessas técnicas permitiu que o estudo investigasse cada um destes elementos na paisagem urbana compreendendo quatro categorias: 1) atratividade (refere-se ao quão atrativo visualmente é a técnica

<sup>13</sup> Compilação da Autora (2022) a partir de imagens coletadas nos sites do Archdaily (2022), CimentPav (2011), Landscape Professionals (2022), FiltreXX (2022), Aquafluxus (2012), BCSLA.org (2022), PrefeituraCuritiba.gov (2016), Prefeitura de Itu.gov (2016).

apresentada); 2) eficácia percebida (refere-se ao termo de eficácia, se alcança os resultados de sustentabilidade quanto à técnica apresentada); 3) sustentabilidade percebida (refere-se à busca de soluções para preservação do meio ambiente e qualidade de vida à população quanto à técnica apresentada; e 4) aplicável na gestão das águas pluviais (refere-se à aplicabilidade da técnica em situações como de alagamentos urbanos).

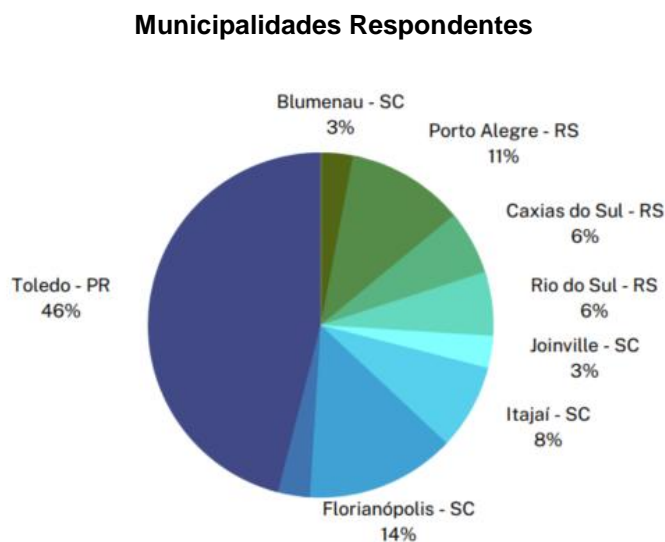
Com relação aos critérios de análise para que fossem escolhidas as cidades sul brasileiras relevantes foram levadas em consideração três fatores: (a) municípios que estejam inseridos nos estados sul brasileiros (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul); (b) cidades que sofrem de alagamentos urbanos; e (c) municípios que tenham rios e arroios em áreas urbanas consolidadas e dentro do perímetro da cidade.

O envio dos questionários teve início em janeiro e término em março de 2023. O método de distribuição foi elaborado por formulário via *Google Forms* e encaminhadas por email para as prefeituras das municipalidades sul brasileiras (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Antes do envio do email aos técnicos das municipalidades, foi realizado contato com as prefeituras via telefonemas, dessa forma, conseguiu verificar os departamentos e setores responsáveis pelo urbanismo e drenagem urbana da cidade. Após os telefonemas e contatos com os profissionais responsáveis, foi enviado via e-mail a carta convite somente para os técnicos e profissionais da prefeitura de cada cidade escolhida.

Um ponto importante a ser destacado em virtude da pesquisa de questionário ser submetida ao Comitê de ética, é que os respondentes tiveram a necessidade de afirmar 'sim' ou 'não' na pergunta denominada de 'Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE', antes de iniciar as perguntas relacionadas à pesquisa. O TCLE é um documento importante em pesquisas que são realizadas com intervenções diretas aos usuários, como é o caso desta dissertação. Logo, para as pesquisas de questionários aplicados, foi também solicitada à permissão do respondente antes do começo do questionário.

## 5.2 AVALIAÇÃO DAS CIDADES SELECIONADAS E ATUAÇÃO PROFISSIONAL

Nos três estados (PR, SC e RS), foram encaminhados para o total de 22 cidades. No estado do Paraná podem-se citar as cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu, Londrina, Maringá e Toledo. No estado de Santa Catarina foram enviadas para as cidades de Balneário Camboriú, Blumenau, Brusque, Florianópolis, Itajaí, Rio do Sul e Joinville. Já no estado do Rio Grande do Sul foram encaminhadas para as cidades de Caxias do Sul, Erechim, Ijuí, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Santana do Livramento, Santa Maria e Uruguaiana. Os dados demográficos dos participantes são mostrados na Figura 45.



**Figura 45. Dados demográficos das municipalidades respondentes.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

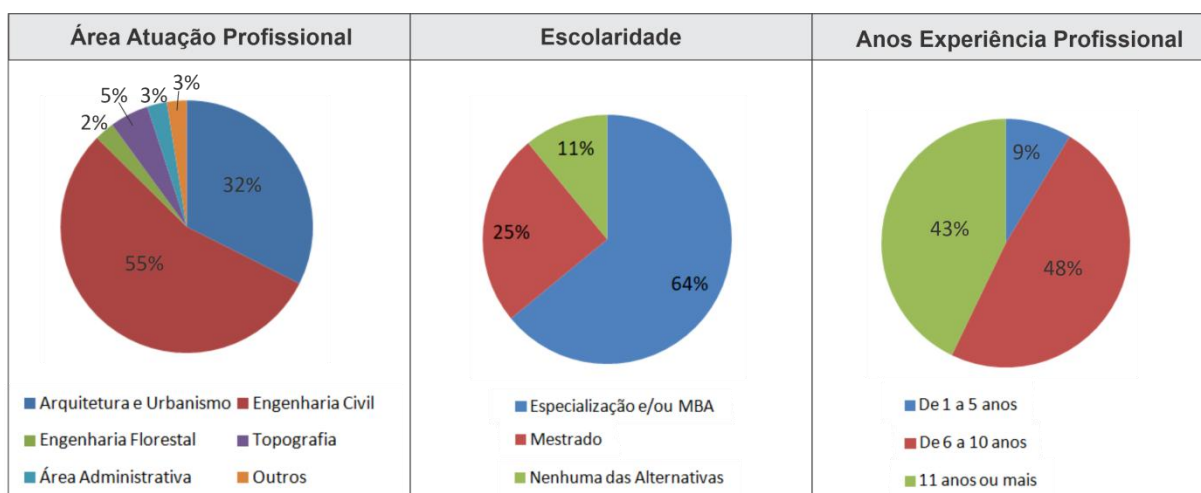
Foram enviados para um montante de 59 departamentos e secretarias das próprias prefeituras das cidades, com o intuito de distribuir os questionários aos respondentes de forma voluntária. A pesquisa estabeleceu como meta o número esperado de 40 respondentes, dessa forma, foram preenchidos 35 questionários corretamente até sua finalização, tendo assim, uma taxa de retorno de 87,5%. É importante ressaltar que esta coleta de dados por meio de questionário foi considerada para um grupo de respondentes bastante instruídos.

O refinamento e a seleção dos técnicos partiram de uma lista com oitenta e cinco técnicos, dentro os quais que se enquadravam a respeito do tema e responderam a pesquisa de questionário, 35 respondentes. Ainda, na Figura 42 demonstra a forte interação do município de Toledo na pesquisa, destaque que

merece atenção ao número expressivo de participantes com 16 somente nesta cidade. Dessa forma, a autora cita esta interação devido a sua trajetória profissional nesta cidade e maior convívio e proximidade com esses técnicos, sendo de mais fácil abertura o pedido de participação dos respondentes na pesquisa de questionário.

Por essa razão, o Apêndice A desta dissertação ao final deste documento, propõe uma análise do levantamento por meio de questionário com a retirada da cidade de Toledo-PR, para melhor comparação das cidades avaliadas, mostrando de forma determinante que independente das cidades apreciadas na pesquisa, os participantes tiveram uma concepção similar em termos de conhecimento em técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto – LID.

A Figura 46 apresenta o perfil dos participantes por área de atuação profissional, grau de escolaridade e anos de experiência profissional. No que tange à área de atuação profissional, 55% dos respondentes correspondem à área de Engenharia Civil e 32% a área de Arquitetura e Urbanismo. Quanto à escolaridade, destacou-se o número de especialização e/ou MBA, correspondendo a 64% dos participantes, mestrado, 25%, e nenhuma das alternativas 11%. Com relação à predominância dos anos de experiência profissional, 48% trabalharam de 6 a 10 anos, 43%, de 11 anos ou mais, e 9% de 1 a 5 anos de experiência profissional.



**Figura 46. Perfil dos Participantes da Pesquisa de Questionário.**

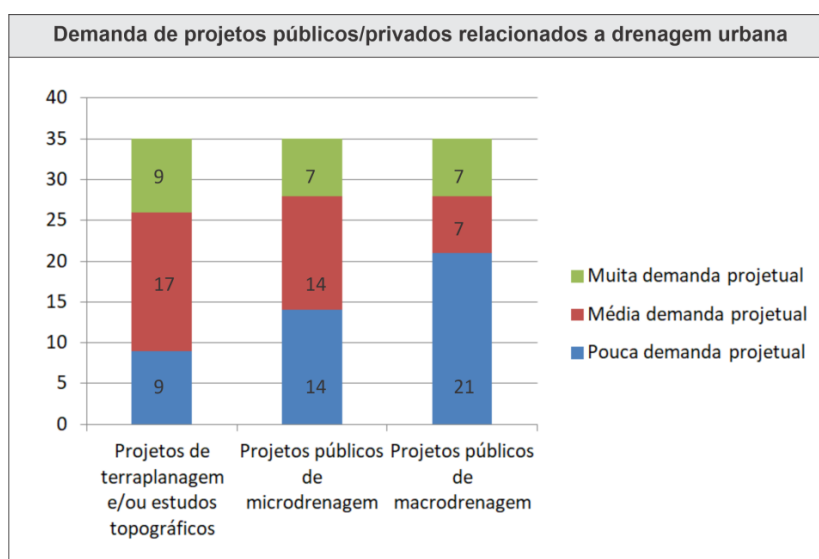
Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

### 5.3 ANÁLISE E RESULTADOS

Com o objetivo de investigar a apreciação e reconhecimento das técnicas de desenvolvimento de baixo impacto e a gestão sustentável da drenagem urbana das cidades, o questionário solicitou para que todos os respondentes avaliassem as técnicas LID e os elementos de drenagem convencional empregadas nas cidades. O estudo analisou os dados por meio de procedimentos estatísticos e os resultados estão descritos a seguir.

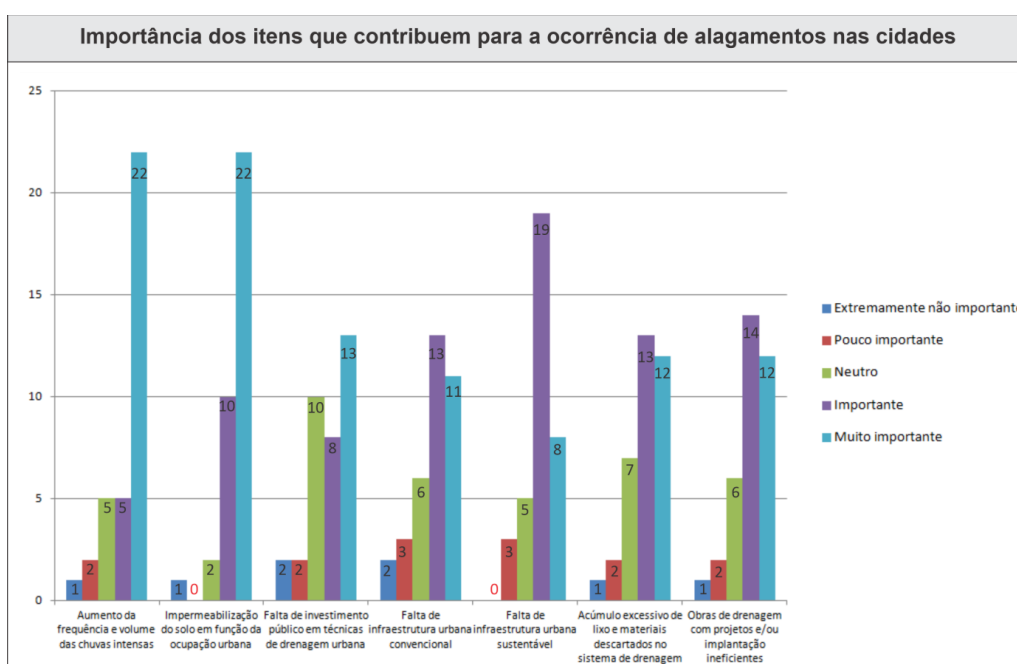
#### 5.3.1 Avaliação dos projetos sustentáveis e de drenagem municipais

No que se refere aos projetos de drenagem convencional e projetos sustentáveis nas municipalidades sul brasileiras, foi possível observar os índices da demanda de projetos públicos e privados relacionados à drenagem urbana nas municipalidades. A Figura 47 demonstra que 48,57% (17 de 35) dos respondentes concluem que ocorre nas cidades uma maior média de demanda projetual para projetos de terraplanagem e estudos topográficos. Com relação aos projetos públicos de microdrenagem (condução das águas das chuvas vindas das construções, lotes, traçados de ruas e praças), houve um empate parcial entre projetos de pouca e média demanda projetual com 40% cada item. Ademais no item de projetos públicos de macrodrenagem (escoamento de águas pluviais de rios e arroios, canalizações e barragens) apresentou 60% de pouca demanda projetual com relação ao item citado.



**Figura 47. Demanda de projetos público-privados de drenagem.**  
Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

A Figura 48 apresenta a análise da pergunta relacionada à opinião dos respondentes com relação à importância dos itens citados que contribuem para a ocorrência de alagamentos urbanos na cidade em que o respondente reside e/ou trabalha. Dos 22 de 35 respondentes, afirmaram que o aumento da frequência e volume das chuvas intensas e o item de impermeabilização do solo em função da ocupação urbana são extremamente importantes para ocorrência de alagamentos nas cidades. Com relação à falta de infraestrutura urbana sustentável, 19 dos respondentes afirmaram ser um item importante. No item de obras de drenagem com projetos e implantação ineficientes, 14 dos participantes afirmaram ser importante; já nos itens acúmulo excessivo de lixo e materiais descartados no sistema de drenagem e falta de infraestrutura urbana convencional os respondentes marcaram como importante. Ademais, com também 13 respondentes, o item da falta de investimento público em técnicas de drenagem urbana foram marcados como muito importante para a ocorrência de alagamentos nas cidades.



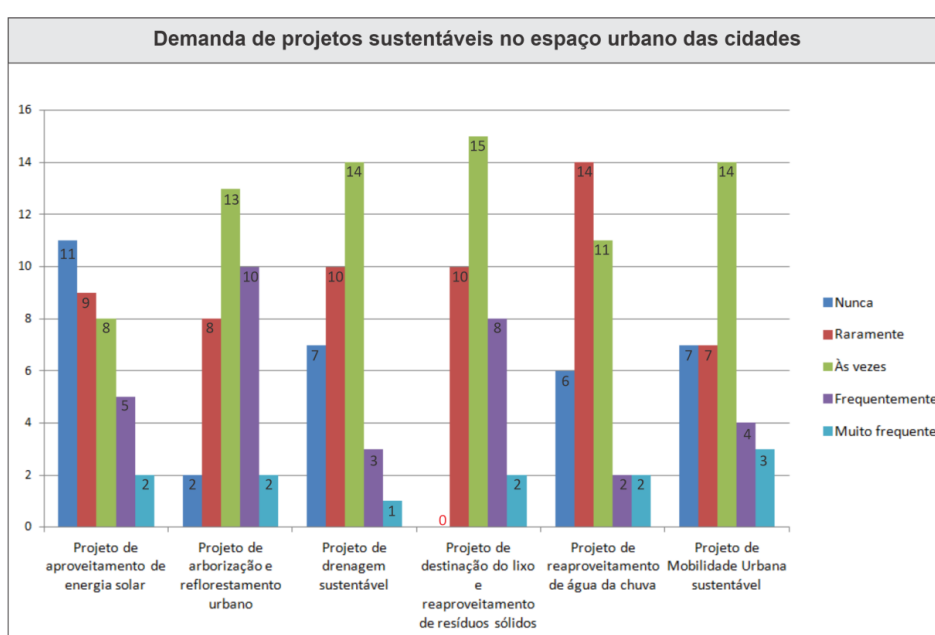
**Figura 48. Itens que contribuem para alagamentos urbanos.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

A figura 49 apresenta a pergunta relacionada à demanda de projetos sustentáveis no espaço urbano das cidades. Os projetos de destinação do lixo e reaproveitamento de resíduos sólidos foi o mais citado com 15 de 35 dos respondentes classificado como 'às vezes', ou seja, projetos desta amplitude que foram executados em algumas ocasiões nos municípios sul brasileiros. Com relação aos projetos de drenagem sustentável e projeto de mobilidade urbana sustentável



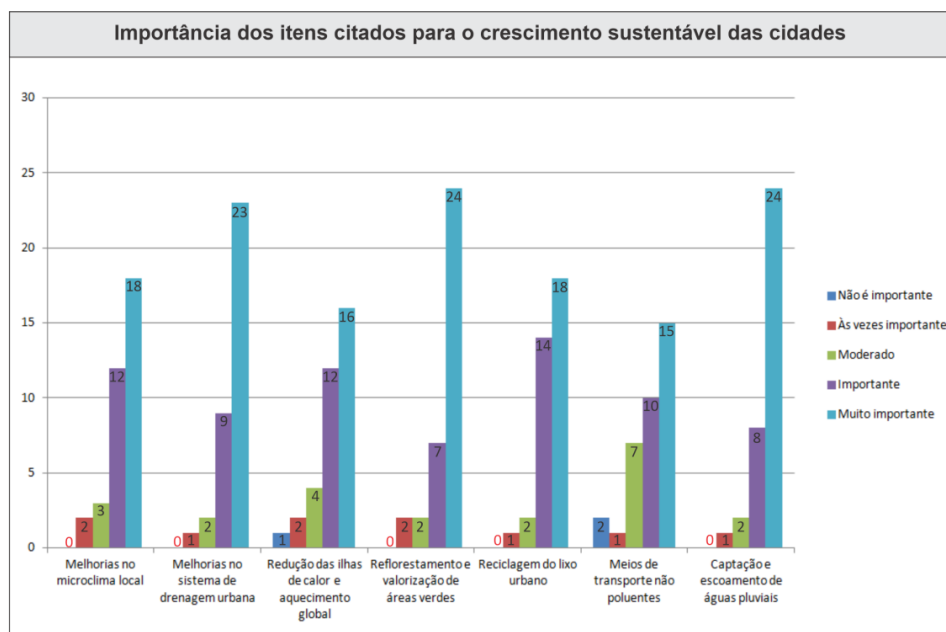
foram os segundos mais citados com 14 de 35 dos respondentes também classificado como 'às vezes'. Os projetos de reaproveitamento de água da chuva também obtiveram 14 de 35, mas se enquadraram em projetos raros segundo a classificação dos técnicos. Em terceiro lugar, com a maior citação ficou o item de projetos de arborização e reflorestamento urbano com 13 dos 35 respondentes classificados como 'às vezes', e por fim, o item de projetos de aproveitamento de energia solar com 11 de 35 dos respondentes classificado como 'nunca', em outros termos, em nenhuma circunstância foram executados esses projetos pelos respondentes que assinalaram o item descrito.



**Figura 49. Demanda de projetos sustentáveis no espaço urbano.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Na situação da Figura 50, foi apresentada a importância dos itens citados para o crescimento sustentável das cidades. É importante ressaltar que os sete itens com valores maiores foram classificados pelos respondentes como muito importante. Os dois itens com maior número de citações, com 24 de 35 respondentes foi o reflorestamento e valorização de áreas verdes e o item captação e escoamento de águas pluviais. Com 23 de 35 dos respondentes ficou o item melhorias no sistema de drenagem urbana. Além disso, como terceiros colocados ficaram também dois itens, melhorias no microclima local e o item reciclagem do lixo urbano, ambas com 18 de 35 dos respondentes. Por fim, o item de redução de ilhas de calor e aquecimento global com 16 de 35; e o item meios de transporte não poluentes com 15 de 35 dos respondentes.



**Figura 50. Itens citados para o crescimento sustentável das cidades.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Buscando entender todas as perguntas nesta seção da pesquisa de questionário, foi demonstrado que muitos dos técnicos tinham conhecimento sobre a demanda de projetos públicos e privados de drenagem urbana e projetos sustentáveis. Além disso, muitos ressaltaram ainda que a falta de investimento público em técnicas de drenagem urbana ainda acontecem nos municípios sul brasileiros, o que permite gerar reflexões para o refinamento e validação de toda a pesquisa de questionário considerada nesta pesquisa.

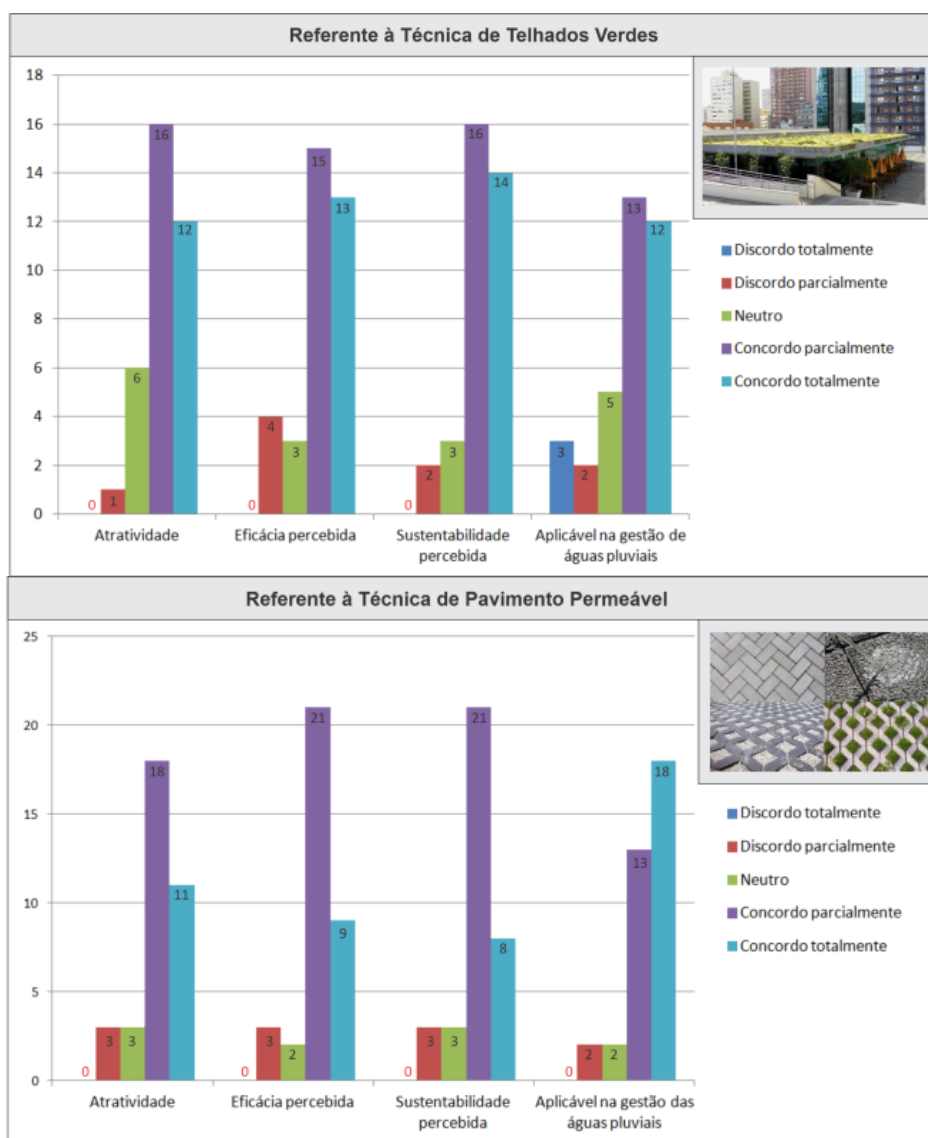
### 5.3.2 Avaliação das Técnicas LID na paisagem urbana

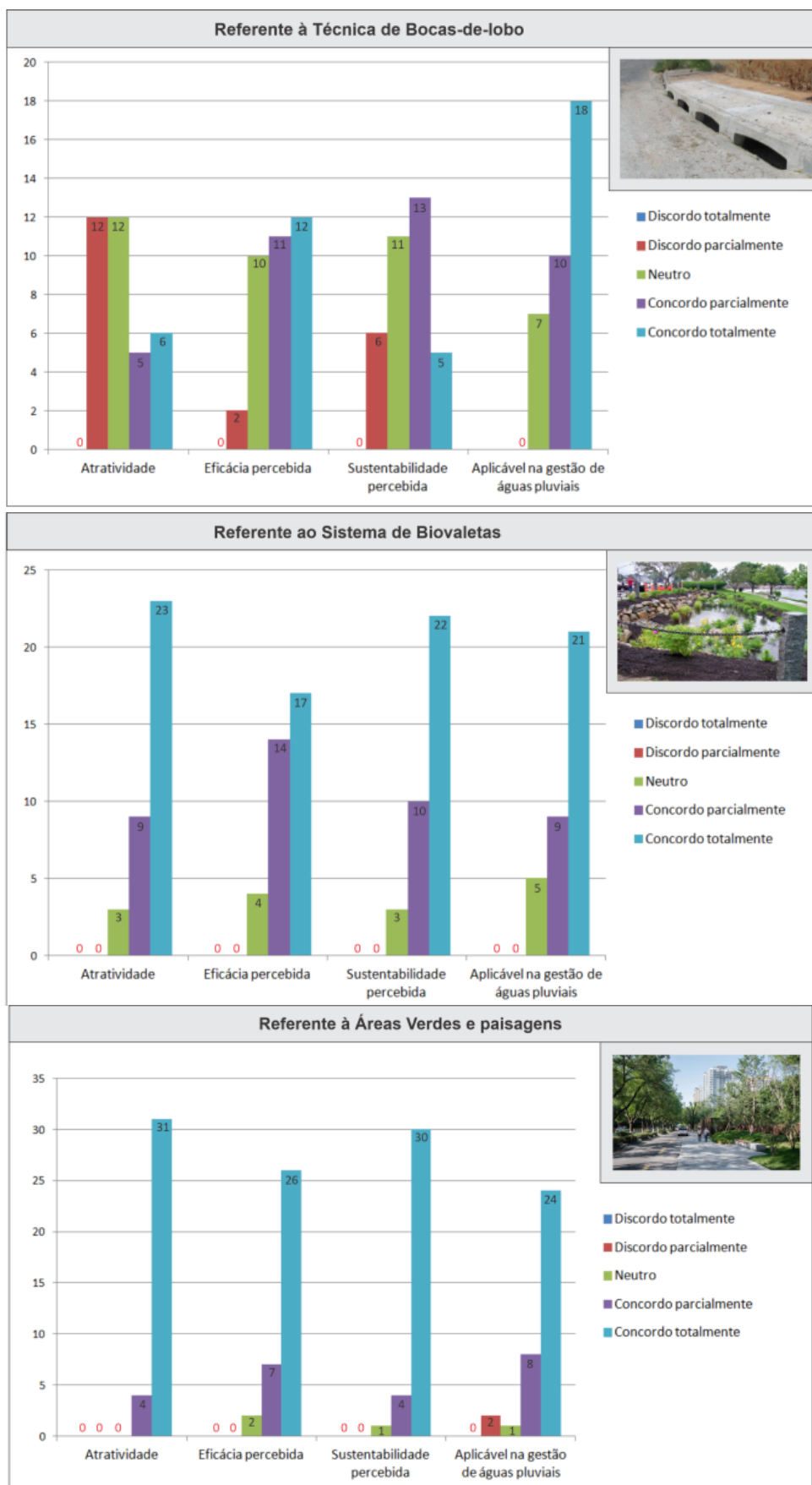
Através desta seção do questionário (seção 02), foi solicitado aos requerentes que avaliassem sua apreciação em relação à atratividade estética, eficiência funcional percebida e desempenho ecológico percebido do local usando uma escala de atitude de 5 pontos, sendo que 1 significa não apreciar nada e 5 significa apreciar muito. Além disso, foi perguntado aos técnicos se eles reconheciam os benefícios da drenagem urbana sustentável de águas pluviais dos locais, avaliando até que ponto o projeto paisagístico do local era sustentável em termos de gestão sustentável, usando uma escala de atitude de 5 pontos, uma vez que 1 significa Discordo totalmente e 5 significa Concordo totalmente.

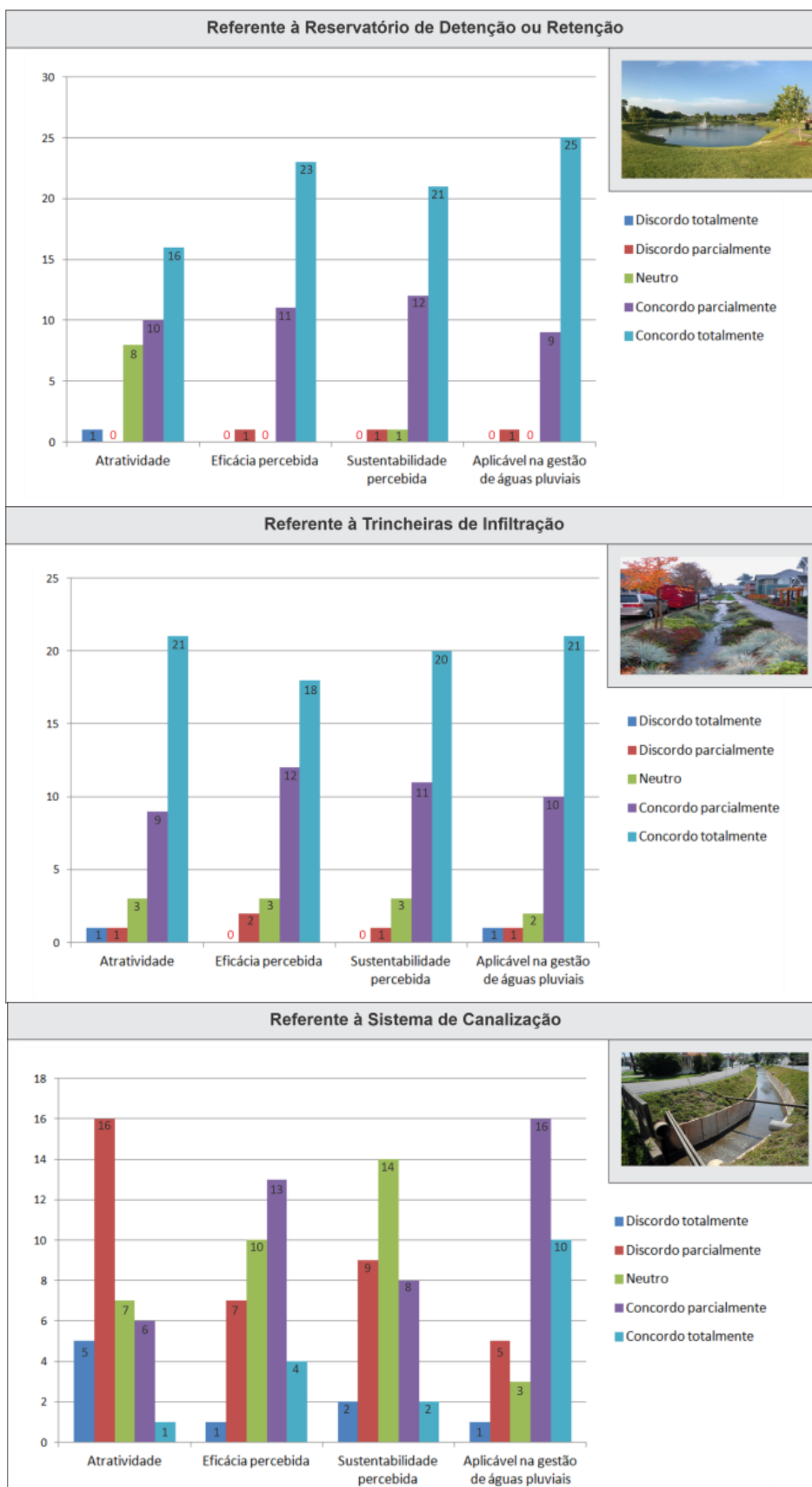
No geral, a Figura 51 mostra a análise estatística em que os respondentes apreciaram as técnicas LID. As técnicas selecionadas para as perguntas

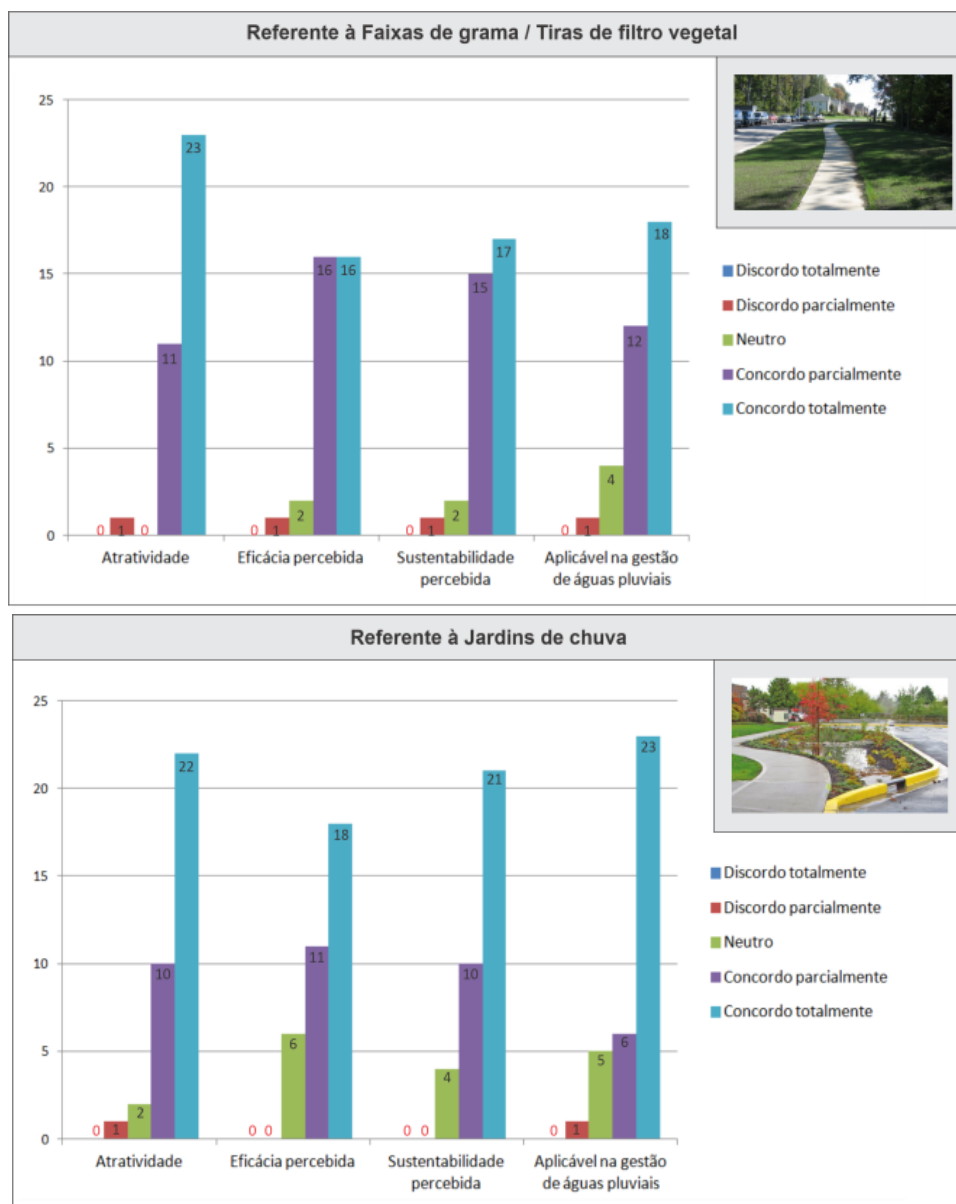
englobaram técnicas LID além de técnicas de drenagem convencional: Telhados Verdes, Pavimentação Permeável, Técnicas com Bocas de lobo, Sistemas de Biovaletas, Áreas Verdes e Paisagem, Reservatórios de Detenção ou Retenção, Trincheiras de Infiltração, Sistemas de Canalização, Faixas de grama e Tiras de Filtro Vegetal e Jardins de Chuva.

Especificamente, as técnicas de desenvolvimento de baixo impacto receberam classificações bastante positivas nos itens de categoria, seja por sua atratividade (refere-se ao quão atrativo visualmente é a técnica apresentada); eficácia percebida (refere-se ao termo de eficácia, se alcança os resultados de sustentabilidade quanto à técnica apresentada); sustentabilidade percebida (refere-se à busca de soluções para preservação do meio ambiente e qualidade de vida à população quanto à técnica apresentada); e aplicação na gestão de águas pluviais (refere-se à aplicabilidade da técnica em situações como de alagamentos urbanos).









**Figura 51. Análise estatística técnicas LID e de drenagem convencional.**

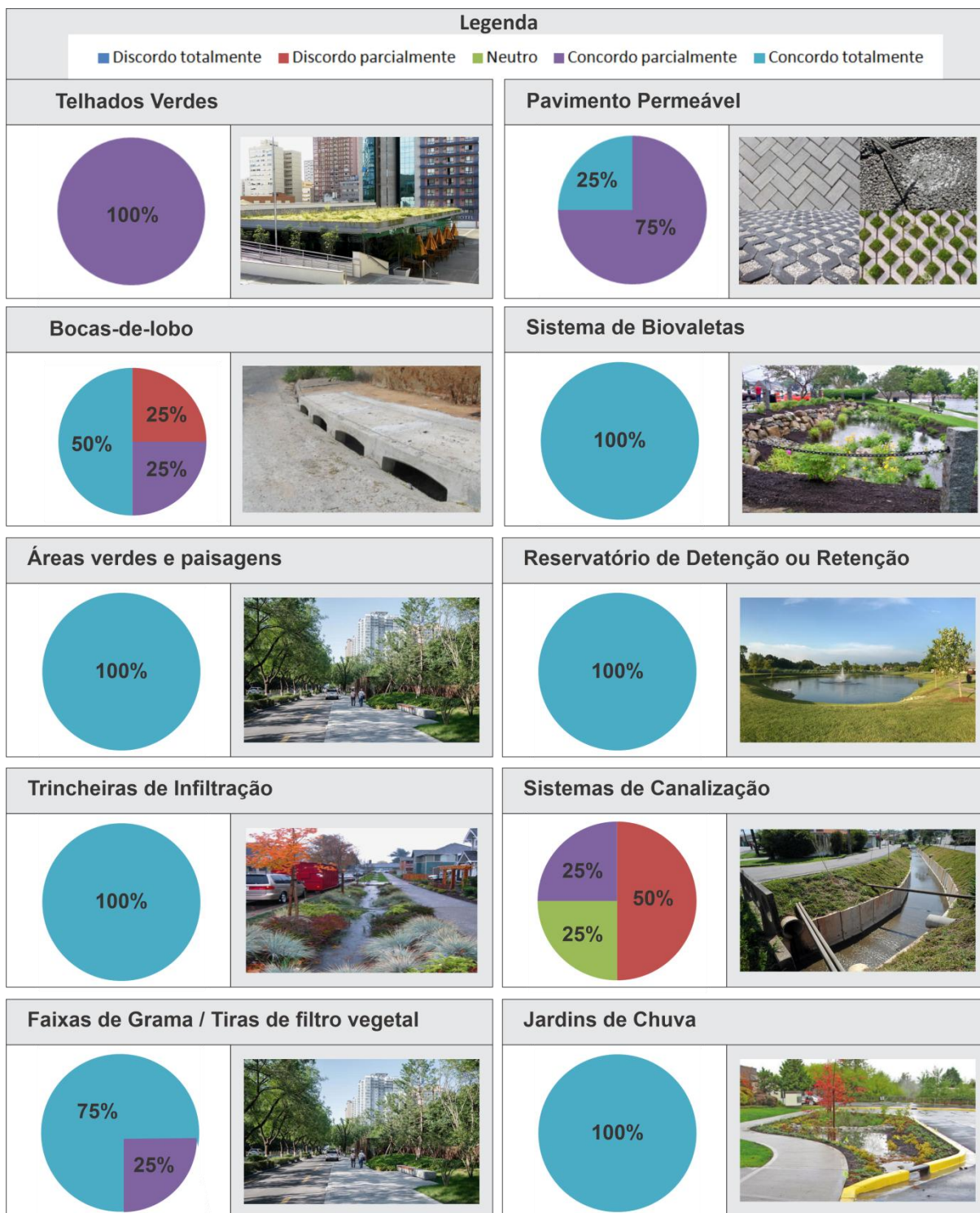
Fonte: Compilação da Autora (2023)<sup>14</sup>.

De modo geral, observando a Figura 51, é possível perceber índices de conhecimento sustentável dos participantes em relação às técnicas LIDs e a depreciação de técnicas de drenagem convencionais, apesar dos respondentes considerarem técnicas aplicáveis na gestão de água pluviais.

Essa situação demonstra um panorama favorável ao uso de técnicas de baixo impacto pelos técnicos das municipalidades sul-brasileiras. Os resultados finais destas técnicas inseridas ao questionário permitem que, a Figura 52 demonstre estatisticamente a percepção dos respondentes a respeito das técnicas

<sup>14</sup> Compilação da Autora (2022) a partir de imagens coletadas nos sites do Archdaily (2022), CimentPav (2011), Landscape Professionals (2022), FiltreXX (2022), Aquafluxus (2012), BCSLA.org (2022), PrefeituraCuritiba.gov (2016), Prefeitura de Itu.gov (2016).

selecionadas.



**Figura 52. Análise classificatória técnicas LID e convencionais.**

Fonte: Compilação da Autora (2023)<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Compilação da Autora (2022) a partir de imagens coletadas nos sites do Archdaily (2022), CimentPav (2011), Landscape Professionals (2022), FiltreXX (2022), Aquafluxus (2012), BCSLA.org (2022), PrefeituraCuritiba.gov (2016), Prefeitura de Itu.gov (2016).

No que se refere às técnicas de telhados verdes no panorama geral dos itens classificatórios da pesquisa de questionário, pode-se concluir que 100% dos respondentes concordaram parcialmente em termos de atratividade, eficácia percebida, sustentabilidade percebida e aplicável na gestão de águas pluviais.

Com relação às técnicas de Faixas de grama e Tiras de filtro vegetal, 25% dos respondentes concordaram parcialmente e 75% concordaram totalmente em termos de atratividade, eficácia percebida, sustentabilidade percebida e aplicável na gestão de águas pluviais das técnicas citadas. Enquanto que a técnica de Pavimento Permeável os participantes concordaram parcialmente com 75%, e 25% optaram por concordar totalmente com relação as quatro categorias de classificação.

No que diz respeito às técnicas de drenagem convencionais citadas como Boca-de-lobo e Sistemas de canalização não foram bem aceitas por todos os respondentes. A técnica de boca-de-lobo totalizou 50% dos respondentes que concordam totalmente com a técnica, 25% concordam parcialmente e 25% discordam parcialmente da utilização desta técnica para meios sustentáveis nas cidades. Já a técnica de sistema de canalização, 25% dos respondentes discordaram parcialmente da utilização desta técnica para desenvolvimento sustentável das cidades, 25% dos respondentes permaneceram neutros com relação à técnica, e 50% discordaram parcialmente da sua utilização na aplicação de gestão sustentável das cidades.

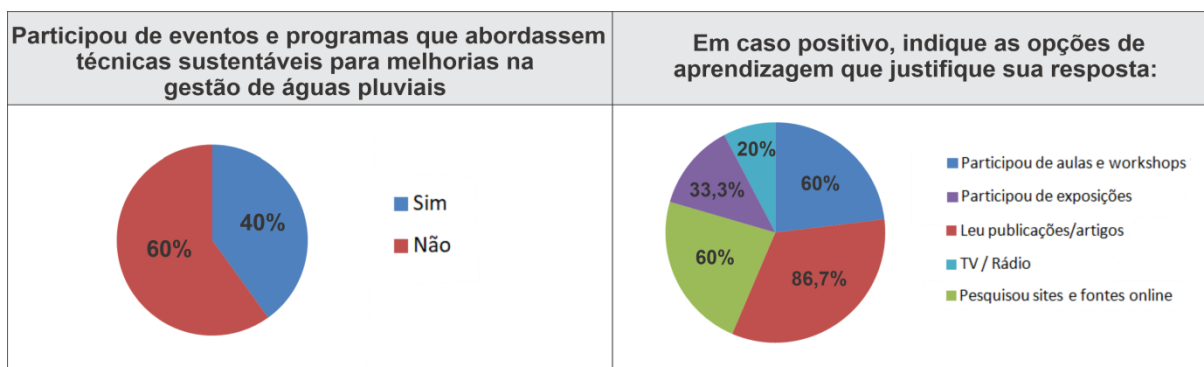
Por fim, as cinco técnicas citadas acima (sistemas de biovaletas, áreas verdes e paisagens, reservatório de retenção ou detenção, trincheiras de infiltração e jardins de chuva), receberam 100% de aprovação pelos respondentes nos itens de atratividade, eficácia percebida, sustentabilidade percebida e aplicável na gestão de águas pluviais. Assim, foi demonstrado que a valorização destas técnicas LID em projetos de drenagem sustentáveis nas cidades é reconhecida pelos técnicos das municipalidades sul-brasileiras.

### 5.3.3 Conhecimento sobre gestão sustentável e técnicas LID

Na seção três desta pesquisa de questionário foi solicitado aos respondentes que avaliassem suas experiências e conhecimentos sobre a gestão sustentável de águas pluviais. Com relação a eventos e programas que abordassem técnicas sustentáveis como estas apresentadas, 60% dos respondentes afirmaram que



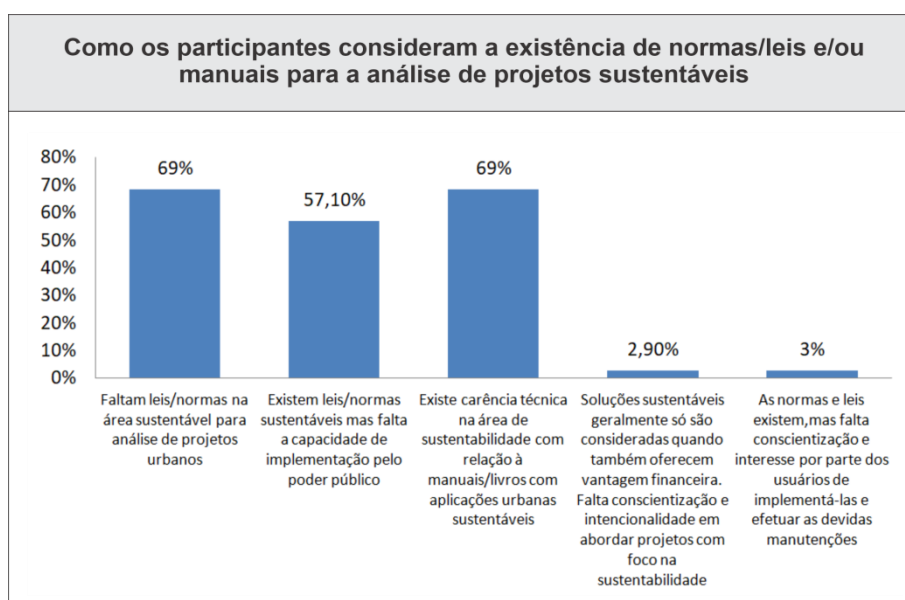
nunca tinham participado de pesquisas com essas características e 40% afirmaram positivamente (Figura 53).



**Figura 53. Experiências e conhecimentos sobre gestão sustentável.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Para os respondentes que afirmaram positivamente, foi solicitado que indicasse as opções de aprendizagem na área de gestão de drenagem urbana e técnicas sustentáveis. Dessa forma, 86,7% afirmaram que leram publicações e artigos, 60% dos respondentes participaram de aulas e workshops e do item de pesquisa em sites e fontes online também com 60%, 33,3% participaram de exposições na área de técnicas sustentáveis para melhorias na gestão de águas pluviais e 20% escutaram sobre o assunto pela TV e/ou rádio.



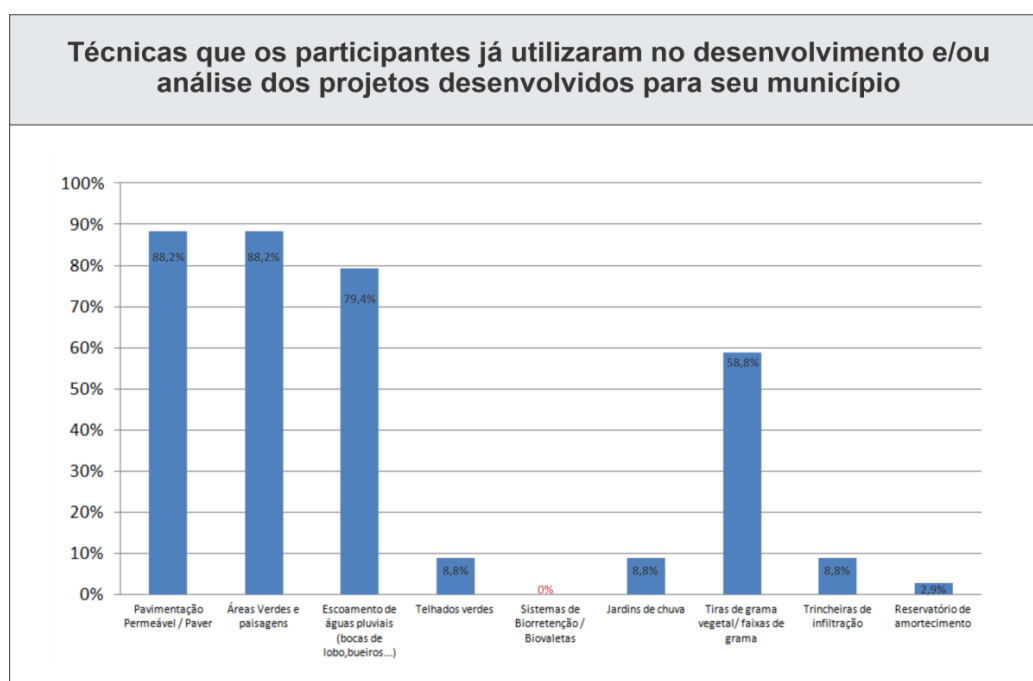
**Figura 54. Existência de normas e leis para análise sustentável.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

No que diz respeito à existência de normas, leis e manuais para a análise de projetos sustentáveis, a Figura 54 mostra que, segundo 69% dos respondentes faltam leis e normas na área sustentável para análise de projetos urbanos e existe

carência na área de sustentabilidade com relação a manuais e livros com aplicações urbanas sustentáveis, enquanto 57,10% afirmam que existem leis e normas sustentáveis, mas falta capacidade de implementação pelo poder público, 3% dos respondentes as normas e leis existem, mas falta conscientização e interesse por parte dos usuários de implementá-las e efetuar as devidas manutenções, e apenas 2,90% dos respondentes garantem que soluções sustentáveis geralmente só são consideradas quando também oferecem vantagem financeira, falta conscientização e intencionalidade em abordar projetos com foco na sustentabilidade ambiental.

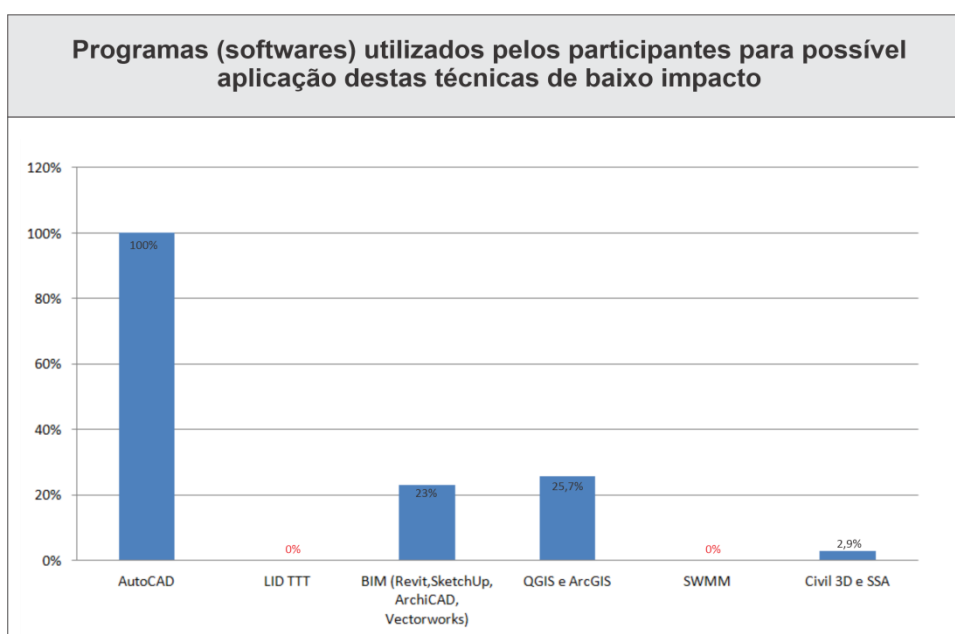
Com relação aos participantes que já utilizaram as técnicas LID nos projetos dos municípios em que residem e/ou trabalham, a Figura 55 apresenta como predominante a utilização de duas técnicas de desenvolvimento de baixo impacto, a técnica de pavimentação permeável/paver e áreas verdes e paisagens com 88,2% dos respondentes. No que se refere à técnica de escoamento de águas pluviais (bocas-de-lobo, bueiros...) apresentaram 79,4% de utilização pelos respondentes, enquanto 58,8% utilizam da técnica de tiras de grama vegetal e faixas de grama. Em seguida, três técnicas foram empregadas pelos técnicos em 8,8% que foram telhados verdes, jardins de chuva e trincheiras de infiltração. Por fim, a técnica de reservatório de amortecimento foram utilizadas cerca de 2,9% pelos respondentes e sistemas de biorretenção e biovaletas não foram selecionadas nesta pergunta pelos técnicos, permanecendo com 0%.



**Figura 55. Técnicas sustentáveis utilizadas nos municípios.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

No que está relacionado aos programas utilizados pelos participantes para possível aplicação das técnicas LID nos municípios, a Figura 56 exibe como predominante a utilização do Programa AutoCAD pelos técnicos com 100% de utilização. No que se refere aos programas QGIS e ArcGIS apresentaram 25,7% de utilização pelos respondentes, enquanto 23% utilizam da plataforma BIM<sup>16</sup> (Revit, SketchUP, ArchiCAD, Vectorworks). Outrossim, foi citado pelos respondentes o programa CIVIL 3D e SSA utilizado para aplicação de técnicas de baixo impacto com 1%. Por conseguinte, os programas *LID TTT* e o SWMM não foram citados pelos participantes, permanecendo com 0%.



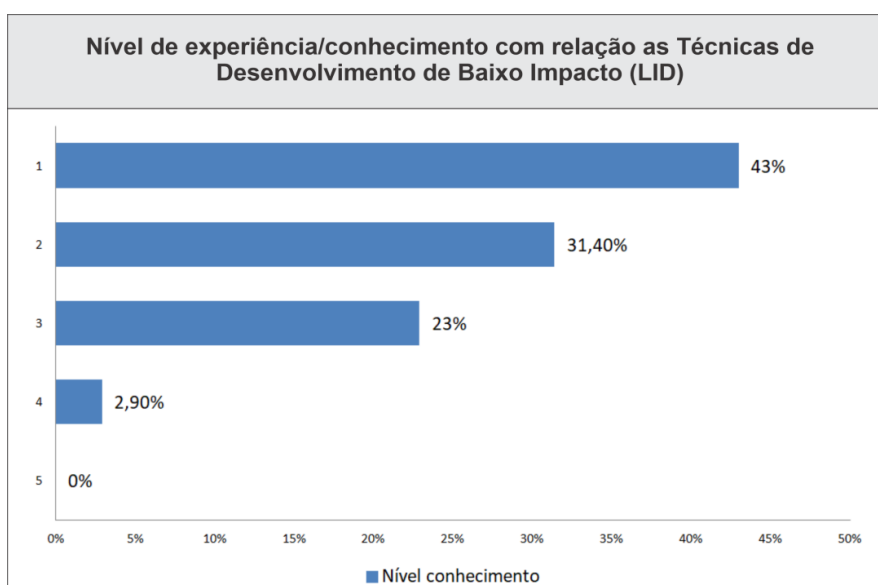
**Figura 56. Programas utilizados pelos respondentes.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Para finalizar a pesquisa por meio de questionário, foi perguntado aos respondentes quanto ao nível de experiência que cada um teria com relação às Técnicas de Baixo Impacto – LID. Na Figura 57 apresenta o nível de experiência dos participantes, usando uma escala de atitude de 5 pontos, uma vez que 5 significa que o respondente tem domínio pelo conteúdo relacionado as técnicas LIDs e 1 significa que possui pouco ou nada de conhecimento sobre essas técnicas sustentáveis.

<sup>16</sup> De acordo com a Empresa de Software de Design e Conteúdo Digital AUTODESK (2023, tradução nossa), a plataforma BIM (*Building Information Modeling*) trata-se de processo holístico de criar e gerenciar informações para um ambiente construído. Com base em um modelo inteligente e habilitado por uma plataforma de nuvem, o BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um ativo em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e projeto até a construção de operações a nível executivo.

No que se refere à escala de número 1 foram encontrados 43% dos participantes, demonstrando que os próprios respondentes ainda tem pouco conhecimento sobre a técnica descrita. Com relação à escala de número 2 apresentaram 31,40% de conhecimento pelos participantes, enquanto 23% marcaram a opção da escala de número 3, ou seja, que possuem conhecimento moderado sobre o assunto. Em seguida, a escala de número 4 recebeu 2,90% dos respondentes correspondendo a muito conhecimento sobre as técnicas de baixo impacto e 0% dos participantes marcaram a opção da escala de número 5, em que o profissional possui pleno domínio sobre o assunto das técnicas LIDs.





**Figura 57. Nível de experiência dos participantes.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Ao término da pesquisa de questionário, foi feita a compilação dos resultados das três seções apresentadas nesta dissertação visando uma análise comparativa de todas as perguntas, conforme apresentado na sequência desta pesquisa.



Seção 02				
Avaliação das Técnicas LID na paisagem urbana (%)				
<b>Técnica de Telhados Verdes</b>	<b>Atratividade</b> (45,71%) 16 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (42,85%) 15 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (45,71%) 16 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (37,14%) 13 de 35 respondentes
	Concordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo parcialmente
<b>Técnica de Pavimento Permeável</b>	<b>Atratividade</b> (51,42%) 18 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (60%) 21 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (60%) 21 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (51,42%) 18 de 35 respondentes
	Concordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<b>Técnica de Bocas de Lobo</b>	<b>Atratividade</b> (34,28%) 12 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (34,28%) 12 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (37,14%) 13 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (51,42%) 18 de 35 respondentes
	Discordo parcialmente	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<b>Técnica Sistema de Biovaletas</b>	<b>Atratividade</b> (65,71%) 23 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (48,57%) 17 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (62,85%) 22 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (60%) 21 de 35 respondentes
	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente
<b>Técnica de Áreas Verdes e Paisagens</b>	<b>Atratividade</b> (88,57%) 31 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (48,57%) 17 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (62,85%) 22 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (60%) 21 de 35 respondentes
	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente
<b>Técnica de Reservatório de Detenção ou Retenção</b>	<b>Atratividade</b> (45,71%) 16 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (65,71%) 23 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (60%) 21 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (60%) 21 de 35 respondentes
	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente
<b>Técnica de Trincheiras de Infiltração</b>	<b>Atratividade</b> (60%) 21 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (51,42%) 18 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (57,14%) 20 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (60%) 21 de 35 respondentes
	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente
<b>Técnica de Sistemas de Canalização</b>	<b>Atratividade</b> (45,71%) 16 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (37,14%) 13 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (40%) 14 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (45,71%) 16 de 35 respondentes
	Discordo parcialmente	Concordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente
<b>Técnica de Faixas de</b>	<b>Atratividade</b> (65,71%)	<b>Eficácia Percebida</b>	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (48,57%)	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b>

<b>Grama / Tiras de Filtro Vegetal</b>	23 de 35 respondentes	(45,71%) 16 de 35 respondentes	17 de 35 respondentes	(51,42%) 18 de 35 respondentes				
	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente				
<b>Técnica de Jardins de Chuva</b>	<b>Atratividade</b> (62,85%) 22 de 35 respondentes	<b>Eficácia Percebida</b> (51,42%) 18 de 35 respondentes	<b>Sustentabilidade Percebida</b> (60%) 21 de 35 respondentes	<b>Aplicável na gestão de águas pluviais</b> (65,71%) 23 de 35 respondentes				
	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente	Concordo totalmente				
<b>Seção 03</b>								
<b>Conhecimento sobre gestão sustentável e técnicas LID</b>								
<b>Participou de eventos e programas que abordassem técnicas sustentáveis para melhorias na gestão de águas pluviais:</b>		<b>Em caso positivo, indicar as opções de aprendizagem que justifique a resposta:</b>						
Sim – 60% dos participantes		86,7% Leram publicações/artigos 60% Participaram de aulas e workshops 60% Pesquisaram sites e fontes online 33,3% Participaram de exposições 20% TV/Rádio						
Não – 40% dos participantes								
<b>Como os participantes consideram a existência de normas/leis e/ou manuais para a análise de projetos sustentáveis</b>								
<b>Faltam leis/normas na área sustentável para análise de projetos urbanos</b> (69%)	<b>Existem leis/normas sustentáveis, mas falta a capacidade de implementação pelo poder público</b> (57,10%)	<b>Existe carência na área de sustentabilidade com relação à manuais/livros com aplicações urbanas sustentáveis</b> (69%)	<b>Soluções sustentáveis geralmente só são consideradas quando também oferecem vantagem financeira. Falta conscientização e intencionalidade em abordar projetos com foco na sustentabilidade.</b> (2,90%)	<b>As normas e leis existem, mas falta conscientização e interesse por parte dos usuários de implementá-las e efetuar as devidas manutenções.</b> (3%)				
<b>Técnicas que os participantes já utilizaram no desenvolvimento e/ou análise dos projetos desenvolvidos para os municípios</b>								
<b>Pav. Permeável – Paver</b> (88,2%)	<b>Áreas Verdes e Paisagens</b> (88,2%)	<b>Escoamento de Águas Pluviais</b> (79,4%)	<b>Telhados Verdes</b> (8,8%)	<b>Sistemas de Biorretenção/ Biovaletas</b> (0%)	<b>Jardins de Chuva</b> (8,8%)	<b>Tiras de Grama Vegetal / Faixas de Grama</b> (58,8%)	<b>Trincheiras de Infiltração</b> (8,8%)	<b>Reservatório de Amortecimento</b> (2,9%)
<b>Programas utilizados pelos participantes para aplicação das técnicas LID</b>								
<b>AutoCAD</b> (100%)	<b>LID TTT</b> (0%)	<b>BIM (Revit, SketchUP, ArchiCAD, Vectorworks)</b> (23%)	<b>QGIS e ArcGIS</b> (25,7%)	<b>SWMM</b> (0%)	<b>Civil 3D e SSA</b> (2,9%)			
<b>Nível de experiência/conhecimento com relação às Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)</b>								
<b>Nada/ Muito pouco</b> <b>1</b> (43%) 15 de 35 respondentes	<b>Pouco conhecimento</b> <b>2</b> (31,40%) 11 de 35 respondentes	<b>Moderado</b> <b>3</b> (23%) 8 de 35 respondentes	<b>Muito conhecimento</b> <b>4</b> (2,90%) 1 de 35 respondentes	<b>Domínio do Conhecimento</b> <b>5</b> (0%) 0 de 35 respondentes				

**Quadro 14. Resumo da Pesquisa de Questionário.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Quanto à seção 01, referente aos dados demográficos das municipalidades sul-brasileiras, foi possível observar a predominância de engenheiros civis e arquitetos e urbanistas. Esse resultado já era esperado, devido essa área técnica trabalhar com a questão da gestão sustentável das cidades, drenagem urbana e urbanismo. Quanto ao grau de escolaridade, é possível observar que a grande

maioria dos técnicos possui especialização e/ou MBA.

Nos tocante aos resultados avaliados, foi possível observar que ocorre pouca demanda projetual com relação aos projetos de drenagem urbana nos municípios sul brasileiros, isso pode estar relacionado ao fato que o controle das cargas pontuais na drenagem urbana de microdrenagem e macrodrenagem ainda é pouco eficaz nas cidades. Dessa forma, a gestão da drenagem urbana é um desafio criticamente importante (Chocat *et al.*, 2001; Fletcher *et al.*, 2013) nas cidades sul-brasileiras.

Com relação aos itens que contribuem para a ocorrência dos alagamentos urbanos, foi possível observar que os três itens classificados como muito importante pelos respondentes destacaram-se o aumento da frequência e volume das chuvas (62,86%), a impermeabilização do solo em função da ocupação urbana (62,86%) e a falta de investimento público em técnicas de drenagem urbana (37,14%).

A demanda de projetos sustentáveis no espaço urbano das cidades demonstrou que os projetos de reaproveitamento de energia solar (31,42%) foram considerados muito frequentes pelos respondentes e os projetos de reaproveitamento de água da chuva (40%) foram classificados como raramente. De modo geral, observou que projetos na área sustentável eram poucos executados pelas cidades sul brasileiras.

Na importância dos itens citados para o crescimento sustentável das cidades, foi observada uma percepção positiva dos participantes em que os sete itens citados foram classificados como muito importante pelos respondentes. Dentre as percepções mais positivas da pesquisa destaca-se o item reflorestamento e valorização de áreas verdes (68,57%) e o item captação e escoamento de águas pluviais (68,57%).

Quanto à seção 02 - Avaliação das Técnicas LID na paisagem urbana, de modo geral, foi observada uma percepção positiva dos respondentes nas técnicas sustentáveis investigadas. Dentre as percepções mais positivas da avaliação destacam-se as técnicas de sistemas de biovaletas, áreas verdes e paisagens, reservatórios de detenção ou retenção, trincheiras de infiltração e jardins de chuva que a grande maioria dos respondentes concordou parcialmente em termos de atratividade, eficácia percebida, sustentabilidade percebida e aplicável na gestão de águas pluviais dentre as técnicas descritas. Os resultados corroboram com os estudos dos autores citados na RSL. Já em relação à percepção mais negativa dos



participantes, destacam-se as técnicas de bocas-de-lobo (34,28%) e sistemas de canalização (45,71%), que em termos de atratividade da técnica discordam parcialmente do seu uso no desenvolvimento e gestão sustentável das cidades.

Quanto à seção 03- conhecimento sobre gestão sustentável e técnicas LID, foi possível identificar que 60% dos respondentes participaram de eventos e programas que abordassem técnicas sustentáveis para melhorias na gestão de águas pluviais, em contraponto 40% não participaram desses eventos. Quanto à parcela de 60% que participou dos eventos, os participantes citaram suas opções de aprendizagem, a grande maioria (86,7%) leram publicações e artigos e por segundo lugar, não menos importante (60%) participaram de aulas e workshops e pesquisaram fontes e sites online.

Buscando identificar como os participantes consideram a existência de normas, leis e manuais para a análise de projetos sustentáveis, os principais motivos responsáveis por este quesito foram com (69%) faltam leis e normas na área sustentável para análise de projetos urbanos e, também com (69%) a existência de carência na área de sustentabilidade com relação a manuais e livros com aplicações urbanas sustentáveis. Em segundo lugar, com (57,10%) o motivo de existência de leis e normas, mas falta à capacidade de implementação pelo poder público. Desse modo, é possível concluir que a carência de leis e normas e implementação pública para as cidades ainda possui falhas de desenvolvimento, não existindo uma base regulamentar específica sobre técnicas sustentáveis de drenagem pluvial. Além disso, um maior acervo de manuais e livros de aplicação de forma sustentável nas cidades e que fossem disponíveis para os técnicos municipais, auxiliariam no melhor desenvolvimento de projetos urbanos nas cidades sul brasileiras.

No tocante às técnicas que os participantes já utilizaram no desenvolvimento e análise dos projetos desenvolvidos para os municípios, foi possível observar índices positivos nas técnicas de áreas verdes e paisagens (88,2%) e pavimentação/paver (88,2%). Em segundo lugar ficaram as técnicas de escoamento de águas pluviais (bocas-de-lobo, bueiros) com 79,4%. Quanto aos índices negativos, os respondentes não marcaram a opção de sistemas de biorretenção ou biovaletas (0%), desse modo, demonstra que os participantes não tem conhecimento sobre a execução desta técnica, bem como, a função da técnica, em termos de sedimentação, filtração ou absorção biológica (Singapore, 2011, p. 34). Além disso, os sistemas de biorretenção podem reduzir o volume total de

escoamento de águas pluviais, o principal valor das biovaletas reside no fato de que elas infiltram e filtram quase toda a água proveniente de chuvas frequentes e pequenas (NRCS, 2005). Assim, as biovaletas reduziram a pressão sobre o sistema de esgoto municipal das cidades, o que acarretaria em arroios e bacias d'água mais limpas.

Com relação aos programas utilizados pelos participantes para a aplicação das técnicas LID, o programa mais mencionado foi o *software* AutoCAD com 100% de utilização, em segundo lugar ficaram os programas QGIS e ArcGIS com 25,7% e em seguida, a plataforma BIM com 23%. A respeito dos programas não utilizados pelos respondentes estavam os *softwares* SWMM e *LID TTT*, ambos com 0%.

De modo geral, foi observada o nível de experiência e conhecimento dos respondentes com relação às Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), sobretudo, usando uma escala de atitude de 5 pontos. No que se refere à escala de número 1 aonde foram encontrados mais percepções dos participantes, demonstrando que 43% dos próprios respondentes ainda tem pouco conhecimento sobre a técnica descrita. Com relação à escala de número 2 apresentaram 31,40% de conhecimento pelos participantes, enquanto 23% marcaram a opção da escala de número 3, ou seja, que possuem conhecimento moderado sobre o assunto. Em seguida, a escala de número 4 recebeu 2,90% dos respondentes correspondendo a muito conhecimento sobre as técnicas de baixo impacto e 0% dos participantes marcaram a opção da escala de número 5, em que o profissional possui pleno domínio sobre o assunto das técnicas LIDs.

Após o término da apresentação da pesquisa de questionário, assim como a apresentação e discussão dos resultados, foi realizada a estruturação da Etapa C no capítulo posterior, na qual será apresentada a construção de um método de aplicações de baixo impacto (LID) no contexto dos alagamentos urbanos, bem como evidenciar os pontos convergentes e divergentes do produto final.

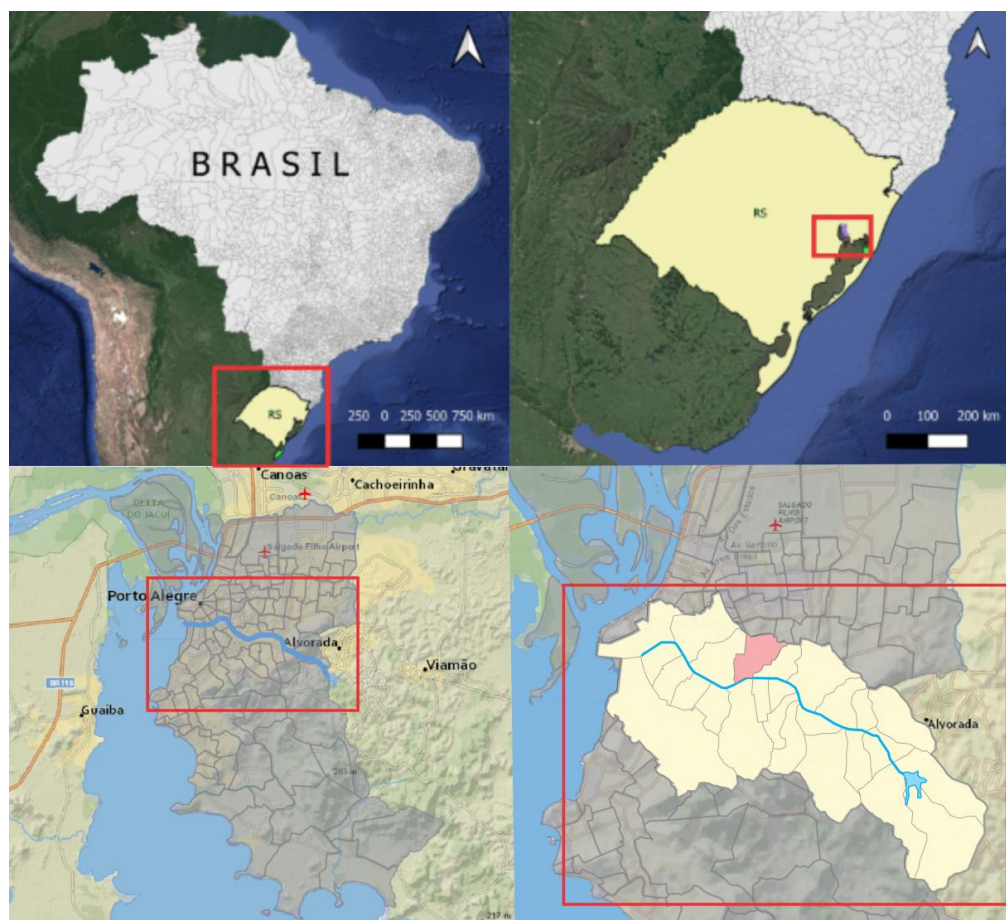
## **6 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO**

O presente capítulo tem por objetivo apresentar a metodologia proposta para o controle dos alagamentos urbanos. Primeiramente foi analisado o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre e o estudo documental das bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio de referência, a partir dessa análise, foram compilados dados para a seleção da bacia escolhida para a área de estudo do Arroio Dilúvio através de análise espacial com o Programa de Modelagem Hídrica *Software LID TTT* e o *Software* de Geoprocessamento *QGIS 3.16.9*.

### **6.1 SELEÇÃO DA BACIA DO ARROIO DILÚVIO**

Com início na Fase 1 desta metodologia, a seleção da área de estudo na Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio (Etapa 01), teve por objetivo analisar o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre e o estudo documental das bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio. A partir da análise comparativa de toda a bacia hidrográfica do Arroio foram compilados dados para a seleção da sub-bacia escolhida para o desenvolvimento do estudo de caso (Figura 58). A área de estudo será destinada a ser um local para refletir sobre as condições de alagamentos urbanos e inundações no contexto de Porto Alegre.

A literatura apontou para a importância de pesquisas em contextos municipais para a implementação de técnicas LID, dessa forma, a escolha da cidade de Porto Alegre servirá também para atuar como um estudo piloto para as municipalidades sul brasileiras, sendo aplicada em uma área com urbanização consolidada e problemas de alagamentos urbanos.



**Figura 58. Área de Estudo da pesquisa.**

Fonte: Elaborado no Software QGIS pela autora (2022).

Segundo o Plano Diretor Drenagem Urbana de Porto Alegre (2014), a bacia do Arroio Dilúvio é a principal bacia hidrográfica da cidade de Porto Alegre, considerando a população envolvida, sua dimensão e as áreas que atravessam Porto Alegre. As principais características da bacia são apresentadas no Quadro 15:

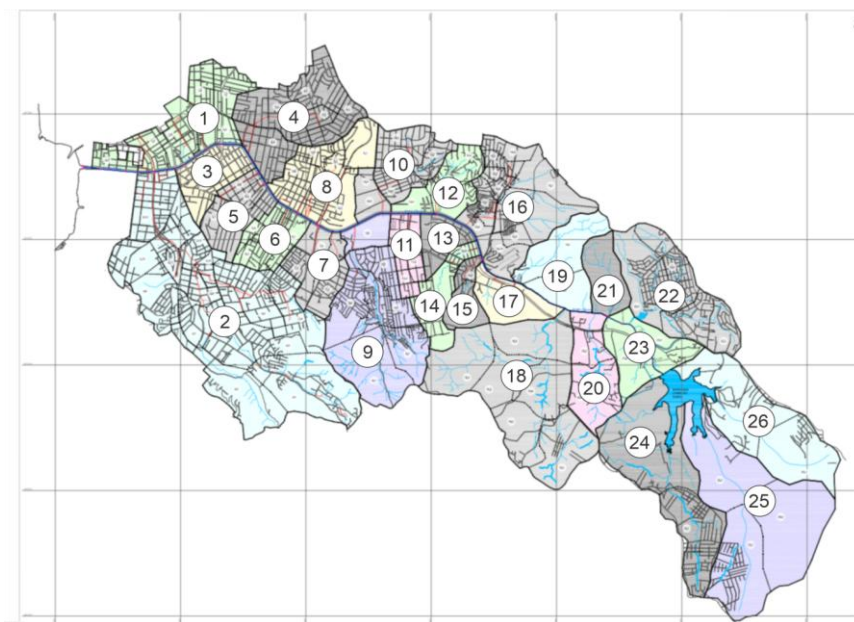
Característica	Valor	
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	76,20	
Comprimento do rio principal (Km)	9,71	Trecho canalizado
	4,38	Trecho não canalizado
	14,09	Total
Declividade média (m/m)	0,00284	
População urbana	443.895	

**Quadro 15. Características Físicas da Bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio.**

Fonte: Adaptado do PDDU pela autora (2022).

Além disso, para a melhor análise de toda a bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio foi executado pelo PDDU de Porto Alegre (2014), a discretização da bacia hidrográfica, isto é, a divisão do Arroio Dilúvio em sub-bacias (SB). Inicialmente

utilizou-se a segmentação proposta por Campana (1995) que dividiu a bacia em 28 sub-bacias com contribuição direta para o canal principal. No estudo apresentado pelo PDDU (2014), no entanto, a bacia do Arroio Dilúvio foi dividida em 26 sub-bacias ou macroregiões hidrográficas (Figura 59) de contribuição direta para o canal principal ou para os reservatórios Lomba do Sabão e Mãe d'água. O estudo foi refinado pelo detalhamento de cadastros de rede de microdrenagem disponibilizados pelo Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre (DEP/POA).



**Figura 59. Discretização das 26 Sub-Bacias do Arroio Dilúvio.**

Fonte: Adaptado do PDDU (2014).

Para conduzir a análise espacial, a primeira e fundamental etapa foi definir a sub-bacia que será a área de estudo desta pesquisa. Dessa forma, o método aqui aplicado para a escolha da sub-bacia do Arroio Dilúvio foi subdividido em duas etapas, sendo estas: (1) análise comparativa das sub-bacias sujeitas às inundações e alagamentos e; (2) avaliação dos impactos existentes nos aspectos inter-relacionados de drenagem e urbanizações consolidadas da área analisada segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2014).

Segundo a análise comparativa relativa à (1) identificação e qualificação de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações na Bacia do Arroio Dilúvio, foi necessário considerar o tempo de recorrência (TR) de 10 anos para o cenário de avaliação da sub-bacia. Sendo assim, esse TR foi apresentado no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre relativo às vazões de drenagem urbana e os momentos de vazão de pico (máxima vazão que ocorre em um ponto ou de cada

seção da sub-bacia hidrográfica). Na sequência foram analisadas as seguintes sub-bacias que envolvem os trechos destacados (Quadro 16), segundo o PDDU de Porto Alegre (2014).

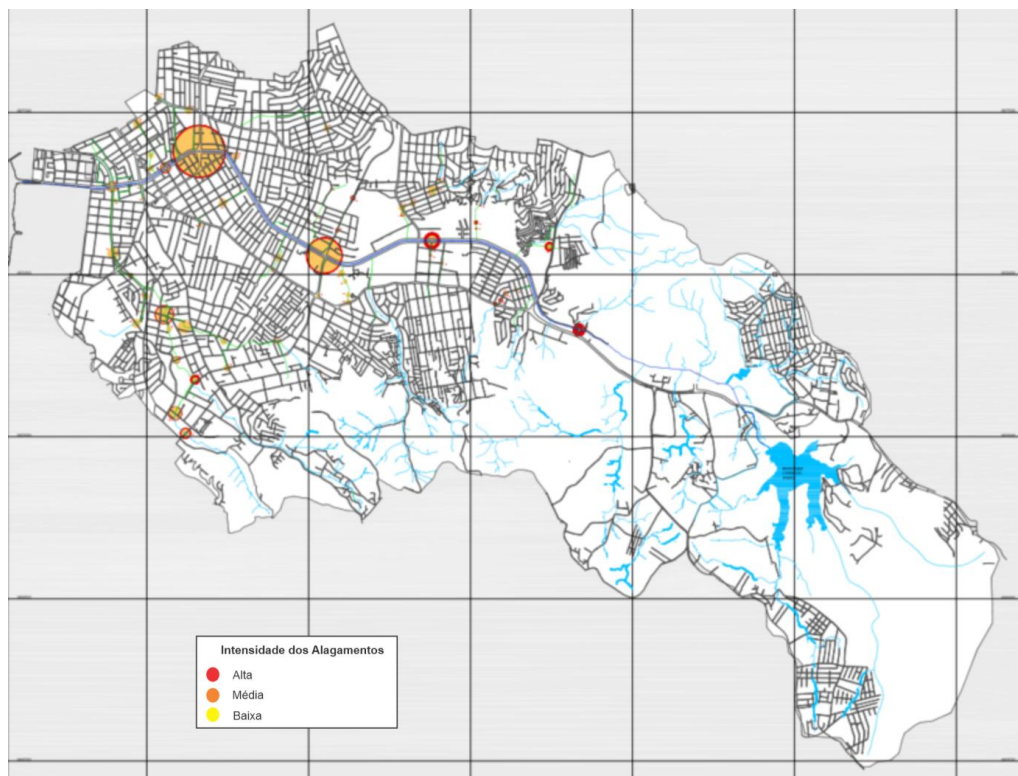
Condutos (avenidas ou arroios)	Sub-bacia (SB) drenada pelo sistema
Ramiro	SB-1
São Manoel	SB-1
CB Santa Terezinha	SB-1
Santana	SB-1
Érico Veríssimo – CB 15	SB-1
CB-14	SB-1
Azenha I	SB-2
Azenha II	SB-3
Arroio Cascatinha	SB-2
Neuza Brizola	SB-4
Lucas de Oliveira	SB-5
Portuguesa	SB-6
8 Batalhão	SB-7
Salvador Franca	SB-7
Tarso Dutra	SB-8
Dezoito de Setembro	SB-8
Chile	SB-8
Guilherme Alves	SB-8
Arroio Moinho	SB-9
Centro Esportivo PUC	SB-10
Albion	SB-11
Frei Germano	SB-11
Porto Villanova (CEEE)	SB-12
Pedro Pereira de Souza	SB-14
Pereira da Cunha	SB-15
Ântonio de Carvalho	SB-16

**Quadro 16. Condutos de macrodrenagem simulados da Bacia do Arroio Dilúvio.**

Fonte: PDDU (2014).

Para a escolha da sub-bacia foi levado em conta três critérios: (a) características de ocupação das sub-bacias; (b) influência do nível do Arroio Dilúvio para a montante na rede de macrodrenagem e; (c) propagação de mais locais de alagamentos no cenário urbano.

Assim, foram analisados os critérios de maneira integrada com os pontos de alagamentos obtidos pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana (2014), para o tempo de recorrência de 10 anos (cenário atual e futuro). Para fim prático, as manchas de inundação foram mapeadas pelo PDDU (2014), por círculos centralizados conforme Figura 60.



**Figura 60. Mapa dos pontos de alagamentos das sub-bacias do Arroio Dilúvio.**

Fonte: Adaptado de PDDU (2014).

Assim foi possível observar os resultados das bacias de macrodrenagem do Arroio Dilúvio, demonstrando que a bacia do Arroio Cascatinha (SB-2) apresentou os maiores volumes excedente ao longo da rede de drenagem. Em um segundo grupo estiveram as sub-bacias SB-1, SB-7, SB-10 e SB-11, com volumes excedentes similares variando entre 33,8 e 19,8.10<sup>3</sup>m<sup>3</sup> para os cenários apresentados pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2014).

Além disso, as bacias situadas principalmente no trecho médio do Arroio Dilúvio, apresentaram um forte gradiente no uso e ocupação do solo (por exemplo SB-10, SB-11, SB-14 e SB-16), além de um acréscimo significativo no volume de alagamentos entre os cenários de ocupação da área (atual e futuro).

Na comparação dos resultados obtidos de acordo com o PDDU-POA (2014), pode-se verificar ainda no quesito das inundações e alagamentos urbanos a SB-10 (Figura 61) apresentou mais locais de alagamentos nos cenários atuais e futuros, sendo dessa forma a sub-bacia escolhida para o estudo de caso desta pesquisa.



**Figura 61. Mapa dos pontos de alagamentos da SB-10 do Arroio Dilúvio.**  
 Fonte: Adaptado de PDDU (2014).

Os eventos históricos de inundação identificados pelo PDDU (2014) na Sub-bacia 10 informam a localização dos pontos de inundação dentro da sub-bacia escolhida. Pela breve análise da Figura 61, é possível localizar um ponto com intensidade alta de alagamentos, dois pontos com intensidade alta/média e quatro pontos com intensidade média de alagamentos.

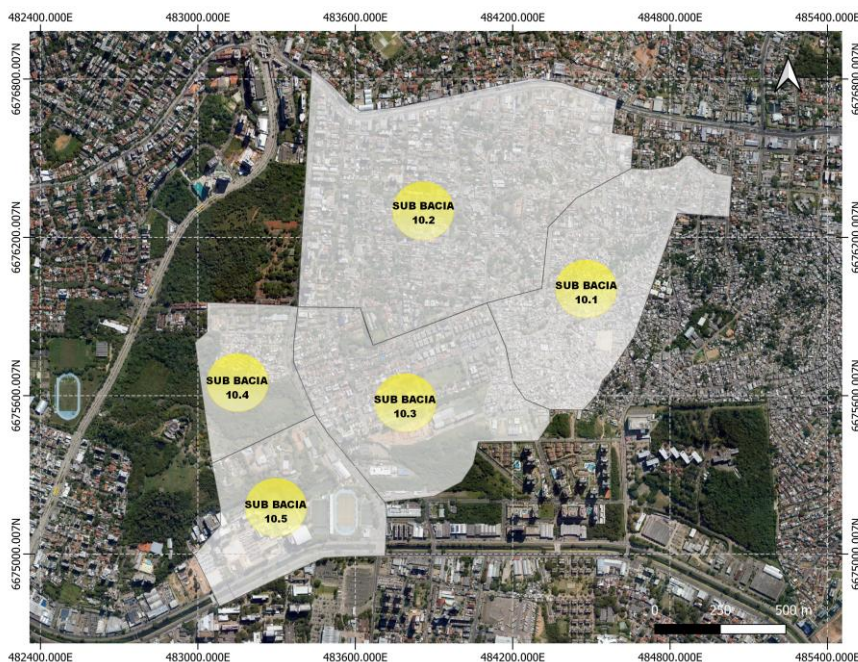
Desse modo, totalizou sete pontos suscetíveis à inundação na ocupação urbana da área de estudo com intensidade média a alta de alagamentos dentro da sub-bacia 10, além disso, nota-se o adensamento de inundação próximo ao Arroio Dilúvio com intensidade e diâmetro maior, ou seja, transbordando mais água perto do rio. Assim sendo, estas informações serão utilizadas para a análise espacial da área escolhida por meio das aplicações das técnicas para o controle dos alagamentos urbanos no contexto de Porto Alegre.

#### 6.1.1 Definindo a Análise Espacial da Sub-Bacia (SB10)

Para a condução da análise espacial deste estudo, a primeira e fundamental etapa foi definir a área em que será realizado o estudo. Dessa forma, a área de estudo de caso escolhida está localizada no município de Porto Alegre com os limites da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio e suas cinco microbacias (sub-bacia 10.1,



10.2, 10.3, 10.4 e 10.5), conforme Figura 62.



**Figura 62. SB-10 do Arroio Dilúvio com suas micro-bacias.**

Fonte: Mapa elaborado pela Autora no QGIS (2022).

Durante o processo de desenho de base da Sub-Bacia 10 e suas microbacias no *software* QGIS, foi essencial criar um campo chamado “NOME” no programa. Assim, o nome de cada microbacia estaria registrado na formação de sua área espacial. Os nomes de cada microbacia funcionam como identificadores dessas áreas de base e permitem que diferentes dados estatísticos sejam mesclados na camada de áreas de base através da propriedade de atributos no QGIS. Ainda assim, na propriedade de atributos foi geoprocessada a área remetente a cada microbacia, dessa forma, a microbacia 10.1 ficou com área de 0,42km<sup>2</sup>, a microbacia 10.2 com área de 0,885km<sup>2</sup>, a microbacia 10.3 com área de 0,47km<sup>2</sup>, a microbacia 10.4 com área de 0,195km<sup>2</sup> e a microbacia 10.5 com área de 0,317km<sup>2</sup>. Na somatória total da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio totalizou área de 2,287km<sup>2</sup> (Figura 63).

	NOME	ÁREA	Perim	AREA_KM
1	10.1	420,4	3077,9	0,42
2	10.2	884,8	4173,7	0,88
3	10.3	470,3	3031,9	0,47
4	10.4	194,8	1843,5	0,19
5	10.5	317,4	2338,2	0,31

**Figura 63. SB-10 do Arroio Dilúvio com a área das microbacias.**

Fonte: Tabela elaborada pela Autora no QGIS (2022).

## 6.2 COLEÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Para a Fase 2 (definição de métricas de comparação) desta metodologia, a Etapa 02 referente à coleção e criação de dados foram geoprocessados através de base de dados no *software* QGIS. Neste sentido, foram analisadas características da sub-bacia 10 que após o geoprocessamento fossem utilizadas como dados de entrada no programa *LID TTT*. Desse modo, para a área de estudo escolhida foram estabelecidos critérios espaciais decorrentes das métricas de (i) condicionantes de tipo de solo; (ii) de declividade e classe do relevo; (iii) características de curvas de nível do solo em suas estruturas topográficas, (iv) classificação da cobertura da terra e, (v) mapa de alagamentos e fluxos existentes da bacia escolhida. Para esta etapa foram coletados dados do Google Satélite com fontes adaptadas no *software* QGIS. A partir daqui, os conjuntos de dados coletados foram sobrepostos para posterior análise, a seguir, no Quadro 17 demonstra a lista síntese destes mapas e as contribuições para o uso no *software LID TTT*.

Dados indicadores	Dimensões / Métricas	Contribuições no <i>software LID TTT</i>	Fonte
(i) Mapa Tipo de Solo	Classificação dos solos	Para determinar a textura dos solos	IBGE (2021)
(ii) Mapa Declividade do Solo	Declividade e Classificação do Relevo	Para determinar o relevo do terreno e a variação de altitude da área	INPE (2022)
(iii) Mapa Topográfico do Terreno	Curvas de Nível do terreno	Para determinar uma visão tridimensional do relevo do terreno	INPE (2022)
(iv) Mapa de Cobertura e Uso da Terra	Classificação da cobertura da terra	Para simular a condição dos biomas da área	MapBiomias (2019)
(v) Mapa de Alagamentos e Fluxos Existentes	Classificação de alagamento da área	Para simular os pontos de alagamento e fluxos da área	QGIS e PDDU (2014)

**Quadro 17. Lista Síntese dos Mapas Geoprocessados e suas contribuições.**

Fonte: Elaboração própria autora (2022).

A partir desta definição das contribuições dos mapas elaborados no *QGIS*, os dados geoespaciais passam a assumir informações para a segunda fase da técnica de geoprocessamento no *software LID TTT*, ainda nesta Etapa.

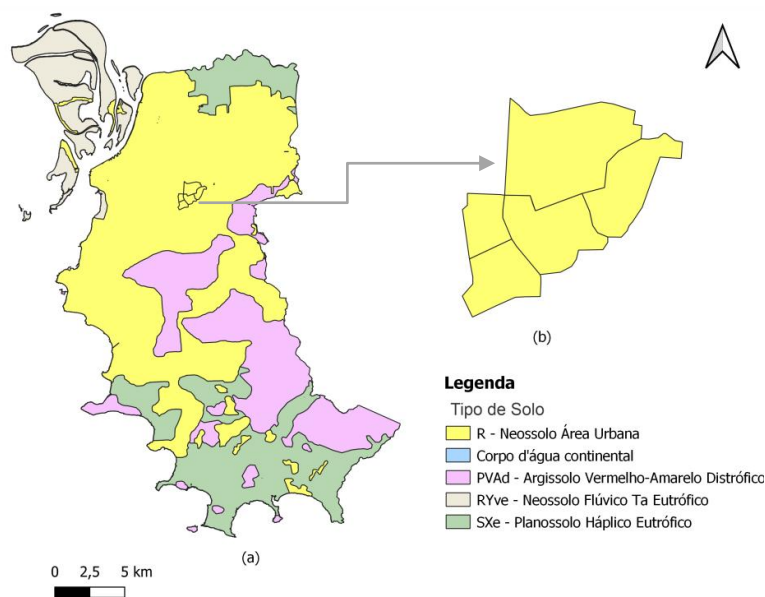
Na sequência é apresentada, de forma detalhada, a construção dos mapas desenvolvidos nesta pesquisa a partir do geoprocessamento e coleta dos dados em profundidade realizada com auxílio de fontes de autores relacionados e do plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre.

### 6.3 ANÁLISE ESPACIAL E RESULTADOS DOS MAPAS GEOPROCESSADOS

Esta etapa, referente à Etapa 03 desta metodologia, apresenta a construção detalhada e os resultados das informações obtidas dos mapas geoprocessados no contexto de Porto Alegre e da sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio. Cabe destacar que as informações aqui presentes serão utilizadas para posterior construção do projeto de pré e pós-desenvolvimento da sub-bacia no *software LID TTT*.

#### 6.3.1 Mapa Tipo de Solo

Nesta dissertação, em um primeiro momento, para a avaliação dos fatores da sub-bacia 10 foram elaborados os dados de tipos do solo (Figura 64), uma vez que a textura do solo é significativamente influente para a infiltração e escoamento de água pluvial. A organização do banco de dados geográficos foi elaborada sob a cidade de Porto Alegre com base nos dados do IBGE (2021), dessa forma na comparação da área escolhida para o estudo, a sub-bacia 10 foi localizada dentro do perímetro na área urbana do município.



**Figura 64. Mapa de Solo. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio.**

Fonte: Mapa elaborado pela Autora no QGIS (2022).

Inicialmente na análise do mapa, demonstrando (a) o distrito de Porto Alegre segundo dados do IBGE (2021), o município foi composto de quatro classes de texturas de solo, entre elas se destacam o solo Neossolo de área Urbana, o

Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, o Neossolo Flúvico Eutrófico e o Planossolo Háptico Eutrófico. Na análise da (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio, o tipo de solo localizado foi a Neossolo de Área Urbana. Desse modo, a textura do solo (Quadro 18) foi classificada pela composição textural, taxa de infiltração e escoamento pluvial no solo de acordo com o autor Lima (2007).

Cód.	Textura de Solo Encontrada	Descrição do Solo	Significado Ambiental e Urbano
R e RYve	Neossolo  e Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	Solos em estágio inicial de evolução. A maioria dos Neossolos possuem pouca espessura, porém alguns são mais espessos. Especialmente aqueles com elevados teores de areia (Neossolos Quartzarênicos) ou situados nas margens dos rios (Neossolos Flúvicos).	Considerando áreas extremamente frágeis, deveriam ser evitados para ocupação urbana para não intensificar processos erosivos ou deslizamentos. Deveriam ser utilizados para preservação da flora e fauna, embora seja comum seu uso com pastagens e reflorestamentos urbanos.
PVAd	Argissolo Vermelho/Amarelo Distrófico	Solo com acumulação de argila. As cores são muito variáveis, podem ser amarelos, cinzentos, vermelhos e vermelhos amarelados.	Apresentam reduzida capacidade de reter nutrientes para as plantas, e maior risco de erosão. São solos susceptíveis à erosão, principalmente em relevos mais declivosos.
SXe	Planossolo Háptico Eutrófico	Solos com acúmulo de argila que geralmente tem cores acinzentadas.	São extremamente duros quando secos e de baixa permeabilidade.

**Quadro 18. Tipos de Solo para Porto Alegre e Sub-Bacia 10.**

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

De acordo com a análise de textura do solo para a sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio, onde posteriormente serão implantadas as técnicas LID para controle de alagamentos urbanos, o solo foi caracterizado como Neossolo Flúvico com elevados teores de areia devido à situação do local ser próximo às margens de rios. Para outras sub-bacias do Arroio Dilúvio podem ser utilizadas o mesmo tipo de análise de textura de solo, porém devido a restrições de tempo e escopo deste estudo, mais pesquisas são necessárias para determinar a textura de solo das demais sub-bacias do Arroio. Em adição, as cores utilizadas para este mapa foram de acordo com as especificações do Manual de Pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

Além da permeabilidade do solo deve-se levar em conta a capacidade de infiltração da água em cada tipo de solo bem como a respectiva taxa de infiltração. Para esta pesquisa foram utilizados valores tabelados que apresentam os valores da taxa de infiltração para cada tipo de solo de conformidade com a NBR 7229/93 e o autor Canholi (2005). Cada grupo representa um determinado tipo de solo levando em consideração fatores como granulometria do solo, nível do lençol freático e permeabilidade (Quadro 19).

Grupo	Descrição aprovável dos solos	Coefficiente de Infiltração (L/m <sup>2</sup> por dia)	Absorção Relativa de Infiltração
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada.	Menor que 20	Impermeável
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas	20 a 40	Semi-impermeável
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areias argilosas ou siltes argilosos de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60	Vagarosa
4	Areia ou silte pouco argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 a 90	Média
5	Areia bem selecionada e limpa variando a areia grossa com cascalhos.	Maior que 90	Rápida

**Quadro 19. Capacidade de Infiltração para cada um dos grupos hidrológicos.**

Fonte: Adaptado de ABNT – NBR7229/93 e CANHOLI (2005).

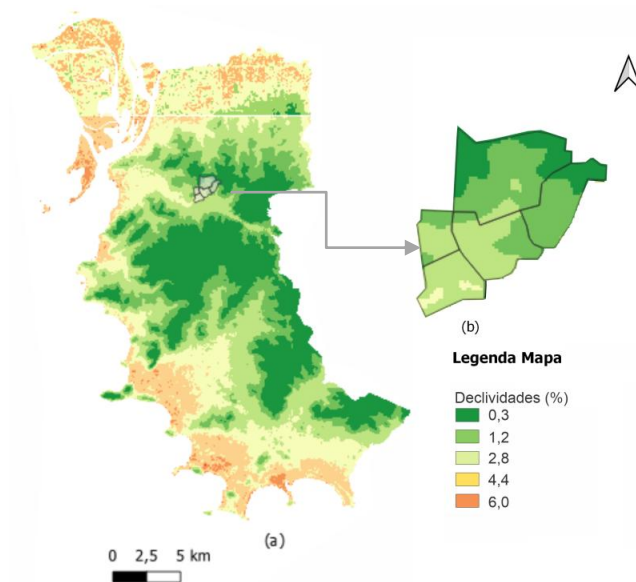
Observa-se pelos dados acima apresentados que a capacidade de infiltração do solo, ou seja, sua permeabilidade está diretamente vinculada às características geológicas de formação do solo (granulometria da partícula constituinte do solo) bem como à morfologia da área (nível e espessura da camada de solo). Portanto torna-se imprescindível levar tais parâmetros em consideração quando da análise dos alagamentos em áreas urbanas, pois, nos locais em que o solo não se encontra impermeabilizado, pode apresentar grandes variações de permeabilidade. Dentre os 5 grupos de variação de solo e pela análise do mapa pedológico da área da sub-bacia 10, o tipo de solo Neossolo, foi correlacionado a Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio com o Grupo 4 da tabela.

Dessa forma, a absorção relativa de infiltração junto à faixa de solo do Grupo 4 será adotada para dimensionamento de tipo de solo que será utilizado no *software LID TTT*, de acordo com as necessidades e a profundidade do estudo de caso. É importante ressaltar que além do tipo de solo apresentado, devem-se levar em consideração os fatores topográficos, urbanos e de uso e ocupação do solo da sub-bacia 10 onde será implementada a proposta de controle para alagamentos urbanos que serão apresentados na sequência desta pesquisa.

### 6.3.2 Mapa Declividade do Solo

Nesta etapa compreende o uso de imagens de Modelos Digitais de Elevação (MDE) através de dados altimétricos da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), obtidas do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), disponíveis no site do TOPODATA<sup>17</sup>. Essa imagem apresenta uma resolução espacial com *pixel* de 30x30 metros, ou seja, um *pixel* que cobre uma área de 900m<sup>2</sup>, aproximado. Em seguida, a imagem foi reprojeta para o hemisfério sul com o Datum SIRGAS 2000 e Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) Planas (UTM) no Fuso 22 Sul, compatíveis com o arquivo *Shapefile* da camada delimitadora do município de Porto Alegre. Em seguida, foi feito o recorte da área da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio e todo o processamento digital da imagem no *software* livre QGIS 3.16.9.

A obtenção das imagens e seu processo de composição no *software* para projeção das categorias do relevo e de hipsometria do município de Porto Alegre e consequentemente da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio para assim demonstrar topograficamente a área de estudo escolhida (Figura 65).



**Figura 65. Mapa de Declividade do Solo. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio.**

Fonte: Mapa elaborado pela Autora no QGIS (2022).

<sup>17</sup> Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/> Acesso em: 05 nov. 2022.

Conforme o mapa (a) do município de Porto Alegre é possível observar que a declividade do solo está variando de 0,3% nas cores do verde e 1,2% do verde claro conforme aplicação de uma hipsometria de falsa-cor para destacar os valores compreendidos no município. Além disso, é possível analisar o mapa (b) da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio em que a declividade encontrada somente se refere à inclinação do terreno, visto que boa parcela da área possui declividade menor que 6% para o município de Porto Alegre.

A partir da manipulação dos dados no *software* livre *QGIS*, observou-se que a área da sub-bacia 10 de acordo com as classes do relevo é predominantemente plana a suave ondulado. Ainda, segundo a Embrapa (1979) o relevo plano possui declividade de 0 a 3% e o relevo suave ondulado de 3 a 8% de declividade do solo. O cálculo da declividade das curvas de nível e classificação do relevo foi de suma importância para compreender a trajetória natural do solo em termos de escoamento pluvial e não comprometer as características do terreno para a proposição do método de melhorias no controle dos alagamentos urbanos da área de estudo. A metodologia deste mapa seguiu critérios da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), conforme ilustra o Quadro 20.

Classe de Declividades do Solo	Limites Percentuais (%)
Plano	0 - 3
Suave Ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	>75

**Quadro 20. Classificação do Relevo em função das declividades do solo.**

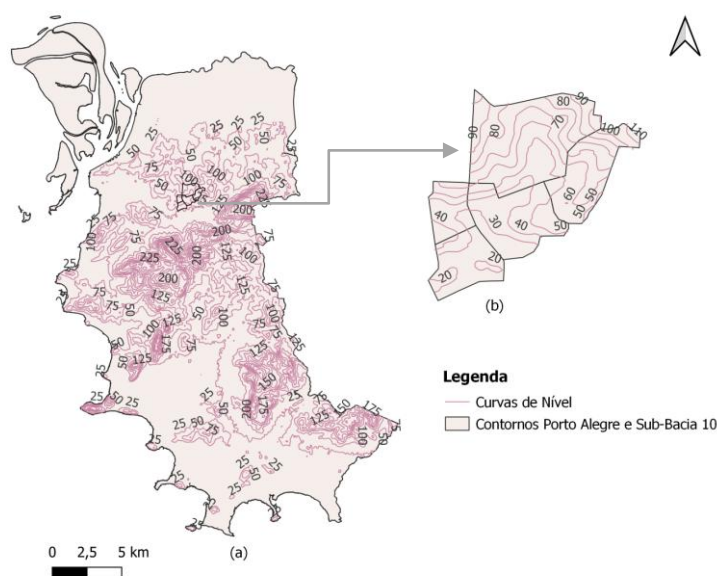
Fonte: EMBRAPA, 1979.

Além disso, a declividade do solo é de suma importância tanto para a influência direta no fluxo natural da água como para a inserção de técnicas LID no meio urbano, conseqüentemente, no processo erosivo, sombreamento, energia solar, refletância da superfície, temperatura, entre outras variáveis (Minella; Merten, 2012). É importante destacar que além da declividade do solo apresentada e para uma melhor definição da área de estudo, devem-se levar em consideração o mapa topográfico e de relevo de toda a sub-bacia escolhida, que serão apresentados na seqüência desta pesquisa.

### 6.3.3 Mapa Topográfico do Terreno

A interpretação e a representação do relevo são de extrema importância em vários projetos de área urbana e ambiental. O método de curvas de nível consiste em reproduzir os pontos que apresentam a mesma cota e/ou altitude em relação ao plano de referência. Estes pontos são ligados por linhas fechadas que os unem como resultado da intersecção de planos horizontais equidistantes no terreno (Comastri; Tuler, 1999).

Para esta etapa utilizou o uso de imagens de Modelos Digitais de Elevação (MDE) através de dados altimétricos da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), obtidas do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), disponíveis no site do TOPODATA. Para a elaboração do mapa de curvas de nível foi utilizada as mesmas instruções para a obtenção de imagens da projeção da altimetria e relevo, categorizando também as curvas de nível do estudo de caso (Figura 66).



**Figura 66. Mapa de Curvas de Nível. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio.**

Fonte: Mapa elaborado pela Autora no QGIS (2022).

Conforme o mapa (a) do município de Porto Alegre é possível observar que as curvas de nível do terreno estão variando entre pontos igualmente espaçados entre si (isolinhas), sendo eles de 25, 50, 100, 125, 150, 175, 200 e 225m para destacar a topografia do município. É importante salientar que as curvas de nível são equidistantes e representam altitudes específicas. Nas curvas de nível mais



próximas representam acidentes geográficos mais bruscos, como um penhasco; as curvas de nível mais distantes representam variações graduais e leves altitudes, como uma encosta pouco acentuada de uma colina (Cezar, 2011).

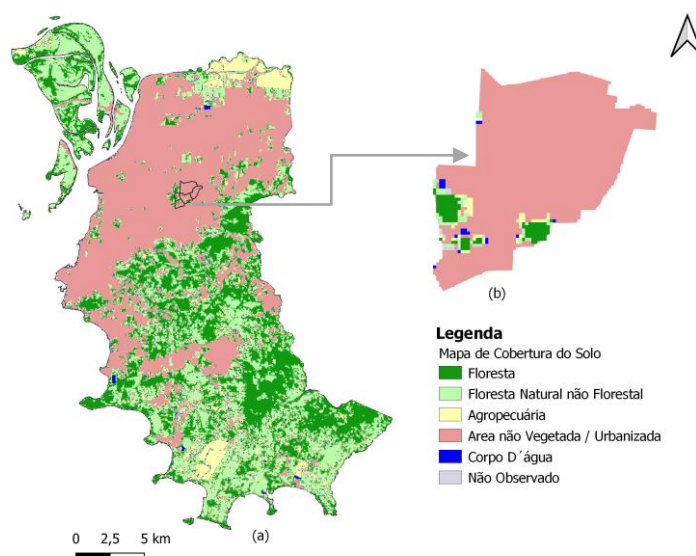
Além disso, com relação às curvas de nível é possível analisar o mapa (b) da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio em que o nivelamento encontrado respectivamente com altitude menor, pouco acentuado e com leves altitudes, diferencia-se da altitude de toda a zona perimetral do município de Porto Alegre. Pode-se ainda afirmar que o caimento topográfico da área analisada se encontra sentido sul, pois a parte norte encontra-se com altitudes mais altas, conseqüentemente demonstrando a inclinação do terreno sentido à bacia do Arroio Dilúvio. Além da inclinação da área de estudo e o perfil topográfico do terreno, outro ponto a ser analisado consiste na área de cobertura e uso do solo urbanizado. A partir desse mapa consegue obter informações adicionais que podem auxiliar na proposta de cenários que serão elaboradas no programa *LID TTT*.

#### 6.3.4 Mapa de Cobertura e Uso da Terra

O Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo no Brasil através do MapBiomias<sup>18</sup> trata-se de um projeto com iniciativa de apresentar dados sobre a cobertura do solo no Brasil dividida através de classes: Floresta, Floresta Natural Não Florestal, Agropecuária, Área não vegetada, Corpo d'água e não observado. A área analisada da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio, demonstra os resultados por meio das informações da plataforma MapBiomias do ano de 2021 no *software QGIS*, onde foi possível extrair dados de uso e ocupação do solo de Porto Alegre e assim, da região de interesse da área da sub-bacia 10 (Figura 67).

---

<sup>18</sup> De acordo com o MapBiomias (2019), o projeto MapBiomias é uma iniciativa do Observatório do Clima, criada e desenvolvida por uma rede multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil e monitorar as mudanças do território. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>> Acesso em: 24 nov. 2022.



**Figura 67. Mapa de Cobertura do Solo. (a) Área município de Porto Alegre; (b) Sub-Bacia 10 do Arroio Dilúvio.**

Fonte: Mapa elaborado pela Autora no QGIS/plugin MapBiomias (2022).

As sobreposições espaciais das classes foram consideradas a partir de toda a área de Porto Alegre e conseqüentemente da sub-bacia 10, assim foi elaborada uma análise comparativa por *pixel* de tamanho 30x30 metros, usando uma abordagem booleana<sup>19</sup>. Dessa forma, os *pixels* foram classificados de acordo com sua classe considerando suas concordantes.

Além disso, com os dados geoprocessados da área escolhida pelo MapBiomias, extraiu-se através do plugin no QGIS chamado *LecoS – Landscape Ecology Statistics*, métricas de paisagem ecológica da sub-bacia. Desta forma, foi possível analisar as classes encontradas: Floresta, Formação Natural Não Florestal, Agropecuária, Área não Vegetada / Urbanizada, Corpo d'água e Não observado, conforme Figura 68. Em adição, as definições de classes utilizadas para este mapa foram de acordo com as especificações da coleção 7.0 do MapBiomias (2019)<sup>20</sup>, que evidenciam a análise de cobertura de solo e descrevem brevemente cada categoria.

<sup>19</sup> De acordo com os autores Câmara, Davis e Monteiro (2001) em Introdução à Ciência da Geoinformação, o método booleano gera dados em formato temática sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4108352/mod\\_resource/content/1/CAMARA%20Introducao%20Ciencia%20Geoinformacao.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4108352/mod_resource/content/1/CAMARA%20Introducao%20Ciencia%20Geoinformacao.pdf)> Acesso em: 25 nov. 2022.

<sup>20</sup> Disponível em: < <https://mapbiomas.org/codigos-de-legenda>> Acesso em 20 nov 2022.

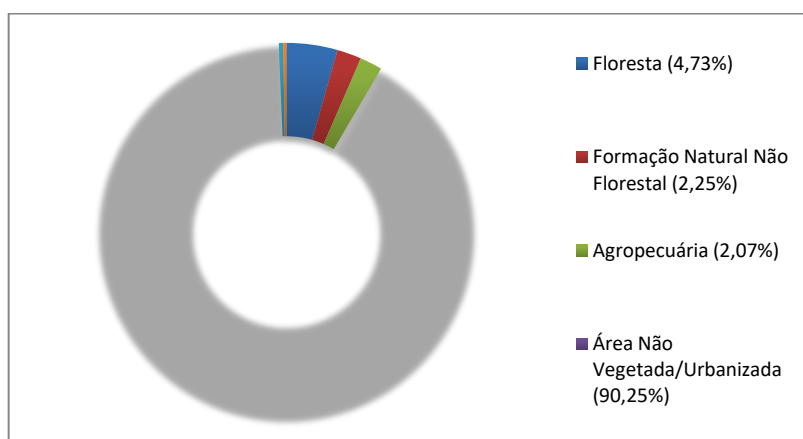
Classe	ND	Área da Classe (m2)	Área da classe (Km2)	Landscape Proportion	Área da Classe (%)
Floresta	1	107408	0,107408	0,026427469	4,73
Formação Natural Não Florestal	2	48608	0,048608	0,011959876	2,25
Agropecuária	3	43904	0,043904	0,010802469	2,07
Área não Vegetada	4	2025072	2,025072	0,498263888	90,25
Corpo d'água	5	22736	0,022736	0,005594136	0,4
Não Observado	6	13328	0,013328	0,003279321	0,3

**Figura 68. Estatísticas de Cobertura do Solo na sub-bacia 10.**

Fonte: Mapa elaborado pela Autora no QGIS/plugin LecoS (2022).

A partir da análise estatística, são demonstrados os parâmetros da 'ND' referente ao número de identificação das classes de 1 a 6. As colunas referentes à área de classe possuem os dados relativos à cobertura da terra em metros quadrados (m<sup>2</sup>) e quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>), lembrando que cada *pixel* processado possui a medida de 30x30m e *pixels* como, por exemplo, 10x10m ou menores não são geoprocessados na camada de uso e cobertura da terra pelo programa. Além disso, a coluna de *landscape proportion* busca relacionar a quantidade de *pixels* de cada classe encontrada no mapa. Por fim, a última coluna relaciona as classes do mapa com sua respectiva porcentagem estatísticas (%) totalizando na somatória das classes com 100%.

Considerando o geoprocessamento do MapBiomias observou-se que ao longo do ano de 2021, a classe de uso do solo predominante para a sub-bacia do Arroio Dilúvio foi a classe de área não vegetada/urbanizada, em que se encontra a maior concentração de urbanização consolidada da área de estudo com 90,25%. Além disso, foi possível observar que as classes de Floresta 4,73% e a classe de Formação Natural não Florestal 2,25% não obtiveram uma boa porcentagem com relação à urbanização já consolidada da área ficando apenas com um total de 6,98% (Figura 69).



**Figura 69. Estatísticas Métricas da Paisagem na sub-bacia 10.**

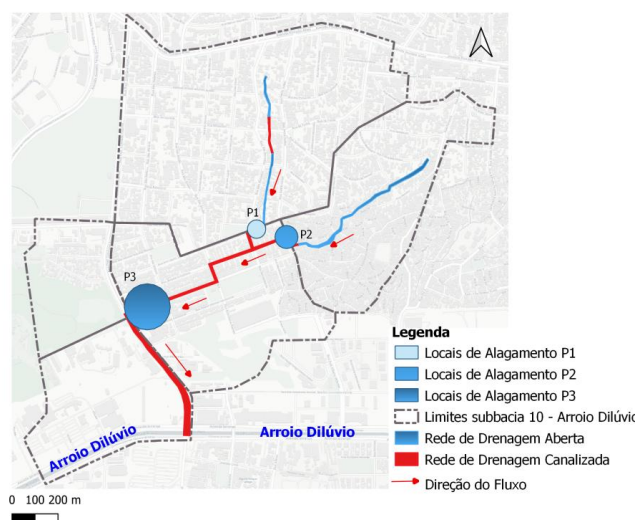
Fonte: Estatísticas elaborada pela Autora no QGIS/plugin LecoS (2022).

Além disso, a classe de Agropecuária teve pouco desenvolvimento dentro do estudo de caso, por ter menos de 2,07% de área rural na sub-bacia 10. Apesar da classe de Corpo d'água ficar com apenas 0,4% da área dentro da sub-bacia 10, foi possível observar este comportamento devido às canalizações e tamponamentos dos arroios existentes dentro da área urbanizada em que o programa MapBiomass não consegue visualizar. Além disso, esses canais subterrâneos muitas vezes além de prejudicar os canais e arroios do local, exterminam a vegetação dos cursos d'água, os peixes e pássaros da região. Por fim, a classe não observada com 0,3% do geoprocessamento de dados segundo o IBGE (1999) refere-se a áreas bloqueadas por nuvens ou ruídos atmosféricos, e com ausência de observação.

Em síntese, esses dados serão utilizados para padronizar parâmetros de configuração do pré e pós-desenvolvimento de cenários da sub-bacia 10 dentro do programa *LID TTT*. Além dessas informações, é importante para o desenvolvimento do produto final, vincular esses dados com os alagamentos e fluxos existentes da área de estudo, dessa forma, esse delineamento é apresentado de forma mais detalhada na sequência desta pesquisa.

### 6.3.5 Mapa Alagamentos e Fluxos Existentes



Por meio da modelagem hidrológica e de acordo com o PDDU POA (2014) foram avaliados os pontos de alagamentos da sub-bacia 10, o que resultou na representação de três locais de alagamentos dentro do limite da sub-bacia escolhida (Figura 70). Assim, o volume de água acumulado em superfície, superior a capacidade de escoamento pela rede de drenagem existente, constata a suscetibilidade a riscos de alagamentos em diferentes setores da bacia.







**Figura 70. Locais de alagamentos na sub-bacia 10.**

Fonte: Dados retirados do PDDU POA (2014).  
Mapa elaborado pela Autora no QGIS (2022).

Os dados da legenda comparados à superfície do mapa mostram a tendência de acumulação dos fluxos existentes nos pontos de alagamentos coincidentes e próximos. Além disso, segundo os dados retirados do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2014) os três locais de alagamentos identificados no diagnóstico da área possuem volumes de escoamento dentro de áreas urbanas consolidadas (Quadro 21):

Pontos de Alagamento	Figura / Diagrama da Área	Características
P1	 <p>Vista Lateral P1</p>  <p>Vista Lateral P1</p>	<p>Pontos de alagamento na macrodrenagem da sub-bacia 10.</p> <p>Cruzamento Rua Abílio Azambuja e Rua São Benedito no Bairro Bom Jesus.</p>
		<p>Volume excedente da área: 2.144,00m<sup>3</sup></p>

<p>P2</p>	 <p>Vista Lateral P2</p>  <p>Vista Aérea P2</p>	<p>Pontos de alagamento na macrodrenagem da sub-bacia 10.</p> <p>Cruzamento Rua Santa Isabel e Rua Ângelo Crivelaro no Bairro Bom Jesus.</p>
<p>P3</p>	 <p>Vista Lateral P3</p>  <p>Vista aérea P3</p>	<p>Pontos de alagamento na macrodrenagem da sub-bacia 10.</p> <p>Cruzamento Rua Santa Helena com Avenida Cristiano Fischer no Bairro Bom Jesus.</p>

**Quadro 21. Diagrama da área de alagamentos na sub-bacia 10.**

Fonte: Dados retirados do Google Street View (2019).

Ademais, vale mencionar que os pontos identificados pelo PDDU POA (2014) apresentam problemas recorrentes de alagamentos, sendo noticiados pela imprensa local, assim, foi possível constatar que os dados obtidos pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre são coincidentes com o mapeamento de fluxo acumulado da sub-bacia 10 o que contribui para a aplicação da modelagem hídrica com técnicas LID nas áreas identificadas suscetíveis aos alagamentos urbanos. Essas aplicações de modelagem com técnicas sustentáveis através do *software LID TTT* são apresentadas de forma detalhada na sequência.

## 6.4 MODELAGEM HÍDRICA SOFTWARE LID TTT

Estudos desenvolvidos pelo *Department of Environmental Resources* (Prince George's Country, 1999), mostram que estratégias de desenvolvimento de baixo impacto (*Low Impact Development - LID*) seguem metas para alcançar um maior equilíbrio e funções hidrológicas do local, providenciando o conforto estético para os moradores, além do emprego de gestão e controle de águas pluviais urbanas.

As técnicas LID procuram imitar as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento local, através de técnicas de projeto para armazenar, infiltrar, evaporar e diminuir o escoamento superficial (Ferguson, 1991-92). Incorporar os conceitos de LID ao processo de planejamento das cidades, inclui considerar a hidrologia do local, além da minimização de superfícies impermeáveis, o aumento de fluxos vegetados e a implementação de dispositivos de controle de escoamento pluvial e de microgestão. Em suma, esse processo para projetos com técnicas LIDs segundo *Prince George's County* (1999), auxiliam em um melhor planejamento e resultados dos cenários sustentáveis para as cidades, o que serão apresentados de forma mais detalhada na sequência.

### 6.4.1 O modelo LID TTT

O modelo *LID TTT* (*Low Impact Development Treatment Train Tool*) como o próprio nome diz é um instrumento que auxilia na avaliação de desenvolvimento de baixo impacto utilizando uma sequência diferente de técnicas sustentáveis (<https://sustainabletechnologies.ca>). Este programa foi desenvolvido no Canadá pela Autoridade de Conservação da Região do Lago Simcoe (LSRCA), pela Autoridade de Conservação do Vale do Crédito (CVC) e pela Autoridade de Conservação de Toronto e Região (TRCA). A ferramenta foi desenvolvida com a intenção de auxílio a empreendedores, consultores, municípios e proprietários de terras a compreender e implementar práticas mais sustentáveis de planejamento e projetos de manejo de águas pluviais em suas bacias hidrográficas. Além disso, o programa *LID TTT* analisa volumes de escoamento anual ou de eventos, como também a remoção de cargas poluentes por meio do uso de "Best Management Practices" (BMP) e técnicas de desenvolvimento de baixo Impacto (LID), fornecendo análises preliminares de balanço hídrico e estimativas de remoção de cargas poluentes para cenários pré e pós-desenvolvimento. Em adição, a ferramenta foi construída com

base no modelo *EPA SWMM5* de código aberto, fornecendo uma interface amigável para modeladores iniciantes e compatibilidade cruzada com o *SWMM5* para um desenvolvimento adicional do modelo.

#### 6.4.2 Cenários e dados de entrada

O cenário projetado para testar a capacidade das técnicas de baixo impacto (LID) nesta pesquisa foram configuradas para avaliar o desempenho das estratégias sustentáveis no controle dos alagamentos urbanos na sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio. Essa abordagem foi adotada por estudos anteriores em países como Canadá (Roy *et al.*, 2008), Coréia do Sul (Lee *et al.* 2012), Estados Unidos (Tirpak *et al.*, 2021; Ahiablame *et al.*, 2016), Etiópia (Jemberie; Melesse, 2021), Cingapura (Vijayaraghavan *et al.*, 2012; Chua *et al.*, 2012), China (Chen *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2019), Nova Zelândia (Trowsdale; Simcock, 2011), Suécia (Berndtsson, 2010) e Turquia (Samouei; Özger, 2021), embora seja provável que independente dos locais de origem, futuros aumentos na intensidade das chuvas variem por região e período de retorno dos eventos pluviométricos.

O modelo *LID TTT* da rede de drenagem foi adaptado do estudo de Marostica *et. al* (2022). A bacia de estudo desta pesquisa é composta por cinco microbacias, com inclinação média de 3 a 8% conforme o mapa elaborado de hipsometria. Ainda, observações de precipitação adotadas de acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDU), demonstram que um evento de pluviosidade de precipitações totais deve estar relacionado a períodos de 24 horas. Ainda em conformidade com o PDDU (2014), as precipitações foram determinadas com período de retorno de 10 anos, isto é, o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado por pelo menos uma vez.

Para a Etapa 4 desta metodologia, buscou definir padrões de técnicas LID para o estudo de caso da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio, sendo adotado quatro perfis com 15mm, 25mm, 50mm e 100mm com precipitações pluviométricas no período de 24 horas/dia. Estas precipitações de 24 horas são desagregadas em intervalos menores segundo a distribuição SCS Tipo II oferecida pelo modelo subjacente (*SWMM5*) que soluciona a parte hidráulica numericamente utilizando intervalos de tempo sub-horários definidos automaticamente. Embora a chuva de 100mm em 24h tenha período de retorno aproximado de 10 anos em Porto Alegre, ela pode ser considerada muito forte, sendo as de 15, 25, 50 mm/24h classificadas



como chuvas fraca, moderada e forte, conforme Quadro 22.

Precipitações Pluviais (mm/horas)	15mm/24hrs	25mm/24hrs	50mm/24hrs	100mm/24hrs
Parâmetros de Chuva	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
Características	Precipitação uniforme, gotículas muito numerosas.	As gotas isoladas são dificilmente observáveis. Formação relativamente rápida de poças d'água.	A chuva parece cair em lençóis, não sendo possível identificar gotas isoladas. Observa-se formação rápida de poças d'água.	Chuvas mais severas, geralmente sob a forma de aguaceiros. A visibilidade é prejudicada.

**Quadro 22. Precipitações pluviais para os cenários na sub-bacia 10.**

Fonte: Adaptado de REICHARDT (1986) e PDDU POA (2014).

As precipitações pluviais que serão usadas nos cenários de pré e pós-desenvolvimento da sub-bacia 10 foram propostas com o intuito de avaliar o desempenho das técnicas LID aplicadas com sua vazão máxima de saída igual ou menor que a vazão máxima do seu cenário de pré-desenvolvimento.

Outro dado importante a ser acrescido com relação às condições do manual do *software LID TTT* diz respeito a informações sobre a proporção de área impermeável efetiva para área permeável (relação 'I/P') das técnicas LIDs. Assim, este dado fornece orientação sobre a área de drenagem máxima para um recurso LID, se a área de drenagem for maior que o limite permitido, o recurso está subdimensionado conseguindo atingir a meta de alcance. A relação I/P considera as intensidades de chuva, desvios e as áreas urbanas já consolidadas, assim, a proporção típica de área de drenagem impermeável para área de instalação de tratamento para cada técnica LID é apresentado no Quadro 23.

Prática de gestão de Águas Pluviais LID	Razão (I/P) Impermeável para Permeável	% MÍNIMA utilizada no cenário de pós-desenvolvimento
Biorretenção	15:1	1500% - 1500m <sup>3</sup>
Telhados Verdes	1:1	100% - 100m <sup>3</sup>
Pavimento Permeável	1.2:1	120% - 120m <sup>3</sup>
Jardins de Chuva	20:1	2000% - 2000m <sup>3</sup>
Filtro de Grama Aprimorada	10:1	1000% - 1000m <sup>3</sup>

**Quadro 23. Proporção eficaz de impermeável para permeável.**

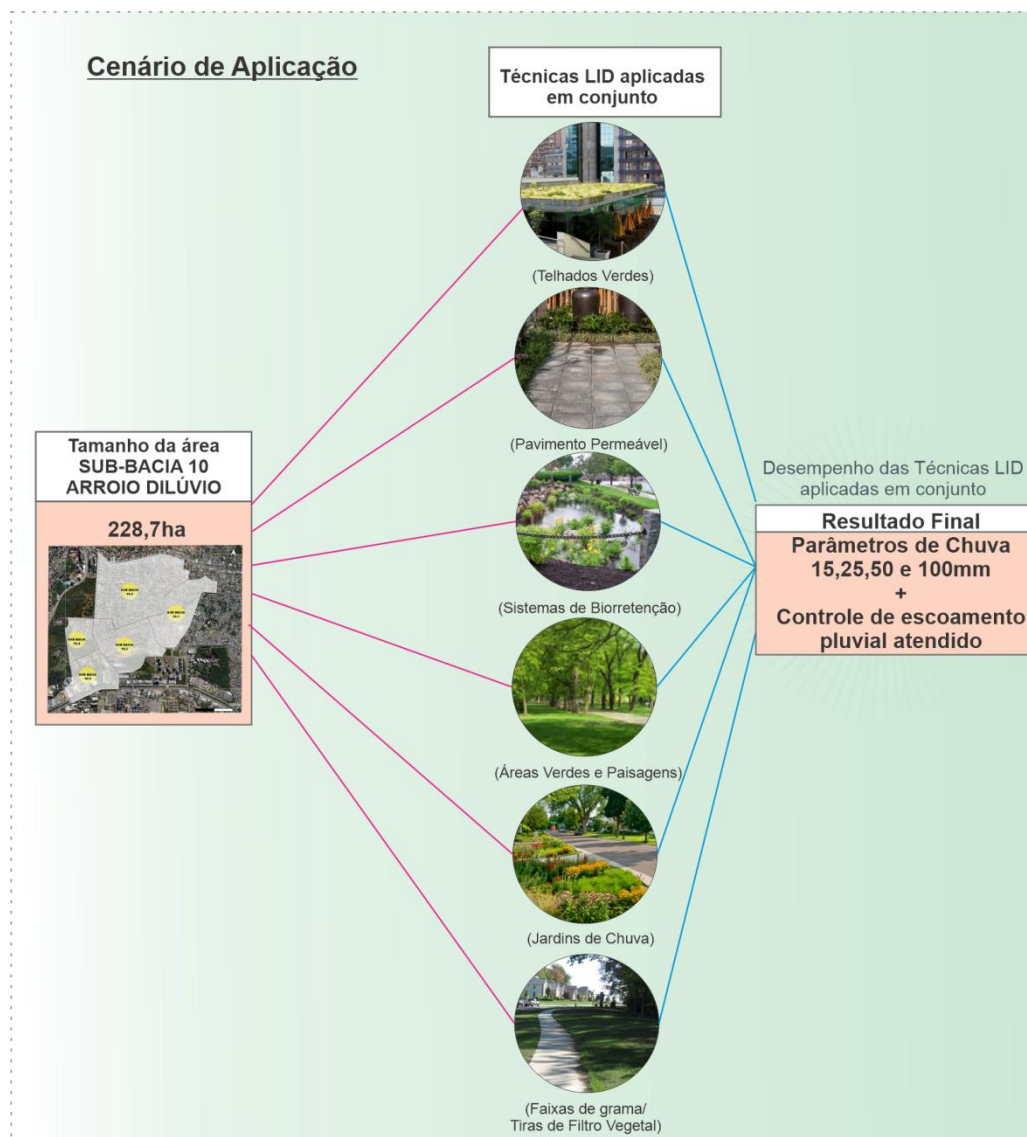
Fonte: Retirado Manual *Software LID TTT* – Low Impact Development Center (2020).

No *LID TTT*, essa relação é calculada considerando a área impermeável efetiva, (a área impermeável mais a área permeável que resulta em escoamento superficial). As áreas permeáveis podem ser uma fonte significativa de escoamento para o(s) LID(s) em condições quando os solos estão saturados, durante uma

tempestade de alta intensidade, se os solos tiverem baixa permeabilidade ou quando as áreas permeáveis constituem uma porção significativa da drenagem para o LID.

Outra informação pertinente diz respeito à razão mínima em termos de  $m^3$  das técnicas utilizadas no programa, por exemplo, caso for usado a técnica de sistemas de biorretenção na razão I/P de 15:1, é necessário uma área mínima de  $1500m^3$  desta técnica no cenário projetado para que reduza significativamente a área projetada em termos de escoamento superficial. Uma vez que diferentes tempestades de projeto podem resultar em mais ou menos área produzindo escoamento, recomenda-se que a proporção de área impermeável para permeável seja calculada para o cenário desejado ou alterar os parâmetros de milimetragem de tempestade para verificar se ela atende aos critérios listados (Low Impact Development Center, 2020).

Deste modo, a Figura 71 apresenta de forma simplificada a criação do cenário em que foram aplicados – pré e pós-desenvolvimento – para avaliar o desempenho das técnicas de baixo impacto LID através de um modelo de consistência hídrica da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio. Este cenário buscou através do desempenho de todas as técnicas LID geoprocessadas reunidas uma atuação eficiente para a sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio, em parâmetros de chuvas de 15, 25, 50 e 100mm. Dentre as técnicas aplicadas estão: Telhados Verdes, Pavimento Permeável, Sistemas de Biorretenção, Áreas Verdes e Paisagens, Jardins de Chuva e Faixas de Grama/Tiras de Filtro Vegetal. Assim, busca-se o desempenho de todas estas técnicas reunidas em um único cenário para o estudo de caso escolhido desta dissertação.



**Figura 71. Modelo de consistência das Técnicas LID.**

Fonte: Compilação elaborada pela Autora (2023)<sup>21</sup>.

Frente ao modelo simplificado do teste de consistência das Técnicas LID, é apresentada na sequência desta pesquisa, as análises métricas que serão utilizadas para a criação do cenário da sub-bacia 10, foco desta análise.

#### 6.4.3 Análise de Métricas para os cenários LID

Na Etapa 05 desta metodologia, buscou-se a análise das métricas nos níveis urbanísticos, ambientais e hidrológicos. Além disso, a discussão acerca do entendimento das métricas é tratada de acordo com o manual do *software LID TTT* nesta pesquisa. Como foi analisado em etapa anterior no *software QGIS*, os dados

<sup>21</sup> Compilação da Autora (2022) a partir de imagens coletadas nos sites do Archdaily (2022), CimentPav (2011), Landscape Professionals (2022), FiltreXX (2022) e Aquaflexus (2012).

classificatórios do geoprocessamento para a concepção das condições dos cenários que serão elaborados com as técnicas LID, é necessário à avaliação dos aspectos urbanísticos, ambientais e hidrológicos (conforme Quadro 24), sendo que os itens apresentados desta tabela serão utilizados como valores atribuídos nos cenários de pré e pós-desenvolvimento no programa *LID TTT*.

Dados indicadores	Aspectos	Métricas	Unidade de Comparação
Cenário de Pré e Pós Desenvolvimento da sub-bacia do Arroio Dilúvio	(a) Urbanísticos	Área urbana consolidada (área não vegetada)	90,25%
		Floresta	4,73%
		Formação Natural não florestal	2,25%
		Agropecuária	2,07%
		Corpo d'Água	0,4%
	(b) Ambientais	Cobertura Vegetal	m <sup>2</sup> (%)
		Tipo de solo	Neossolo (m2)
		Declividade do Solo	Suave – Ondulado (3-8%)
		Curvas de Nível do terreno	(%)
	(c) Hidrológicos	Parâmetros de Chuvas (15mm/25mm/50mm/100mm)	mm
		Controle de Redução de Escoamento	m <sup>3</sup>
		Controle de volume de escoamento esperado	m <sup>3</sup>
		Redução de Volume de Escoamento fornecido	m <sup>3</sup>
		Volume de escoamento não tratado	m <sup>3</sup>
		Pico de Fluxo de Escoamento (saída)	m <sup>3</sup> /s
Balanço de água (Redução Escoamento Pluvial)		mm/%	
Controle de Volume de escoamento foi atendido		Sim/Não	

**Quadro 24. Métricas para comparação hídrica dos cenários.**

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Partindo da Tabela 11, três métricas foram adotadas para avaliar quantitativamente o impacto dos alagamentos urbanos no desempenho de drenagem de acordo com o *software LID TTT*. Nomeadamente nos aspectos (a) Urbanísticos, as métricas de comparação se baseiam na área urbana consolidada (área não vegetada) com 90,25%, área de floresta com 4,73%, formação natural não florestal (2,25%), agropecuária (2,07%) e corpos d'água (0,4%). Na análise destas

condições da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio foram observadas as características de uso do solo e demais características naturais do local, utilizadas como condicionantes de pós-desenvolvimento dos cenários elaborados, além disso, como a área da sub-bacia possui cerca de 90,25% de área urbanizada consolidada com edificações e o sistema viário da cidade, dessa forma, não existem áreas de cobertura vegetal a serem protegidas localizadas no objeto de estudo. Em adição, optou-se por considerar as edificações já existentes e implantadas na condição de urbanização convencional através do mapeamento do Google Earth dentro do *software LID TTT*.

Com relação aos aspectos (b) Ambientais, as métricas adotadas topográficas e de relevo são relacionadas à cobertura vegetal, tipo de solo da sub-bacia que se encontra classificada no tipo de Neossolo, declividade do solo que foi reconhecida como suave ondulado (3 a 8%) e as curvas de nível do terreno geoprocessadas no *QGIS*. Considerando também que a área teve suas características naturais completamente alteradas em função do desenvolvimento urbanístico local, buscou-se no projeto de desenvolvimento de baixo impacto restringir quaisquer tipos de alterações nas condições naturais ainda existentes da sub-bacia. Na proposta de pós-desenvolvimento foi trabalhado com as formas naturais adaptadas à topografia, assim, permitindo um desenvolvimento esteticamente mais agradável com os recursos naturais da área.

Por fim, nos aspectos (c) Hidrológicos, as oito métricas adotadas dizem respeito ao geoprocessamento que será realizado no *software LID TTT* após a inserção dos cenários de pré e pós-desenvolvimento. Dentre as métricas apresentadas pelo programa estão os parâmetros de chuvas, dessa forma, uma variedade de cenários foi projetada para testar o impacto das configurações no *software LID TTT*. Ao final, foram considerados para o cenário de aplicação da sub-bacia 10 com capacidades de armazenamento de água da chuva com quatro condições de controle de escoamento pluvial para as propostas com 15mm (chuva fraca), 25mm (chuva moderada), 50mm (chuva forte) e 100mm (chuva muito forte), respectivas à sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio. Além disso, para entender o ganho de desempenho específico resultante da implementação das técnicas LID, foram utilizados durante o período de simulação, um evento que tenha maior duração e maior profundidade de chuva, dessa forma, foi utilizado o período de 24 horas/dia para demonstrar a redução do volume de escoamento pluvial da área de estudo.

De acordo com o Manual do *software LID TTT* e para uma melhor visualização das suas propriedades e características, foi inserido no Quadro 25 as propriedades que aparecem na tela de resultados do programa após finalização do cenário de pré e pós-desenvolvimento. A tela de resultados permite ao usuário visualizar os resultados da execução do modelo para um único relatório e comparar os resultados dos diferentes cenários. Além disso, o relatório apresenta dados para o controle de volume de escoamento, volume de escoamento não tratado, pico de fluxo de escoamento e balanço hídrico como um resumo das técnicas LID utilizadas através do sistema modelado no *software*.

Tela de Resultados - <i>Software LID TTT</i>	
Propriedades de Modelagem Hídrica	Características
Controle de redução de escoamento	Refere-se ao escoamento da chuva ou irrigação que flui sobre a superfície da terra.
Controle de volume de escoamento esperado	Refere-se à quantidade de escoamento que deve ser controlada (retirada ou tratada) no local.
Controle de volume de escoamento fornecido	Refere-se à quantidade de escoamento que é reduzida por infiltração ou evapotranspiração e não se torna escoamento externo.
Volume de escoamento não tratado	Refere-se à quantidade de escoamento que não conseguiu ser filtrada por um ou mais LIDs, mas é retida na fonte e não contribui para o escoamento externo.
Pico de fluxo de escoamento (saída)	Refere-se ao fluxo de pico da sub-bacia, bem como armazenamentos e emissários para os cenários de pré e pós-desenvolvimento.
Balanço da Água (Redução Escoamento Pluvial) mm/%	Refere-se à análise do balanço hídrico (ou seja, evapotranspiração superficial, escoamento superficial e infiltração no solo) e estimativas de remoção de carga poluente para cenários pré e pós-desenvolvimento.
Controle de volume de escoamento foi atendido?	Refere-se ao desenvolvimento dos cenários, fornece feedback ao usuário sobre se a meta do cenário foi alcançada com as opções 'sim/não'.

**Quadro 25. Resultados obtidos pelo *LID TTT* (relatório dos cenários).**

Fonte: Autora, dados retirados do *LID TTT* (2023).

Esta flexibilidade de propriedades de modelagem hídrica que compõem o modelo de relatório dos cenários de pré e pós-desenvolvimento do programa *LID TTT*, tende a tornar a contribuição do método mais abrangente, podendo ser, em um momento posterior, replicado em outros contextos urbanos distintos ou similares, assim como foi aplicado no estudo de caso do CEASA em Porto Alegre, RS (Marostica *et. al*, 2022). Além disso, a flexibilidade se alinha ao objetivo principal desta dissertação de “propor a metodologia proposta para avaliação de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle de alagamentos urbanos adaptáveis à escala de municipalidades sul brasileiras”.

É importante ressaltar também, que os aspectos urbanísticos, ambientais e hidrológicos fazem parte do planejamento do projeto na sub-bacia do Arroio Dilúvio, em que apresenta à área urbana consolidada atual e assim, demonstra medidas de

controle para alagamentos urbanos através de técnicas sustentáveis e de baixo impacto na paisagem urbana garantindo a importância do processo de planejamento urbano ligado ao funcionamento hidrológico do local de pré-ocupação da área. Ainda, segundo a Etapa 06 desta metodologia, buscou-se configurar esses parâmetros apresentados no programa *LID TTT*, e assim, iniciar o projeto de pré e pós-desenvolvimento do cenário. Desse modo, a discussão resultante desses resultados geoprocessados é apresentada de forma detalhada na sequência.

#### 6.4.4 Análise e Resultados da Modelagem no *Software LID TTT*

A fim de avaliar o efeito das técnicas LIDs na sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio, na Etapa 07 desta metodologia buscou-se definir as propriedades e controle de drenagem do programa *LID TTT*, assim foram projetadas as simulações de projeto para a área de estudo. Primeiramente, foram realizados cenários de teste de consistência para analisar o escoamento das cinco microbacias da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio. Após essa etapa, optou-se por distribuir as técnicas em trabalho conjunto, para demonstrar o teste de consistência do desempenho das técnicas LID em toda a sub-bacia 10 e posteriormente analisar os resultados obtidos com o geoprocessamento hídrico da área de estudo. Sob o ponto de vista dos cenários projetados e por meio de suas inúmeras informações que serão apresentadas, foi necessário prover as informações de cada microbacia dentro da sub-bacia 10. Para a aplicação das técnicas LID foram utilizadas: Telhados Verdes, Pavimento Permeável, Sistemas de Biorretenção, Áreas Verdes e Paisagens, Jardins de Chuva e Tiras de Filtro Vegetal /Faixas de Grama. Assim, buscou-se (6.5.3.1) o desempenho de todas estas técnicas reunidas em um único cenário para o estudo de caso da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio.

#### 6.4.4.1 Teste de Consistência Hídrica *LID TTT*-Desempenho das Combinações LIDs

O aumento de áreas urbanas com alta concentração populacional em pequenos espaços trouxe sérios problemas ambientais em escala de captação como a falta de gestão sustentável de águas pluviais para proteger os arroios e as bacias hidrográficas (Fletcher *et al.*, 2014). Com base nessa realidade, na Etapa 09 desta metodologia foi realizado o teste de consistência hídrica nos cenários de pré e pós-desenvolvimento da sub-bacia desta pesquisa com a possível inserção de estruturas de LID (desenvolvimento de baixo impacto).

Nessa fase do *software LID TTT* foi realizado o cenário em que busca através do desempenho conjunto das técnicas LID uma atuação eficiente para a sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio. A inserção de estruturas LID e medidas de zoneamento reduziram o volume de escoamento superficial do cenário de pós-desenvolvimento. Para dados reais de chuva em parâmetros de 15mm, 25mm, 50mm e 100mm, os hidrogramas tiveram seus picos retardados com a inserção de estruturas LID, além disso, o desempenho das estruturas LID foi melhor com menores precipitações pluviométricas.

Parece haver um consenso de que a gestão sustentável das águas pluviais urbanas deve ser planejada e implementada em uma escala de bacia (Roy *et al.* 2008; Dwyer; Childs, 2004; CVC; TRCA, 2010), isso ocorre porque os efeitos do aumento do escoamento devido à urbanização são cumulativos em toda a escala da bacia hidrográfica (CVC; TRCA 2010), em vez do que ser específico de apenas um local. Assim, no modelo de pré-desenvolvimento foi utilizado à área total da sub-bacia e no modelo de pós-desenvolvimento consistiu em apresentar todas as técnicas LIDs inseridas nas cinco microbacias (10.1, 10.2, 10.3, 10.4 e 10.5) da sub-bacia 10, conforme pode ser visto na Figura 72. Dessa forma, esses modelos de LIDs aplicados nos cenários abaixo podem ser efetivamente integrados no contexto da gestão das águas pluviais, especialmente em locais com características de áreas propensas a alagamentos urbanos nos municípios sul-brasileiros, como no caso apresentado.



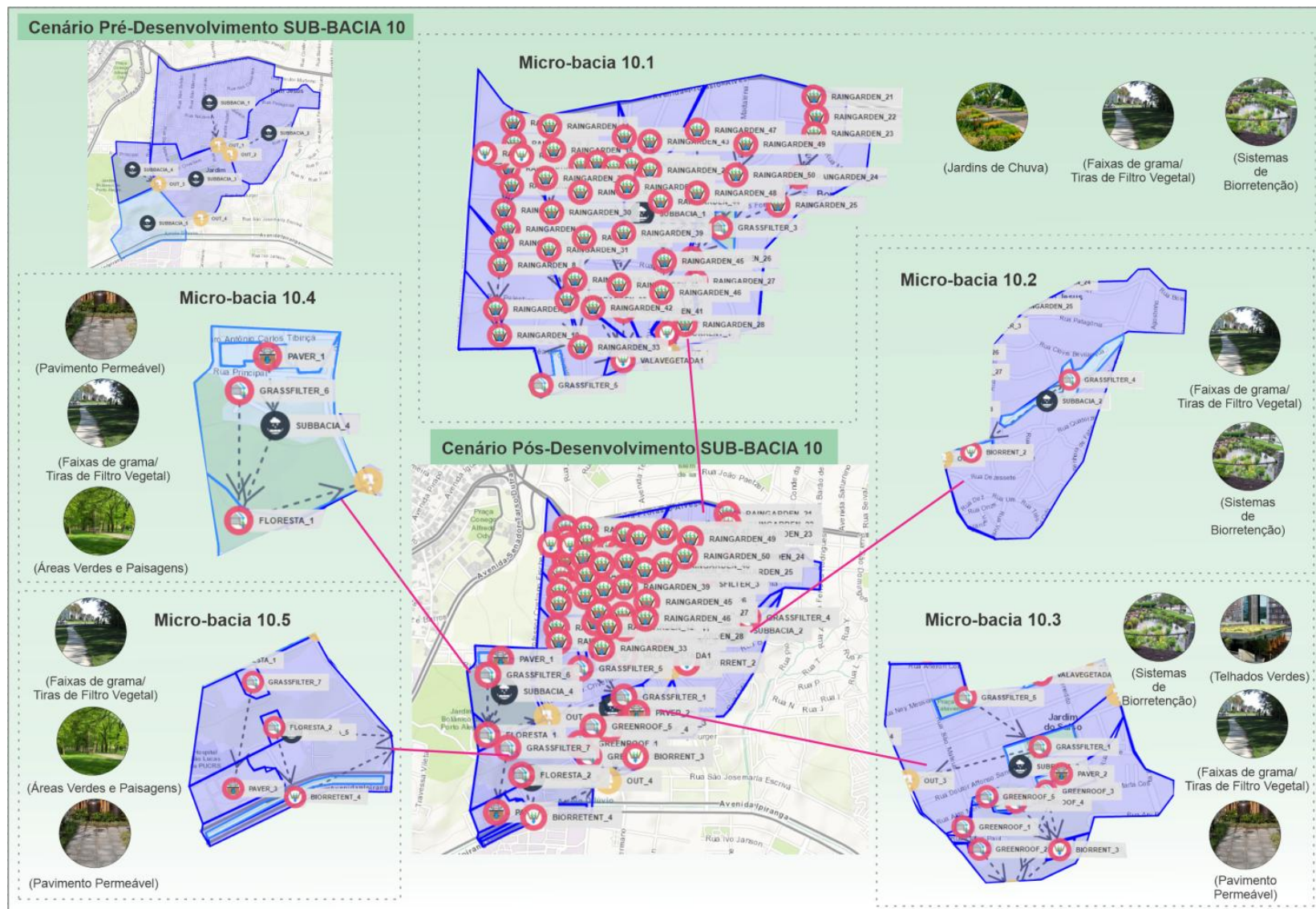


Figura 72. Cenários de Pré e Pós-desenvolvimento da Sub-bacia 10.

Fonte: Elaborado pela Autora no LID TTT (2023).

A Figura 71 apresenta no canto superior esquerdo, o cenário de pré-desenvolvimento da sub-bacia 10. Neste projeto, foram empregadas somente as descargas dos emissários das cinco microbacias no programa *LID TTT*. Na situação do cenário de pós-desenvolvimento da sub-bacia 10, o local ocupa aproximadamente a mesma área de local de projeto de pré-desenvolvimento, porém neste panorama foram incluídas as técnicas LIDs em paralelo com as cinco microbacias.

No que se refere às Técnicas LIDs inseridas na sub-bacia 10, foi possível observar que na microbacia 10.1 por ser topograficamente a área mais alta da área de estudo, foram implantadas três técnicas LIDs no cenário de pós-desenvolvimento. Na inserção da área residencial da sub-bacia foram implantadas as técnicas de jardins de chuva que são modelos sustentáveis e ajudam a reduzir o fluxo de água e podem reduzir a carga poluente transportada pelo escoamento, mesmo que pareça apenas um jardim comum (Basdeki et al., 2016). Os jardins de chuva funcionam através de bacias rasas vegetadas acima do solo que recebem e absorvem a água da chuva e filtram os poluentes da água através de meios filtrantes porosos plantados com uma ou mais espécies de vegetação (Laukli et al., 2022).

Ainda, no tocante as técnicas de jardins de chuva aplicadas segundo o manual do *software LID TTT*, estas técnicas são consideradas tipos de célula de biorretenção que consistem apenas na camada de solo engenheirado sem leito de cascalho abaixo dela. Com relação ao controle da quantidade de água, possuem armazenamento em depressões superficiais, infiltração e evapotranspiração e quanto ao controle de qualidade da água para a água filtrada, a técnica possui filtração através do contato com o solo e absorção de poluentes pelas plantas (*Low Impact Development Center*, 2020). Dessa forma, as 50 unidades de jardins de chuva foram aplicadas em vários locais, como espaços verdes, praças, áreas de estacionamento e ao longo das ruas pavimentadas residenciais da sub-bacia. A dimensão dos jardins de chuva foram de 2,5x4,5m (tamanho similar a de vagas de estacionamento nos projetos de tráfego urbano), além disso, foram instaladas valas de biorretenção para controlar o volume e a taxa do escoamento das águas pluviais da maior microbacia da área de estudo, além de trazer benefícios de valor estético e sociais (Fletcher et al., 2021).

Com relação à microbacia 10.2 por ser altamente urbanizada residencialmente, foi possível inserir faixas de grama/tiras de filtro vegetal com

vegetações na área ao longo dos canais e ao fim do arroio (com total de 2,248ha de aplicação desta técnica nesta microbacia). Os recursos de tiras de filtro vegetal ou faixas de grama segundo o manual do *software LID TTT*, fornecem infiltração adicional para fluxos de folhas que saem de uma captação, estes são geralmente áreas de vegetação largas (maiores que 5m) ligeiramente inclinadas entre superfícies duras e recursos de drenagem linear. A vegetação é mantida nas faixas lineares para reduzir a erosão e ajudar que o escoamento superficial se concentre na área (*Low Impact Development Center, 2020*).

Ademais, foram inseridos sistemas de biorretenção com 0,785ha aplicados na microbacia 10.2 para a melhor minimização dos efeitos dos alagamentos e inundações. As técnicas de biovaletas e biorretenção são consideradas depressões superficiais escavadas que contêm vegetação cultivada em uma mistura de solo engenheirado com cobertura morta colocada acima de um leito de drenagem de cascalho. Além disso, contribuem para a retenção na superfície ou no armazenamento subterrâneo, infiltração total ou parcial no solo nativo e evapotranspiração (*Low Impact Development Center, 2020*). Sobre o quesito de controle de qualidade da água das biovaletas, os poluentes são filtrados através da cobertura morta/solo manipulado e pela absorção das raízes pelas plantas. Deste modo, contribuindo para o contexto arquitetônico, a estética, as comodidades urbanas, o ambiente construído, o espaço aberto e as paisagens em um ambiente urbano consolidado (Song, 2022).

No que diz respeito à microbacia 10.3, esta permitiu observar que além da sua urbanização consolidada, continha alguns espaços de áreas para a inserção de técnicas LIDs, dessa forma às técnicas de áreas verdes e paisagens foram aplicados com cerca de 0,58ha. A técnica de áreas verdes e paisagens ajudam a incorporar áreas rasas e deprimidas em áreas de paisagismo urbano (*Low Impact Development Center, 2020*), para armazenar e infiltrar o escoamento pluvial das cidades. Além disso, foram aplicados sistemas de biorretenção com 0,45ha de área e faixas de gramas/tiras de filtro vegetal com 3,10ha de área na microbacia 10.3. Ademais, para reduzir o calor térmico dos prédios, foram inseridos telhados verdes para diminuir o escoamento pluvial retendo a água através da cobertura vegetal nos telhados com aplicação de 1,34ha na microbacia.

Ainda, referente à técnica de telhados verdes segundo o manual do *software LID TTT* demonstrou que a desconexão do telhado (biorretenção que transporta o

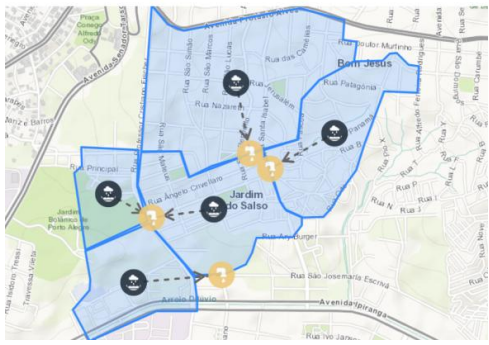
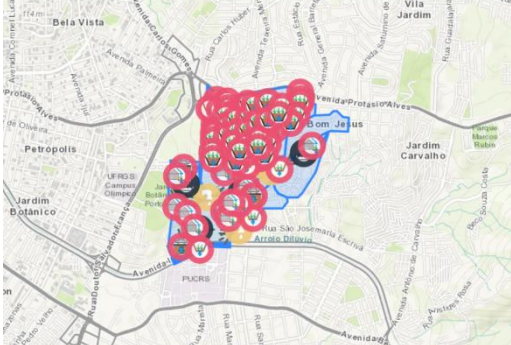
excesso de água que escoar através da camada do solo para o telhado), faz com que as calhas do telhado sejam descarregadas em áreas ajardinadas e gramados permeáveis, em vez de diretamente em bueiros (*Low Impact Development Center, 2020*). Por fim, foram adicionados pavimentos permeáveis nos estacionamentos dos edifícios colaborando na ocorrência de alagamentos, impedindo que grande quantidade de água seja acumulada em sua superfície.

Para a microbacia 10.4 foi possível analisar que a área já tinha parcialmente área de floresta, portanto na área que estava desmatada, foram aplicadas as técnicas de áreas verdes e paisagens com área de 1,95ha e faixas de grama/tiras de filtro vegetal com área de 0,07ha. Para a área com edificações conjuntas foi inserido também a técnica de pavimento permeável auxiliando no combate e redução dos índices das chuvas. No que se refere à técnica de sistemas de blocos de paver e pavimento permeável (foram aplicados cerca de 1,20ha na microbacia 10.4), estes blocos impermeáveis de pavimentação foram colocados em um leito de areia ou cascalho com uma camada de armazenamento de cascalho abaixo. Assim, a chuva é captada nos espaços abertos entre os blocos e transportada para a zona de armazenamento, onde pode se infiltrar no solo nativo do local (*Low Impact Development Center, 2020*).

No que diz respeito à microbacia 10.5, também com áreas florestais parciais no seu entorno, foi possível instalar técnicas de áreas verdes e paisagens com área de 0,66ha nos limites de desmatamento da região. Além disso, foi aplicada técnicas de pavimento permeável com cerca de 3,82ha e tiras de filtro vegetal/ faixas de grama com 0,80ha de área para melhor permeabilidade dos pavimentos e absorção das águas das chuvas.

Ao término da apresentação do cenário de pós-desenvolvimento da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio foi processado o relatório hídrico do Cenário de Desempenho das combinações de LID. De acordo com o Manual do *software LID TTT*, o desempenho conjunto das Técnicas LID minimiza o escoamento e práticas estruturais distribuídas de pequena escala que imitam a hidrologia natural ou pré-desenvolvimento por meio dos processos de infiltração, evapotranspiração, coleta, filtração e retenção de águas pluviais. Essas práticas reunidas podem efetivamente remover nutrientes, patógenos e metais do escoamento, e reduzir o volume e a intensidade dos fluxos de águas pluviais (*Low Impact Development Center, 2020*). O Quadro 26 apresenta o teste de modelagem hídrica referente ao desempenho das

Técnicas LIDs inseridas na área de 228,7ha dos cenários de pré e pós-desenvolvimento da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio.

Cenário Pré e Pós Desenvolvimento – Modelagem Software LID TTT										
Cenário Sub-bacia 10 Arroio Dilúvio com desempenho das combinações LIDs										
Mapa de Pré-Desenvolvimento			Mapa de Pós-Desenvolvimento							
										
LID	Parâmetros das Chuvas		15MM		25MM		100MM			
	Tamanho da área de projeto da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio: <b>2,287km<sup>2</sup></b>		Pré-Projeto	Pós-Projeto	Pré-Projeto	Pós-Projeto	Pré-Projeto	Pós-Projeto		
Desempenho Combinação de Técnicas LIDs	Controle de redução de escoamento		33.55m <sup>3</sup>	33.50m <sup>3</sup>	55.91m <sup>3</sup>	55.83m <sup>3</sup>	111.82 m <sup>3</sup>	111,65 m <sup>3</sup>	223.65 m <sup>3</sup>	223.31 m <sup>3</sup>
	Controle de volume de escoamento esperado		5.509 m <sup>3</sup>	24.330 m <sup>3</sup>	5.936 m <sup>3</sup>	33.610 m <sup>3</sup>	6.580,27 m <sup>3</sup>	44.934,0 m <sup>3</sup>	7.115,92 m <sup>3</sup>	59.444,65 m <sup>3</sup>
CHUVAS Período de 24hrs	Redução de volume de escoamento fornecido		5.509 m <sup>3</sup>	24.328 m <sup>3</sup>	5.936 m <sup>3</sup>	33.610 m <sup>3</sup>	6.580,2 m <sup>3</sup>	44.927,3 m <sup>3</sup>	7.115,92 m <sup>3</sup>	59.444,65 m <sup>2</sup>
	Volume de Escoamento não tratado		27.980 m <sup>3</sup>	9.100 m <sup>3</sup>	49.960 m <sup>3</sup>	22.195 m <sup>3</sup>	105.210 m <sup>3</sup>	66.682 m <sup>3</sup>	216.720m <sup>3</sup>	164.045m <sup>3</sup>
	Pico de fluxo de escoamento (saída)		0,456 m <sup>3</sup> /s	0,264 m <sup>3</sup> /s	1,100 m <sup>3</sup> /s	0,750 m <sup>3</sup> /s	3,334 m <sup>3</sup> /s	2,641 m <sup>3</sup> /s	10,152 m <sup>3</sup> /s	8,142 m <sup>3</sup> /s
	Balanço da água (Redução do Escoamento pluvial) mm/ %		4,08mm	10,89 mm	5,52mm	15,07 mm	9,02mm	20,11 mm	16,02mm	26,59 mm
	Controle de volume de escoamento foi atendido?			Sim		Sim		Não		Não

**Quadro 26. Modelagem Técnica com desempenho das combinações LIDs.**

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Com relação aos parâmetros de chuva foi possível identificar nos projetos de 15mm (72,78%) e 25mm (60,32%) o controle de volume de escoamento foi atendido. Cabe ressaltar ainda que pelo *software LID TTT*, todos os volumes de escoamento que tiveram valores superiores a 60%, demonstraram uma melhora sustentável significativa no cenário, sendo aprovado nos parâmetros de volume de escoamento atendido. No que diz respeito aos parâmetros de 50mm, as chuvas conseguiram alcançar 40,24% da classificação com valores de escoamento atendido, logo, as chuvas de 100mm conseguiram apenas 26,57% de redução das chuvas, atingindo a taxa mais baixa de escoamento pelo *software LID TTT*.

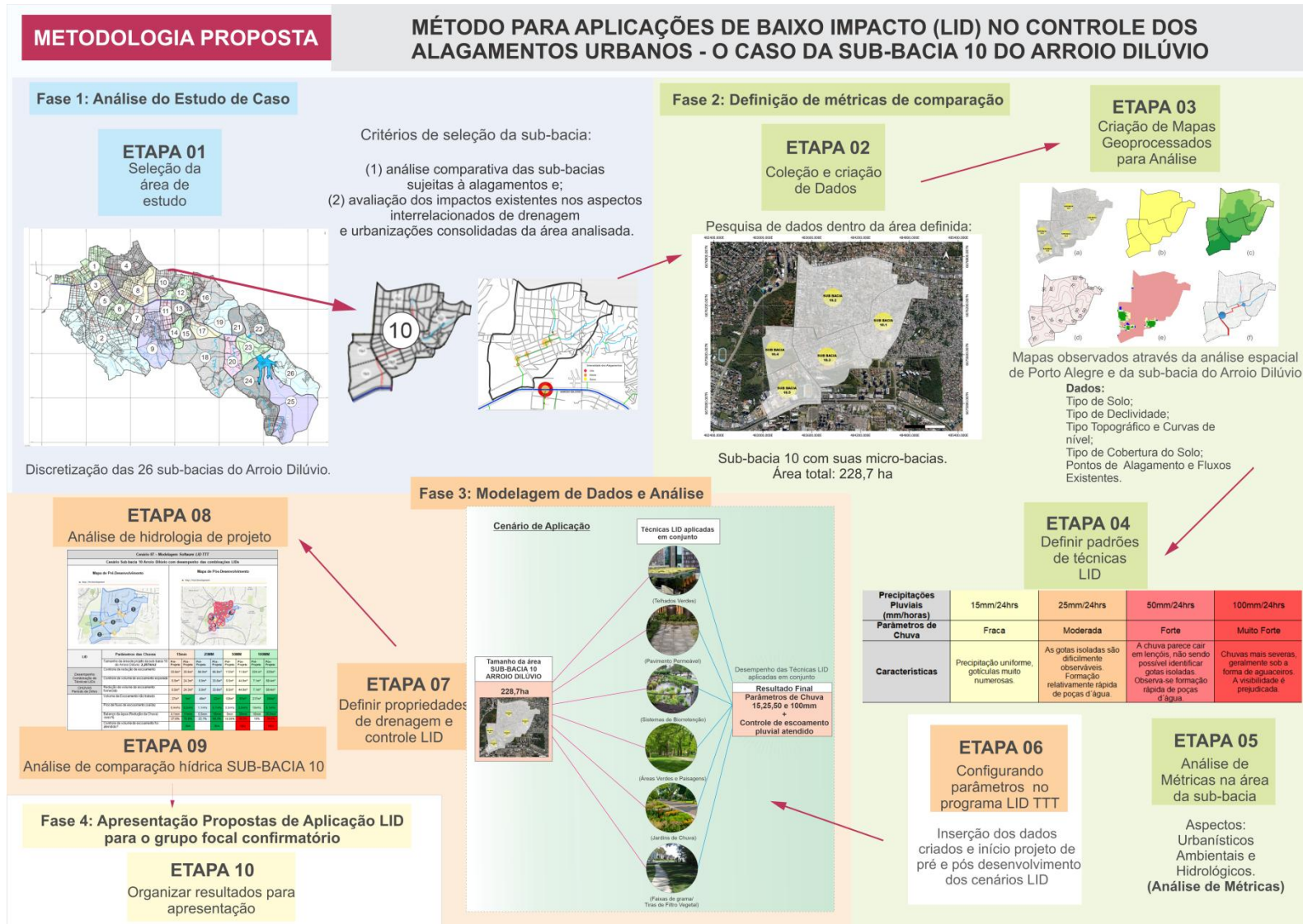
Tratando se das classificações relacionadas ao volume de escoamento não

tratado, pico de fluxo de escoamento e balanço da água (redução do escoamento pluvial), os quatro parâmetros de chuvas (15, 25, 50 e 100mm) alcançaram bons resultados de escoamento pluvial nos cenários. Além disso, autores referenciados na literatura desta pesquisa como Lee *et al.* (2012), discorrem sobre o uso de instalações LID na Coréia do Sul, e descobriram que essas instalações podem reduzir as descargas de pico de inundação por cada período de retorno de tempestades estimadas em cerca de 7 a 15% em uma escala de captação mais ampla. No caso da sub-bacia do Arroio Dilúvio as técnicas de baixo impacto aplicadas ultrapassaram esses valores, alcançando 26,57% na utilização das Técnicas LID nos parâmetros de chuvas de 100mm/24horas.

Foram avaliados os cenários de acordo com o *software LID TTT* e observados seu controle de redução pluvial. No geral todos os cenários com técnicas LID tiveram uma redução dos valores simulados, o que está dentro da faixa do aceitável. Isso indica que os valores simulados e medidos podem prever melhores mudanças na qualidade do ambiente urbano e ambiental. Dessa forma, o controle dos alagamentos pode ser maximizado com técnicas de desenvolvimento de baixo impacto, conforme apresentado pelo *programa LID TTT*. As técnicas sustentáveis podem ser aplicadas na sub-bacia do Arroio Dilúvio para criar uma combinação de elementos na paisagem que auxiliem o gerenciamento sustentável de águas pluviais. Após a apresentação da avaliação do método proposto com base no desenvolvimento dos *softwares QGIS* e *LID TTT*, a Etapa 10 desta metodologia buscou avaliar a aplicabilidade e utilidade das técnicas LID para as municipalidades sul-brasileiras através do grupo focal confirmatório o qual será apresentado de forma detalhada no capítulo posterior. Por fim, foram realizadas as considerações finais deste capítulo frente à análise comparativa dos mapas e cenários elaborados.

## **6.5 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES DESTE CAPÍTULO**

A apresentação e discussão dos resultados permitiram que fossem traçadas considerações gerais acerca dos resultados dos mapas geoprocessados e cenários elaborados na Etapa C desta dissertação, conforme mostra a Figura 73. Para enfatizar a base de dados geoespaciais deste estudo, as fases foram enumeradas nesta pesquisa de acordo com a metodologia proposta para aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos, além de uma breve descrição da contribuição de cada mapa geoprocessado.



#### Fase 3: Modelagem de Dados e Análise

**ETAPA 08**  
 Análise de hidrologia de projeto



**Cenário de Aplicação**

Técnicas LID aplicadas em conjunto:

- (Telhados Verdes)
- (Pavimento Permeável)
- (Sistemas de Bioretenção)
- (Áreas Verdes e Passagens)
- (Jardins de Chuva)
- (Faixas de grama/ Tiras de Fitto Vegetal)

Desempenho das Técnicas LID aplicadas em conjunto:

**Resultado Final**  
 Parâmetros de Chuva 15,25,50 e 100mm

Controle de escoamento pluvial atendido

**ETAPA 04**  
 Definir padrões de técnicas LID

Precipitações Pluviais (mm/ horas)	15mm/24hrs	25mm/24hrs	50mm/24hrs	100mm/24hrs
Parâmetros de Chuva	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
Características	Precipitação uniforme, gotículas muito numerosas.	As gotas isoladas são dificilmente observáveis. Formação relativamente rápida de poças d'água.	A chuva parece cair em torções, não sendo possível identificar gotas isoladas. Observa-se formação rápida de poças d'água.	Chuvas mais severas, geralmente sob a forma de aguaceiros. A visibilidade é prejudicada.

**ETAPA 07**  
 Definir propriedades de drenagem e controle LID

**ETAPA 09**  
 Análise de comparação hídrica SUB-BACIA 10

**ETAPA 10**  
 Organizar resultados para apresentação
 

#### Fase 4: Apresentação Propostas de Aplicação LID para o grupo focal confirmatório

**Figura 73. Resumo dos Resultados da Metodologia Proposta desta dissertação.**  
 Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Este resumo apresenta os resultados das etapas de geoprocessamento e análise espacial da pesquisa. Primeiramente, a proposição de uma metodologia para aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos foi incorporada em quatro fases (fase 1 – análise do estudo de caso, fase 2- definição de métricas de comparação, fase 3 – modelagem de dados e análise, e fase 4- apresentando as propostas de aplicação LID), dentre as fases apresentadas foram divididas a metodologia desta pesquisa em dez etapas.

Na primeira fase, a Etapa 01 empregada na seleção da área de estudo, foi possível observar a discretização da bacia hidrográfica, isto é, a divisão do Arroio Dilúvio em 26 sub-bacias ou macrorregiões hidrográficas de contribuição direta para o canal principal ou para os reservatórios Lomba do Sabão e Mãe d'água. Na sequência, ocorreu a escolha da sub-bacia através da (1) análise comparativa das sub-bacias sujeitas aos alagamentos e a (2) avaliação dos impactos existentes nos aspectos interrelacionados de drenagem e urbanizações consolidadas da área analisada. Ainda, para a escolha da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio foram levados em conta três critérios: (a) características de ocupação das sub-bacias; (b) influência do nível do Arroio Dilúvio para a montante na rede de macrodrenagem e; (c) propagação de mais locais de alagamentos no cenário urbano. Na comparação dos resultados obtidos de acordo com o PDDU-POA (2014), pode-se verificar ainda no quesito das inundações e alagamentos urbanos que a SB-10 apresentou mais locais de alagamentos nos cenários atuais e futuros, sendo dessa forma a sub-bacia escolhida para o estudo de caso desta pesquisa.

Na segunda fase, a Etapa 02 apresenta a pesquisa dos dados demográficos dentro da área definida através do mapa elaborado demonstrando a sub-bacia 10 e suas cinco microbacias. Já na Etapa 03, foram explorados as fontes de base de dados junto ao método do *software QGIS 3.16.9* e os modelos integrados para a análise quantitativa, medindo e validando os mapas geoprocessados com as características observadas dentro do contexto dos mapas geoprocessados no *QGIS*, de tipo do solo, declividade e classe do relevo, topográfico e curvas de nível, classes de cobertura do solo, pontos de alagamentos e fluxos existentes.

Na Etapa 04, foi necessário inserir as métricas elaboradas dentro do *software LID TTT*, além disso, foram adotados os parâmetros de chuva com perfis de 15mm (chuva fraca), 25mm (chuva moderada), 50mm (chuva forte), 100mm (chuva muito forte), com precipitações pluviométricas no período de 24 horas/dia. Além disso, os



dados fornecidos pelo manual do *software* com informações sobre a proporção de área impermeável efetiva para área permeável (relação 'I/P') das técnicas LIDs forneceram orientação sobre a área de drenagem máxima para um recurso LID. Caso a área de drenagem da técnica LID for maior que o mínimo permitido pelo manual, o recurso está subdimensionado a conseguir atingir a meta de alcance sustentável nos cenários que foram elaborados desta pesquisa.

Na Etapa 05, na análise de métricas da sub-bacia 10, para uso dos dados elaborados nos mapas geoprocessados, as três métricas foram adotadas para avaliar quantitativamente o impacto dos alagamentos urbanos no desempenho de drenagem de acordo com o *software LID TTT*. Nomeadamente nos aspectos (a) Urbanísticos, as métricas de comparação se basearam na área urbana consolidada (área não vegetada) com 90,25%, área de floresta com 4,73%, formação natural não florestal (2,25%), agropecuária (2,07%) e corpos d'água (0,4%). Com relação aos aspectos (b) Ambientais, as métricas adotadas topográficas e de relevo são relacionadas à cobertura vegetal, tipo de solo da sub-bacia que se encontraram classificadas no tipo de solo Neossolo, a declividade do solo que foi reconhecida como suave ondulado (3 a 8%), além das curvas de nível do terreno topográfico geoprocessadas no *software QGIS*. Por fim, nos aspectos (c) Hidrológicos, as oito métricas adotadas dizem respeito ao geoprocessamento realizado no *software LID TTT* apresentaram dados para o controle de volume de escoamento, volume de escoamento não tratado, pico de fluxo de escoamento e balanço hídrico como relatório de consistência das técnicas LID aplicadas através dos cenários modelados no programa.

No tocante a fase três da metodologia proposta, a respeito da modelagem de dados e análise, a Etapa 6 configurou os parâmetros das chuvas no programa *LID TTT* e deu início aos projeto de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento dos cenários LID.

Dessa forma, na Etapa 7 foi organizado e geoprocessado as simulações de projetos para testes. Nessa fase foi elaborado o cenário de desempenho das técnicas LIDs aplicadas de forma conjunta na sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio utilizando as técnicas de Telhados verdes, Pavimentação Permeável, Sistemas de Biorretenção, Áreas Verdes e Paisagem, Jardins de Chuva, Faixas de Grama/Tiras de Filtro Vegetal. Na importância da aplicação das técnicas sustentáveis no estudo de caso, a Etapa 8 se refere à análise de hidrologia do projeto que buscou analisar

as Técnicas LIDs e a capacidade de infiltração de cada uma das técnicas aplicadas nos cenários de acordo com os parâmetros de chuvas de 15mm, 25mm, 50mm e 100mm conforme Quadro 28.

Técnica LID utilizada	Parâmetros das Chuvas aplicadas			
	15mm	25mm	50mm	100mm
Desempenho das Técnicas LID em conjunto	✓	✓	x	x
	72,78%	60,32%	40,24%	26,57%

**Quadro 27. Resumo Final – Técnicas LID e parâmetros das chuvas.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Em resumo, a fase de análise de hidrologia, a Etapa 9 analisou a comparação hídrica da sub-bacia 10, buscando o desempenho de todas as técnicas LID geoprocessadas reunidas em um único cenário (sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio com suas 5 microbacias), através das simulações de pré e pós-desenvolvimento do cenário elaborado. Com relação à redução de escoamento pluvial foi possível identificar nos parâmetros de chuva de 15mm (72,78%) e 25mm (60,32%) demonstraram uma melhora sustentável significativa no cenário, sendo aprovado nos parâmetros de volume de escoamento atendido. No que diz respeito aos parâmetros de 50mm, as chuvas conseguiram alcançar 40,24% da classificação com valores de escoamento atendido, logo, as chuvas de 100mm conseguiram apenas 26,57% de redução das chuvas, atingindo a taxa mais baixa de escoamento pelo *software LID TTT*.

A quarta e última fase do método consistiu na apresentação das propostas de aplicação LID (Etapa 10), que sucedeu a organização dos resultados para apresentação, discussão e disseminação dos principais resultados da avaliação. Essa análise possibilitou uma abordagem dos resultados da avaliação, facilitando a transmissão de conhecimento para possível uso das informações no planejamento urbano e sustentável das cidades. As informações resultantes foram analisadas pelos técnicos municipais através de grupo focal a fim de possibilitar sua possível utilização para melhoria da relação da drenagem urbana através de implementações de técnicas LID que possam ser exploradas no manejo das municipalidades sul-brasileiras.

Após a apresentação do método de avaliação proposto, foi realizada a validação deste método com os técnicos municipais na Etapa D desta dissertação, conforme apresentado na sequência.

## 7.0 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO COM TÉCNICAS LID (Grupo Focal Confirmatório)

Os resultados da Etapa D desta pesquisa são referentes à avaliação do método proposto na Etapa anterior a partir da percepção dos técnicos das municipalidades sul-brasileiras com relação ao método proposto de modelagem hídrica.

### 7.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

O método de avaliação proposto nesta dissertação foi avaliado com base em compreender o problema real dos alagamentos urbanos nos municípios sul-brasileiros, através das Etapas A, B e C da pesquisa construtiva. Por meio de videoconferência realizada no Google Meet no dia 08 de maio de 2023 com duração de 100 minutos (1 hora e 20 minutos), com os técnicos municipais envolvidos nesta dissertação foi possível apresentar os estudos realizados.

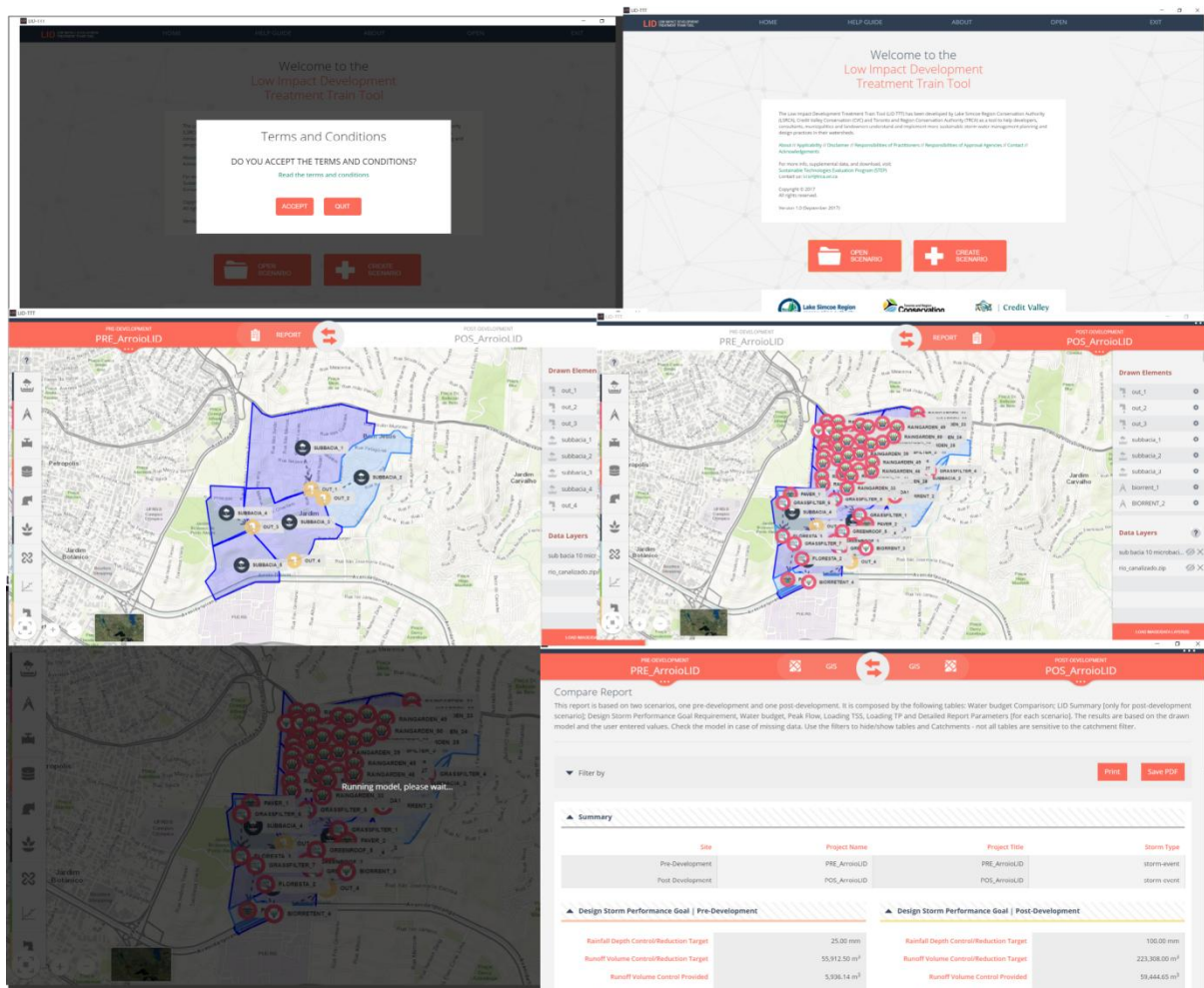
A pesquisadora desta dissertação foi a moderadora do grupo focal confirmatório. Antes de começar a gravação da reunião e para obter as contribuições dos técnicos das municipalidades sul-brasileiras, foi explicado sobre o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e autorização para gravação de voz (Apêndice B). Além disso, foi realizado o grupo focal da pesquisa com oito participantes, conforme informações do Quadro 28.

<b>Grupo Focal Confirmatório: através de videoconferência pela plataforma <i>Google Meet</i></b>			
<b>Nº de Participantes</b>	<b>Função dos Participantes</b>	<b>Municipalidade em que o participante trabalha</b>	<b>Conteúdo apresentado</b>
<b>08</b>	Arquiteta e Urbanista (MS.c) – Depto. Planejamento Urbano	Toledo - Paraná	TCLE e gravação de voz; Apresentação das Etapas A, B e C da pesquisa; Apresentação do Método de aplicação de Técnicas LID;
	Topógrafo e Engenheiro Civil – Depto. de Topografia e Urbanismo		
	Engenheiro Ambiental – Depto. Ambiental e Saneamento		
	Arquiteta e Urbanista – Depto. De Acompanhamento do Plano Diretor (Aprovação de Projetos)		
<b>Mês/Ano realização</b> Maio/2023			
<b>Turno</b> Noite	Arquiteto e Urbanista – Secretaria Municipal de Obras Públicas	Itajaí – Santa Catarina	Apresentação Interface do Programa <i>LID TTT</i> e como funciona;
<b>Duração</b> 100 minutos	Arquiteto e Urbanista (MS.c) – Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura	Porto Alegre – Rio Grande do Sul	Apresentação das perguntas que foram discutidas no debate.
	Arquiteto e Urbanista – Secretaria Municipal do Meio Ambiente		
	Arquiteto e Urbanista – Depto Urbanismo		

**Quadro 28. Resumo Estrutura Grupo Focal Confirmatório.**

Fonte: Autora (2023).

A apresentação (*slideshow*) feita ao grupo no começo da reunião com duração de 28 minutos encontra-se no Apêndice C. Após a apresentação do conteúdo, na sequência, foi demonstrado à interface do Programa *LID TTT* e como o programa funciona na íntegra com o projeto da SUB-BACIA 10 do Arroio Dilúvio (Figura 74), demonstrando as ferramentas e as técnicas LIDs, os cenários de pré e pós-desenvolvimento e o relatório de técnicas LID gerado pelo programa.



**Figura 74. Funcionamento da Interface Programa *LID TTT***

Fonte: Prints da Interface *LID TTT*, Autora (2023).

A partir dessa exposição, foi aberto o debate com a equipe, onde cada um foi expondo as suas considerações e percepções do que foi apresentado. Destacando que o clima entre a reunião foi muito agradável entre todos os técnicos e bem participativo, pois todos abordaram que esse tema é de fato relevante para a rotina das gestões públicas. Por fim, os resultados da última Etapa (Etapa D) em que foram discutidos com os participantes seguem de forma detalhada na sequência.

## 7.2 GRUPO FOCAL: PERCEPÇÃO DOS TÉCNICOS MUNICIPAIS

Para avaliar a percepção de utilidade do método pelos técnicos municipais foi realizada pela pesquisadora a entrevista com quatro perguntas em que foram apresentadas após o encerramento da apresentação da metodologia pela mediadora, de forma a avaliar o método proposto.

### 7.2.1 Quanto à utilidade do método pelos técnicos municipais

Para avaliar a utilidade do método pelos técnicos municipais foram apresentadas primeiramente todas as Etapas anteriores desta dissertação (Etapa A, B e C). Desta forma, a apresentação buscou explorar todo o processo de desenvolvimento do estudo realizado nesta pesquisa e assim, buscou-se uma reflexão sobre os resultados obtidos para sua efetiva utilidade e uso em municípios sul-brasileiros.

De forma geral, foi consenso no grupo que o mérito do trabalho está na utilidade do artefato, visto que o método se relaciona diretamente com uma necessidade do poder público para melhorar a gestão das drenagens urbanas das cidades de forma sustentável. Os técnicos participantes do grupo acreditam que o método e a utilidade do programa são válidos não somente para gestões de drenagens urbanas do sul do país e sim, para todo o Brasil.

Outro aspecto que também foi consenso no grupo foi em relação à utilidade dessas técnicas em apresentações e soluções demonstradas para o meio profissional, devido à drenagem falha em vários pontos da cidade, esse tipo de estratégia sendo trabalhada futuramente ou até em casos de urbanizações consolidadas existentes conseguem solucionar problemas onde a água possa ser escoada precavendo problemas futuros ou em longo prazo nos municípios.

### 7.2.2 Quanto à utilização dos programas de geoprocessamento QGIS e LID TTT

Com relação aos programas de geoprocessamento utilizados no método como os *softwares* QGIS e o LID TTT como subsídio à elaboração de cenários de desenvolvimento de drenagem urbana sustentável, os técnicos concordaram com o compartilhamento de informações entre os programas e o aperfeiçoamento das técnicas que os programas trazem em termos de sustentabilidade. Foi salientado

ainda, que os programas trabalham com precisão e buscam apresentar muitas informações que colaboram com as precipitações das chuvas, declividade do terreno, tipos de solo, topografia e técnicas sustentáveis para os projetos. No entanto, foram citadas que para posterior análise dos cenários, são necessárias também as visitas in loco de cada local em específico, onde no futuro possa ser realizado um projeto executivo com a utilização desses programas demonstrados.

### 7.2.3 Quanto ao processo de aplicação do método na prática

Com relação ao processo de aplicação do método apresentado na prática das municipalidades brasileiras, os técnicos municipais concordaram com a ideia de aplicação das técnicas sustentáveis para possibilitar melhores soluções para a área ambiental e melhorias na paisagem urbana das cidades. Outro aspecto salientado em relação às técnicas sustentáveis em específico foram que as técnicas de telhados verdes para aplicação em construções corporativas seria uma forma viável de reduzir o escoamento pluvial intra-lotes, além da técnica jardins de chuva que conseguem tratar não somente a redução de escoamento pluvial e sim, a qualidade da água nas cidades. As outras técnicas também foram bem aceitas, até para uma possibilidade não só de redução de escoamento pluvial e sim, uma nova possibilidade de poder equilibrar a área ambiental e paisagística na criação de cenários urbanos sustentáveis.

Foi salientada também como a ferramenta é útil para áreas urbanizadas consolidadas, como também, para loteamentos novos instalados nas cidades. Em adição, foi comentado sobre a aplicação do método ser útil para o cotidiano das prefeituras e das cidades por se tratar também de programas de livre acesso sem pagar por assinaturas anuais ou mensais. Entretanto, em consentimento entre os técnicos foi relatado que devido à dificuldade de aprender esses programas por conta própria, seriam necessários manuais e palestras que ensinassem como aplicar as técnicas demonstradas para melhorias na paisagem urbana dos municípios.

Os participantes comentaram também que muitas vezes encontram dificuldades de avançar com medidas sustentáveis devido à questão cultural dentro dos próprios departamentos (colegas profissionais que não acreditam que essas técnicas funcionam), por não ter um embasamento melhor e perspectivas sobre a percepção da gestão das águas e da sustentabilidade. Além disso, citaram que

muitas vezes os próprios gestores por não terem um melhor embasamento teórico das técnicas de baixo impacto, acabam por escolher as técnicas convencionais que já são usadas há anos pelas prefeituras. Dessa forma, faltam diagnósticos que embasem a tomada de decisão, bem como a participação dos técnicos em cursos e palestras que apoie os manejos necessários de aplicação das técnicas LID.

#### 7.2.4 Percepção dos resultados para a transmissão de conhecimento

No tocante à facilidade no entendimento dos resultados para a transmissão de conhecimento, foi apontado pelos técnicos que as técnicas de baixo impacto (LID) deveriam ser percorridas mais vezes entre as municipalidades através de palestras e estudos para conseguir dialogar melhor entre os departamentos ligados ao urbanismo e obras públicas e também com os projetistas, incorporadores e a sociedade para que assim, alcancem meios para executar essas técnicas sustentáveis.

Foi relatado ainda que o desenvolvimento de projetos-piloto é fundamental para envolver aplicações experimentais de dispositivos LIDs nas cidades em desenvolvimento sustentável, além disso, com esses estudos acadêmicos é possível avaliar o efeito que a combinação de diferentes dispositivos podem produzir, além da viabilidade de alternativas sustentáveis como a apresentada nesta pesquisa. Além disso, foi salientado pelos técnicos que as prefeituras e as gestões administrativas atuais têm certa dificuldade de implementação de novas ideias, equipamentos e novas tecnologias, e essa aproximação da academia com os gestores na prática, auxilia neste tipo de implementação sustentável, pois se trata de um trabalho demorado até que comece a executar projetos-piloto.

Ainda, foi salientada pelos técnicos de Porto Alegre a importância do conhecimento das técnicas sustentáveis para a utilização em programas de certificação de sustentabilidade ambiental em que acontecem repasses de recursos do governo com benefícios, entretanto, os técnicos não tem como mensurar essas eficiências e mecanismos sustentáveis apresentadas pelas técnicas e acabam perdendo os recursos financeiros disponíveis para as municipalidades.

Outra necessidade apontada pelos técnicos para a difusão do conhecimento da sustentabilidade seria através de programas de modelagem com Sistemas BIM, que apresentam a modelagem de informação da construção (como esses programas

apresentados na pesquisa – *QGIS* e *LID TTT*), que servem para a transformação digital no setor da arquitetura, engenharia e construção, sendo também, técnicas que podem funcionar melhor em longo prazo com a conexão entre os departamentos de projetos das prefeituras, podendo, por exemplo, conectar projetos entre o uso pluvial, o planejamento urbano, a fiscalização de obras e a aprovação de projetos. Entretanto, ainda falta conhecimento e treinamento para os profissionais, a inserção de conhecimentos acadêmicos nas gestões públicas colabora com este desenvolvimento uma vez que os profissionais muitas vezes não conseguem acessar essas informações técnicas para aplicar da melhor forma na paisagem urbana das cidades e na indução de projetos mais sustentáveis.

Foi relatada ainda a dificuldade que nos dias atuais os trabalhos ligados à sustentabilidade serem de caráter empírico, o que dificulta ao gestor público acreditar que técnicas sustentáveis como as apresentadas funcionem em projetos de drenagem urbana. Dessa forma, ocasiona a utilização de técnicas de drenagem convencionais que já são usadas há anos.

Outra necessidade apontada pelos técnicos para a melhor transmissão de conhecimento entre as municipalidades seria a maior troca de informações da área acadêmica com os profissionais da área. Esse apontamento deveria ser construído através de mais acadêmicos na participação de conselhos nas prefeituras, a fim de gerar um maior conhecimento de práticas e projetos de gestão das cidades sustentáveis oferecendo um maior conhecimento técnico e embasamento teórico sobre a literatura relacionada à área sustentável, dessa forma, o gestor público conseguiria avaliar melhor as técnicas e tomar a decisão de aplicá-las nas cidades de forma perpicaz.

Por fim, foram apresentadas todas as perguntas avaliadas com base na análise comparativa e revisão sistemática da literatura. Os técnicos ampliaram o debate sempre buscando obter contribuições efetivas para a solução dos problemas reais rotineiros enfrentados pelas equipes das municipalidades do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

De forma geral, a avaliação da pesquisa pelos técnicos foi positiva, considerando o método útil para o planejamento e gestão da drenagem urbana sustentável das municipalidades. Segundo os técnicos, o desenvolvimento de métodos como este apresentado, consideraram diagnósticos e cenários que são fundamentais para uma construção de cidades mais sustentáveis. Ainda, conclui-se









a partir da exposição teórica apresentada que o planejamento urbano com aplicação de técnicas de LID é aceitável quanto à execução destes projetos nas municipalidades, apresentando vantagens urbanísticas, ambientais e hidrológicas sob os sistemas convencionais de desenvolvimento já existentes. No entanto, para que esses dispositivos apresentados possam contribuir de forma significativa para a transmissão dos resultados apresentados nas municipalidades, é preciso estruturar e preparar os mecanismos entre as gestões públicas através dos conhecimentos de práticas e projetos de gestão das cidades sustentáveis por meio de um maior conhecimento técnico e embasamento teórico relacionado à área sustentável.


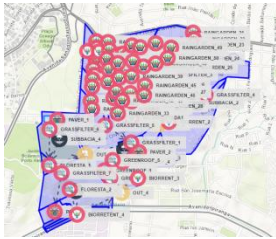




Após a apresentação da avaliação do método proposto ao grupo focal confirmatório, com base na sua “utilidade do método”, “utilização de programas de geoprocessamento”, “processo de aplicação do método na prática” e “percepção de facilidade no entendimento dos resultados para a transmissão de conhecimento”, foi realizada uma reflexão sobre a identificação e análise das contribuições teóricas do método de pesquisa frente aos estudos utilizados na pesquisa.

### **7.3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS DO MÉTODO**

Conforme apresentado os cenários de técnicas LIDs na Etapa C da pesquisa, foi identificada a análise das aplicações LIDs através dos artigos identificados na revisão sistemática da literatura (Etapa A) e na construção das técnicas LID mapeadas nesta dissertação (Etapa B). Em síntese, a pesquisa utilizou desses artigos para melhor desenvolver as técnicas aplicadas nos cenários isolados de técnicas LID e no cenário de desempenho das técnicas conjuntas na sub-bacia 10 (Etapa C), servindo como referencial teórico e prático. No Quadro 29 é apresentada a análise das contribuições dos autores referenciados através das (i) técnicas utilizadas no artigo citado dos autores; (ii) a comparação com os cenários das técnicas LID utilizadas na Etapa C desta dissertação; a (iii) citação dos autores da pesquisa na Etapa A e B desta dissertação; o (iv) país de aplicação da Técnica LID segundo a pesquisa dos autores referenciados e por fim; os (v) estudos que corroboram ou discordam com o estudo de caso da SUB-BACIA 10 do Arroio Dilúvio.

(i) Técnicas Utilizadas no artigo citado	(ii) Comparação com os cenários das Técnicas LIDs utilizadas (Etapa C)	(iii) Etapa A + Etapa B (Citação autor referenciado da pesquisa)	(iv) País de aplicação da Técnica LID	(v) Estudos que Corroboram ou Discordam com o Estudo de Caso SUB-BACIA 10
	<p>A Técnica de Telhados verdes utilizada no cenário da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio também foi baseada nos volumes de chuvas. Durante os parâmetros das chuvas foi possível avaliar que o escoamento não tratado com poluentes das chuvas diminuiu consideravelmente de acordo com as chuvas consecutivas.</p>	<p>Vijayaraghavan <i>et al.</i> (2012) também confirmaram que a descarga de poluentes através de técnicas sustentáveis como os sistemas de telhados verdes foi em grande parte baseada na profundidade do substrato e no volume de chuva; eles descobriram que durante o início das chuvas, as concentrações de poluentes eram mais altas, mas diminuíam consideravelmente durante as chuvas subsequentes.</p>	<p>Cingapura</p> 	<p>✓ Corroboram com a pesquisa.</p>
	<p>Referente à Técnica de Jardins de Chuva, foi possível identificar que houve um desempenho satisfatório com relação ao índice de volume de escoamento tratado, as concentrações de volumes tratados foram aumentando gradativamente de acordo com os parâmetros de chuvas de 15,25 e 50mm. Já no caso de 100mm houve volume tratado porém não conseguiu alcançar um desempenho tão elevado quanto as chuvas menores.</p>	<p>Chua <i>et al.</i> (2012), mostraram que o sistema, com área de 7,5 m<sup>2</sup>, removeu até 46% do fósforo total e até 68% do nitrogênio total do fluxo de base. Embora Chua <i>et al.</i> concluíram que o tamanho do sistema flutuante deve ser aumentado, seu desempenho na remoção de nutrientes exemplificou as técnicas LID no tratamento do escoamento urbano.</p>	<p>Cingapura</p> 	<p>✓ Corroboram com a pesquisa.</p>
	<p>A respeito do uso nos cenários com as Técnicas de Telhados Verdes e Pavimento permeável, Sistemas de Biorretenção e tiras de filtro vegetal, é possível afirmar que todas as técnicas citadas conseguiram bons resultados na sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio.</p>	<p>Chen <i>et al.</i> (2011) cita que na Vila Olímpica de Beijing (China), os resultados dos cenários foram considerados melhores para a paisagem urbana, através do uso de espaços, telhados verdes e redução das áreas pavimentadas; além de considerar os princípios do LID, como reencaminhamento das águas pluviais, utilização de células de biorretenção e aumento de tempo de detenção das águas pluviais. Como resultado final dos testes na Vila Olímpica, foi verificado que os volumes e fluxos escoados foram menores onde houve o uso combinado das práticas do LID.</p> <p>Li <i>et al.</i> (2019) mostrou que as práticas de LID, baseadas em biorretenção, filtros de grama e pavimento permeável, indicaram um bom desempenho na mitigação de tempestades urbanas na escala da bacia hidrográfica sob diferentes cenários de chuva.</p>	<p>China</p> 	<p>✓ Corroboram com a pesquisa.</p>

<p>No caso da SUB-BACIA 10 do Arroio Dilúvio, foram aplicados no projeto diferentes na escala da sub-bacia (cinco microbacias), e os resultados das técnicas foram satisfatórios com relação ao desempenho das técnicas e escoamento pluvial minimizado relacionado aos parâmetros de chuvas.</p>		<p>Liang <i>et al.</i> (2020) estudaram o desempenho de cinco cenários de projeto com diferentes distribuições espaciais, mas com os mesmos tamanhos de controles LID, na escala de captação urbana, e os resultados confirmaram que o desempenho hidrológico foi notável à intensidade as chuvas.</p>	<p>China </p>	<p>✓ Corrobora com a pesquisa.</p>
	<p>Referente às Técnicas de Biorretenção, nas aplicações no <i>software LID TTT</i> foi possível confirmar que a técnica apresentou melhor desempenho em eventos de chuvas de 15mm (100%), 25mm (100%) e 50mm (62,40%), não conseguindo atingir um alcance de meta alto somente nas chuvas de 100mm (31,44%). Com relação à Técnica de Pavimento Permeável, os melhores desempenho aconteceram no geoprocessamento com os picos precoces de 15mm (62,44%) e 25mm (61,27%). Quanto à Técnica de telhados verdes, nos quatro parâmetros de chuvas foi possível constatar que a técnica apresentou bom desempenho nas chuvas de 15mm, 25mm, 50mm e 100mm com 100% de escoamento pluvial atendido.</p>	<p>Qin <i>et al.</i> (2013) descobriram que bioswales apresentam melhor desempenho durante um evento de tempestade com pico precoce, pavimentos permeáveis apresentam melhor desempenho com pico intermediário e telhados verdes apresentam melhor desempenho com pico tardio.</p>	<p>China </p>	<p>✓ Discordam com a pesquisa.</p>
	<p>A respeito da técnica de telhados verdes, e com relação aos sistemas de microdrenagem, na escala de sub-bacias, as técnicas promovem a retenção de águas pluviais. Neste contexto, também dependerá das características da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração, (Bianchini; Hewage, 2012), de acordo com os parâmetros utilizados no programa LID TTT.</p>	<p>Um estudo de Trowsdale e Simcock (2011) relatou que cerca de 14 a 100% do influxo de uma área urbana foi drenado através de um sistema de telhado verde, com a menor porcentagem referente a grandes eventos de chuva e vice-versa, em uma bacia industrial leve na Nova Zelândia. Dessa forma, os telhados verdes atrasam uma fração da chuva antes que ela atinja os sistemas de drenagem pluvial. Berndtsson (2010) sugeriu que em áreas urbanizadas altamente desenvolvidas, o LID só pode ser eficaz no tratamento de pequenas tempestades. Em adição, os telhados verdes atrasam uma fração da chuva antes que ela atinja os sistemas de drenagem pluvial, enquanto os jardins de chuva tratam a água que escorre da superfície da terra.</p>	<p>Nova Zelândia </p>	<p>✓ Corrobora com a pesquisa.</p>
	<p>No caso da SUB-BACIA 10 do Arroio Dilúvio, a microbacia 10.3 foi aplicada com as técnicas de pavimento permeável e sistemas de biorretenção trazendo um desempenho de controle de escoamento pluvial expressivo para parâmetros de chuva de 15mm (72,78%) e 25mm (60,32%).</p>	<p>Tirpak <i>et al.</i> (2021) apontaram que os efeitos combinados da célula de biorretenção e do pavimento permeável levaram a uma mitigação significativa do escoamento do estacionamento, reduzindo as profundidades de escoamento e as taxas de fluxo de água.</p>	<p>EUA </p>	<p>✓ Corrobora com a pesquisa.</p>

<p>As práticas LID foram reduzidas nos cenários de pré e pós-desenvolvimento da SUB-BACIA 10 do Arroio Dilúvio com máxima de 72,78% com chuvas de 15mm/24hrs e mínima de 26,57%, com chuvas de 100mm no período de 24hrs.</p>	<p>Ahiablame <i>et al.</i> (2016) apontou que diferentes níveis de implementação de práticas de LID reduziram o escoamento ao estudar a bacia hidrográfica em até 47%.</p>	<p>EUA </p>	<p>✓ Corroborar com a pesquisa.</p>
<p>No cenário de desempenho da SUB-BACIA 10, foi possível afirmar que os resultados mostraram que a implementação de técnicas LID tem um impacto evidente nos picos de escoamento pluvial da sub-bacia. Os eventos de tempestade mais curtos de 15mm e 25mm conseguiram alcançar a meta esperada pelo programa LID TTT. Além do mais, no período de retorno de 10 anos, estipulado de acordo com o PDDU Porto Alegre (2014), demonstrou que as reduções de escoamento pluvial corresponderam a valores maiores de 7 a 15%, assim como sugerido por Lee <i>et al.</i> (2012). O valor atingido nas chuvas de 100mm foram de 26,57%, porém é importante ressaltar que se trata apenas de uma sub-bacia dentre as 26 sub-bacias do Arroio Dilúvio. Para valores mais bem elaborados e mais eficientes, seria necessário o geoprocessamento das sub-bacias subsequentes para uma melhor análise da bacia hidrográfica do Dilúvio.</p>  <p>Cenário de Pós desenvolvimento da SUB-BACIA 10, elaborado no software LID TTT.</p>	<p>Jemberie e Melesse (2021) analisaram os impactos da urbanização e das mudanças climáticas na magnitude dos alagamentos gerados, usando o modelo hidrológico urbano de SWMM e a técnica de otimização do uso sustentável do solo LID, e apontaram que as técnicas LID combinadas têm um impacto significativo na redução dos alagamentos urbanos de até 75%.</p>	<p>Etiópia </p>	<p>✓ Corroborar com a pesquisa.</p>
<p>Nas Técnicas referentes à Pavimentação Permeável na sub-bacia 10, foi possível avaliar que nas chuvas de 15mm (62,44%) e 25mm (61,27%) foram reduzidos o controle de escoamento pluvial de forma significativa. Além disso, nas chuvas de 50mm (59,74%) e 100mm (58,24%) teve uma diminuição do controle de volume de escoamento, porém conseguiram valores significativos na aplicação da técnica.</p>	<p>Samouei e Özger (2021) investigaram a resposta hidrológica da bacia após a substituição de proporções de superfícies impermeáveis por combinações de práticas de LID nas urbanizações, e os resultados mostraram que a implementação de 5-20% de LIDs tem um impacto notável no fluxo de pico de escoamento e redução de volume pluvial, especialmente em eventos de tempestade com períodos de retorno mais curtos.</p>	<p>Turquia </p>	<p>✓ Corroborar com a pesquisa.</p>
	<p>Lee <i>et al.</i> (2012) investigou o uso de instalações LID em um distrito de demonstração em AsanTangjung New Town localizado na Coreia do Sul, e descobriu que essas instalações podem reduzir as descargas de pico de inundação no período de retorno de 50 a 100 anos. A redução da descarga de pico de inundação por cada período de retorno de tempestades foi estimada em cerca de 7 a 15% em uma escala de captação mais ampla.</p>	<p>Coreia do Sul </p>	<p>✓ Corroborar com a pesquisa.</p>
	<p>Fileni <i>et al.</i> (2019), cita que usando técnicas de pavimentação permeável e bacia de águas pluviais mostrou que mais de 40% do volume de alagamentos poderia ser reduzido com a aplicação de LID.</p>	<p>Brasil </p>	<p>✓ Corroborar com a pesquisa.</p>

**Quadro 29. Análise das contribuições dos autores referenciados e a pesquisa de dissertação.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Apesar das técnicas LIDs serem relativamente pouco empregadas no Brasil, pode-se afirmar que os Sistemas de Técnica de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) apresentam diversos sistemas implantados ao redor do mundo conforme citados (por exemplo, Ahiablame *et al.*, 2016; Berndtsson, 2010; Chen *et al.*, 2011; Chua *et al.*, 2012; Fileni *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2012; Jemberie; Melesse, 2021; Li *et al.*, 2019; Liang *et al.*, 2020; Qin *et al.*, 2013; Samouei; Özger, 2021; Tirpak *et al.*, 2021; Trowsdale; Simcock, 2011; Vijayaraghavan *et al.*, 2012), e em pleno funcionamento, desempenhando uma boa alternativa sustentável para melhorar a drenagem urbana, sendo eficazes quanto à redução dos picos de vazão criados antropicamente, resultantes da intervenção urbana, além de reduzir outros problemas ambientais (alagamentos urbanos e erosões).

Ainda que os estudos de pesquisadores brasileiros sejam pouco vastos nesta área, os LIDS vêm sendo estudados em diversos países, como na região de Cingapura, China, Nova Zelândia, Suécia, Estados Unidos, Etiópia, Turquia e Coréia do Sul conforme apresentado. A abordagem de aplicações LIDs em países diferentes auxilia na lacuna representada pela necessidade de melhorias e aplicações no desenvolvimento sustentável e aplicações de tecnologias sustentáveis nas cidades sul-brasileiras.

Conclui-se, portanto que esta pesquisa buscou contribuir no sentido de aplicar as técnicas LID, propondo uma evolução para os sistemas de drenagem, não vindo a finalizar os sistemas convencionais de drenagem urbana e sim, trabalhar em paralelo com os sistemas existentes, melhorando e complementando a drenagem urbana das municipalidades sul-brasileiras. A principal expectativa foi colaborar para a construção e refinamento de aplicações extensivas relacionadas ao gerenciamento de águas pluviais em arroios urbanos que possam ser utilizados para restaurar e manter o equilíbrio hidrológico e sustentável nas grandes cidades. Por isso, além de melhorar a qualidade de vida da região envolvida, as técnicas LID operacionalizadas do método por meio das ferramentas QGIS e LID TTT representam uma importante contribuição para os projetos de planejamento urbano e renovam a busca por ambientes mais sustentáveis.

Após a apresentação dos resultados de todas as Etapas da pesquisa (Etapa A - Compreensão; Etapa B e C – Desenvolvimento e Etapa D – Avaliação do método proposto), as referidas etapas serão apresentadas de forma detalhada com relação às conclusões e as recomendações para os trabalhos futuros, conforme apresentado na sequência.

## 8.0 CONCLUSÕES

A presente pesquisa foi norteada pelo objetivo principal de apresentar “uma metodologia proposta de avaliação de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle de alagamentos urbanos adaptáveis à escala de municipalidades sul-brasileiras”, destacando quatro etapas.

Na Etapa A, foi delimitado e compreendido o tema de pesquisa. Através de revisão sistemática da literatura, a etapa de síntese teve como objetivo analisar a partir do framework conceitual realizado o contexto geral e as formas de gerenciamento da drenagem urbana das cidades além de conceitos importantes da fundamentação teórica relacionada à evolução da gestão das águas urbanas, os efeitos da urbanização nas cidades (alagamentos urbanos), as medidas de controle dos alagamentos e as Técnicas *Low Impact Development* (LID), abordando as questões relacionadas aos benefícios e desvantagens das técnicas de baixo impacto no controle dos alagamentos.

A Etapa B teve por objetivo realizar um levantamento documental e seleção dos dispositivos de Desenvolvimento de Baixo Impacto para desenvolver uma análise comparativa das técnicas LID com vista da identificação das propostas de solução para alagamentos urbanos da cidade de Porto Alegre, a partir da análise de mapeamento do desempenho das técnicas LID foram identificadas técnicas que foram aplicadas nos projetos de drenagem urbana de acordo com os autores referenciados.

Entre as aplicações sustentáveis de desenvolvimento de baixo impacto (LID) que foram reconhecidas estão: Telhados Verdes (Bianchini; Hewage, 2012; Carter; Butler, 2008; Chen *et al.*, 2011; Rowe, 2011; Trinh; Chui, 2013; Trowsdale; Simcok, 2011; Vijayaraghavan *et al.*, 2012); Pavimentação Permeável (Fileni *et al.*, 2019; Nemirovsky, 2011; Qin *et al.*, 2013; Samouei; Özger, 2021; Schueler, 1987; Silveira, 2002a); Sistemas de Biorretenção (Berndtsson, 2010; Li *et al.*, 2019; Tirpak *et al.*, 2021); Áreas Verdes e Paisagem (Ferguson, 1991-1992; Marostica *et al.*, 2022; Poole; Berman, 2001;); Jardins de Chuva (Berndtsson, 2010; Jemberie; Melesse, 2021); Faixas de grama / Tiras de Filtro Vegetal (Silveira, 2002a) e; Trincheiras de Infiltração (Kobayashi *et al.*, 2008; Marostica *et al.*, 2022). Esta fase foi guiada por uma justificativa para garantir melhores variáveis de aplicação sustentável com técnicas LID para os alagamentos urbanos em municipalidades sul-brasileiras. Isso

foi facilitado por uma ampla pesquisa de estudos com autores nacionais e internacionais demonstrando diferentes técnicas e soluções para áreas urbanizadas já consolidadas, além de informações sobre a utilização destas técnicas no planejamento e drenagem urbana das cidades.

Ainda na Etapa B desta pesquisa, com o objetivo de alcançar melhorias de acordo com as técnicas LID mapeadas nesta etapa, foi realizada uma pesquisa de questionário com técnicos de municipalidades sul-brasileiras nos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Ainda, cabe considerar nos resultados avaliados que foi possível observar que ocorre pouca demanda projetual com relação aos projetos de drenagem urbana nas municipalidades participantes. Além disso, a pesquisa demonstrou que os projetos de microdrenagem e macrodrenagem ainda são pouco eficazes nas cidades. Por outro lado, destaca-se que o nível dos participantes foi bastante instruído e assim, contribui quanto à percepção positiva das técnicas LID, destacando-se as técnicas de sistemas de biovaletas, áreas verdes e paisagens, reservatórios de detenção ou retenção, trincheiras de infiltração e jardins de chuva. Em contrapartida, ocorreu uma percepção mais negativa dos técnicos com os sistemas convencionais como os de canalização e as técnicas de boca-de-lobo, que, em termos de atratividade da técnica, discordam parcialmente do seu uso no desenvolvimento sustentável das cidades.

Buscando ainda avaliar como a aplicação das técnicas LID podem colaborar com as municipalidades participantes foi demonstrado pelos respondentes que os principais motivos com (69%) faltam leis e normas na área sustentável para a análise de projetos urbanos e também com a mesma porcentagem, o item da carência na área de sustentabilidade com relação a manuais e livros com aplicações urbanas sustentáveis. Assim é possível concluir que a carência de leis e normas sustentáveis indica uma falha de desenvolvimento e implementação na gestão pública das cidades, não existindo uma base regulamentar específica sobre técnicas sustentáveis de drenagem pluvial. Além disso, um maior acervo de manuais e livros de aplicação de forma sustentável nas cidades, que fossem elaboradas por meio da área acadêmica, e assim, disponível para os técnicos municipais, auxiliaria no melhor desenvolvimento de projetos urbanos nas cidades sul-brasileiras.

Na Etapa C, o objetivo foi analisar o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2014), e o estudo documental das bacias hidrográficas do Arroio Dilúvio de referência. A partir dessa análise foram estabelecidos critérios de análise

comparativa referentes às sub-bacias sujeitas às inundações e avaliação dos impactos existentes interrelacionados a drenagem urbana e urbanizações consolidadas da área, assim, a sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio apresentou mais locais de alagamentos e área urbanizada consolidada nos cenários atuais e futuros. Após a escolha da sub-bacia, área de estudo foi analisada nos Programa de Modelagem Hídrica *Software LID TTT* e no *Software* de Geoprocessamento *QGIS* 3.16.9. Em seguida, foi realizada a análise dos dados e a elaboração do ‘processo’ e do ‘produto’ por meio da metodologia proposta apresentada para a construção de um método de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no contexto dos alagamentos urbanos, bem como evidenciar os pontos convergentes e divergentes da proposta final.

Por fim, na Etapa D, o grupo focal confirmatório realizado com os técnicos municipais das municipalidades sul-brasileiras (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) envolvidos no processo de gestão e planejamento sustentável dos planos de drenagem urbana, teve por objetivo avaliar as alternativas de baixo impacto encontradas para o controle dos alagamentos urbanos em Porto Alegre com o estudo de caso da sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio. Nesta Etapa, foi realizada uma reunião por videoconferência, e assim, aplicada a entrevista em que foi avaliada e validada a partir da “utilidade do método”, “utilização de programas de geoprocessamento”, “processo de aplicação do método na prática” e “percepção de facilidade no entendimento dos resultados para a transmissão de conhecimento”, tendo como base a percepção de técnicos públicos. De modo geral, foi possível obter um retorno positivo desses atores, o que permite inferir que o método desenvolvido na dissertação atendeu os propósitos de utilidade do método e dos resultados e que podem ser usados para tomada de decisão em aplicações sustentáveis, além da facilidade de uso do método por serem programas gratuitos e de livre acesso.

De acordo com os técnicos participantes, a operacionalização do método por meio das ferramentas *QGIS* e *LID TTT* representa uma importante contribuição para os projetos sustentáveis nas cidades. Durante o debate realizado, os participantes manifestaram interesse no uso das ferramentas apresentadas, porém para a utilização destas ferramentas junto aos órgãos públicos municipais, seria necessária uma maior aproximação entre o meio acadêmico e o de órgãos públicos, para que esses dispositivos apresentados possam contribuir de forma significativa para a



transmissão dos resultados apresentados nas municipalidades. Além disso, é preciso estruturar e preparar os mecanismos entre as gestões públicas através dos conhecimentos de práticas e projetos de gestão das cidades sustentáveis para um maior conhecimento técnico e embasamento teórico relacionado à área sustentável.

O Quadro 30 apresenta de forma mais ampla os principais resultados alcançados desta pesquisa a partir dos objetivos que a nortearam:

Objetivo Principal	Objetivos Secundários	Resultados Gerais
<p>Apresentar uma metodologia de avaliação de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos para melhorias no desenvolvimento da drenagem no contexto das municipalidades sul brasileiras.</p>	<p>Analisar e aplicar as ferramentas de modelagem LID no cenário dos alagamentos urbanos, em termos de processo de desenvolvimento e de produto (documento final) apresentado;</p>	<p>Identificação da sub-bacia que possui alagamentos urbanos atuais e futuros segundo o PDDU POA (2014), e assim, realizar a aplicação das técnicas LIDs;</p> <p>Estruturação de aplicação e desempenho das técnicas LIDs combinadas com relatórios de como as técnicas trabalham nos parâmetros de chuvas de 15mm, 25mm, 50mm e 100mm no controle dos alagamentos;</p> <p>Preparação da avaliação e conceituação pelos técnicos municipais sul-brasileiros com a proposição do método para apresentação dos resultados e oportunidades de melhorias para as cidades com relação aos alagamentos urbanos e sustentabilidade ambiental.</p>
	<p>Investigar abordagens que possibilitem auxiliar os técnicos municipais envolvidos no processo de gestão e planejamento sustentável dos planos de drenagem urbana através da aplicação e implementação de técnicas LID.</p>	<p>A Pesquisa de questionário e o Grupo focal confirmatório, ambos com os técnicos das municipalidades sul brasileiras, possibilitaram a inserção da percepção dos técnicos dos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul no desenvolvimento da dissertação e na elaboração e refinamento das técnicas sustentáveis para o controle dos alagamentos urbanos nas cidades.</p>

**Quadro 30. Resultados Gerais da Pesquisa.**

Fonte: Elaboração Própria Autora (2023).

Por fim, para melhor contribuir para o aprofundamento desta pesquisa, especificamente de apresentar uma metodologia de aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos para a realidade do município de Porto Alegre e possivelmente, para outros municípios e estados do Brasil, são apresentadas na sequência as recomendações para trabalhos futuros.

## 9.0 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da realização desta pesquisa, apresentam-se as recomendações para futuros trabalhos relacionadas a aplicações extensivas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos:

- (a) Propor formas de inserção do método de avaliação desenvolvido nas municipalidades sul-brasileiras através da criação e desenvolvimento de manuais e livros através da área acadêmica com aplicações urbanas sustentáveis para melhor implementação e conscientização das técnicas LID pelo poder público e os municípios;
- (b) Aplicar o método desenvolvido nesta dissertação em outras sub-bacias do Arroio Dilúvio, além disso, aplicar em outros municípios e estados brasileiros, visando o potencial sustentável das técnicas apresentadas e que assim, possam utilizar em outros contextos e realidades urbanas.
- (c) Estudar de forma mais aprofundada as técnicas LID e como refinar todo o método apresentado a partir de sua reaplicação em outras sub-bacias hidrográficas e outras cidades sul brasileiras e;
- (d) Explorar as ferramentas gratuitas disponíveis para aplicações de técnicas sustentáveis para a operacionalização do método e difusão de informações e dados entre as instituições envolvidas e o meio acadêmico, visando à propagação de conhecimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, M. J., VAN DOREN, C. **How to read a book**. Nova Iorque, NY, USA, Simon & Schuster, 1972.

AHIABLAME, L. M., ENGEL, B. A., CHAUBEY, I. "Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement", **Journal of Environmental Management**, v. 119, p. 151–161, 2013. DOI: [10.1016/j.jenvman.2013.01.019](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.019).

AHIABLAME, L., SHAKYA, R. "Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale", **Journal of Environmental Management**, v. 171, p. 81–91, 2016. DOI: [10.1016/j.jenvman.2016.01.036](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036).

ANDO, A. W., FREITAS, L. P. C. "Consumer demand for green stormwater management technology in an urban setting: The case of Chicago rain barrels: HOUSEHOLD DEMAND FOR STORMWATER MANAGEMENT TECHNOLOGY", **Water Resources Research**, n. 12, 2011. DOI: [10.1029/2011wr011070](https://doi.org/10.1029/2011wr011070).

ASLA, American Society of Landscape Architects. Project: Bishan, Singapore. **Asla Professional Awards**, 2016. Disponível em: <https://www.asla.org/2016awards/169669.html> Acesso em: 21 set. 2022.

ASKARIZADEH, A., RIPPY, M. A., FLETCHER, T. D., *et al.* "From rain tanks to catchments: Use of low-impact development to address hydrologic symptoms of the urban stream syndrome", **Environmental science & technology**, v. 49, n. 19, p. 11264–11280, 2015. DOI: [10.1021/acs.est.5b01635](https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01635).

AUGER, STEVE. LAKE SIMCOE REGION CONSERVATION AUTHORITY. Sustainable Technologies Evaluation Program - Member of Conservation Ontario. **LSRCA Board of Directors**, 2017. Disponível em: <https://sustainabletechnologies.ca/> Acesso em: 15 set. 2022.

BABAEI, S., GHAZAVI, R., ERFANIAN, M. "Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach", **Physics and chemistry of the earth (2002)**, v. 105, p. 3–11, 2018. DOI: [10.1016/j.pce.2018.02.002](https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.02.002).

BARBARO, G., MIGUEZ, M., DE SOUSA, M., *et al.* "Innovations in best practices: Approaches to managing urban areas and reducing flood risk in Reggio Calabria (Italy)", **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3463, 2021. DOI: [10.3390/su13063463](https://doi.org/10.3390/su13063463).

BARNETT-PAGE, E., THOMAS, J. "Methods for the synthesis of qualitative research: a critical review", **BMC Medical Research Methodology**, v. 59, n. 9, p. 1–11, 2009.

BASDEKI, A., KATSIFARAKIS, L., KATSIFARAKIS, K. L. "Rain gardens as integral parts of urban sewage systems-a case study in Thessaloniki, Greece", **Procedia engineering**, v. 162, p. 426–432, 2016. DOI: [10.1016/j.proeng.2016.11.084](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.084).

BERNDTSSON, J. C. "Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review", **Ecological Engineering**, v. 36, n. 4, p. 351–360, 2010. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2009.12.014](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014).

BIANCHINI, F., HEWAGE, K. "How "green" are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials", **Building and environment**, v. 48, p. 57–65, 2012. DOI: [10.1016/j.buildenv.2011.08.019](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.019).

BONI, V., QUARESMA, S. J. "Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais", **Em Tese. Florianópolis**, p. 68–80, 2005.

BOOTH, D. B. "Challenges and prospects for restoring urban streams: a perspective from the Pacific Northwest of North America: BRIDGES is a recurring feature of J-NABS intended to provide a forum for the interchange of ideas and information between basic and applied researchers in benthic science. Editors Nick Aumen and Marty Gurtz", **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 3, p. 724–737, 2005. DOI: [10.1899/04-025.1](https://doi.org/10.1899/04-025.1).

BOOTH, D. B. "Stream-channel incision following drainage-basin urbanization", **Journal of the American Water Resources Association**, v. 26, n. 3, p. 407–417, 1990. DOI: [10.1111/j.1752-1688.1990.tb01380.x](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1990.tb01380.x).

BOOTH, Derek B., JACKSON, C. R. "Urbanization of aquatic systems: Degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation", **Journal of the American Water Resources Association**, v. 33, n. 5, p. 1077–1090, 1997. DOI: [10.1111/j.1752-1688.1997.tb04126.x](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1997.tb04126.x).

BOTELHO, R. G. M. "Solos Urbanos". In. GUERRA. Antônio José Teixeira (org.) **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, pp. 71-115, 2011.

BRANDÃO, A. M., "Clima Urbano e Enchentes na Cidade do Rio de Janeiro". GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (org.) **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**, Bertrand Brasil, [s.n.], 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. "Manual para Apresentação de propostas para sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais". Gestão de Riscos e Resposta a Desastres. **Sistemática - Programa 2040, gestão de riscos e resposta a desastres**, 2012, Brasília, DF.

BROWN, R. A., SKAGGS, R. W., HUNT, W. F., III. "Calibration and validation of DRAINMOD to model bioretention hydrology", **Journal of hydrology**, v. 486, p. 430–442, 2013. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2013.02.017](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.017).

BUCKERIDGE, M. S., PHILIPPI JUNIOR, A. "Ciência e políticas públicas nas cidades: revelações da pandemia da Covid-19", **Estudos Avançados**, v. 34, n. 99, p. 141–156, 2020. DOI: [10.1590/s0103-4014.2020.3499.009](https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3499.009).

BURNS, M. J., FLETCHER, T. D., WALSH, C. J., *et al.* "Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform", **Landscape and urban planning**, v. 105, n. 3, p. 230–240, 2012. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2011.12.012](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.012).

BURTON, G. A., MCELMURRY, S. P., RISENG, C. **Mitigating Aquatic Stressors of Urban Ecosystems through Green Stormwater Infrastructure (NEW-GI White Paper)**. Ann Arbor, MI, [s.n.], 2018.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo, Oficina de Textos, 2005.

CARAMORI, V. Planejamento dos sistemas de drenagem urbana: redes de drenagem (tradicional), **Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Alagoas**. 2012. Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/353596/>. Acesso em: 1 mai 2022.

CARTER, T., BUTLER, C. "Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas", **Cities and the environment**, v. 1, n. 2, p. 1–17, 2008. DOI: [10.15365/cate.1292008](https://doi.org/10.15365/cate.1292008).

CERQUEIRA, L. F. F., SILVA, L. P. da. "Methodological proposal for redesigning informal communities - constructing resilience in hydrological stress conditions", **Ambiente & sociedade**, v. 19, n. 1, p. 43–62, 2016. DOI: [10.1590/1809-4422asoc150123r1v1912016](https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc150123r1v1912016).

CEZAR, L.D. Orientação por Mapa e Bússola. 2ª Edição. Associação Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.4shared.com/document/o83WrNcS/Apostila\\_de\\_Orientao\\_2ed.html](https://www.4shared.com/document/o83WrNcS/Apostila_de_Orientao_2ed.html) Acesso em: 28 nov. 2021.

CHAFFIN, B. C., GUNDERSON, A. H. "Emergence, institutionalization and renewal: rhythms of adaptive governance in complex social-ecological systems", **Journal of Environment Management**, v. 165, p. 81–87, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-13251-270230>

CHANDANA, D., GIACOMONI, M. H., PRAKASH, K. C., *et al.* "Simulation of Combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Stormwater Management", **J. Am. Water Resour. Assoc**, v. 46, p. 907–918, 2010. DOI: [10.1111/j.1752-1688.2010.00462.x](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00462.x).

CHANG, N.-B., LU, J.-W., CHUI, T. F. M., *et al.* "Global policy analysis of low impact development for stormwater management in urban regions", **Land use policy**, v. 70, p. 368–383, 2018. DOI: [10.1016/j.landusepol.2017.11.024](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.024).

CHEN, Y., JIA, H., LU, Y., *et al.* "Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. **Separation and Purification Technology**, v. 84, p. 112–119, 2012.

CHIN, D. A. "Designing Bioretention Areas for Stormwater Management", **Environmental processes**, v. 4, n. 1, p. 1–13, 2017. DOI: [10.1007/s40710-016-0200-0](https://doi.org/10.1007/s40710-016-0200-0).

CHOCAT, B., KREBS, P., MARSALEK, J., *et al.* "Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management", **Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research**, v. 43, n. 5, p. 61–68, 2001. DOI: [10.2166/wst.2001.0251](https://doi.org/10.2166/wst.2001.0251).

CHUA, L.H.C., TAN, S.B.K., SIM, C.H., GOYAL, M.K. "Treatment of base flow from an urban catchment by a floating wetland system". **Ecol. Eng.** 49, 170–180, 2012. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2012.08.031](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.031).

COFFMAN, L. "Low-impact development: An alternative stormwater management technology". **Handbook of Water Sensitive Planning and Design**. CRC Press, 2002.

COHEN, B. "Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability", **Technology in society**, v. 28, n. 1–2, p. 63–80, 2006. DOI: [10.1016/j.techsoc.2005.10.005](https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.005).

COMASTRI, J. A., GRIPP, J. **Topografia Aplicada - medição, divisão e demarcação**. Viçosa, Editora UFV, [s.n.], 1998.

COUTTS, A. M., TAPPER, N. J., BERINGER, J., *et al.* "Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context", **Progress in physical geography**, v. 37, n. 1, p. 2–28, 2013. DOI: [10.1177/0309133312461032](https://doi.org/10.1177/0309133312461032).

CVC, CREDIT VALLEY CONSERVATION. Conservation Ontario. **Low Impact Development**, 2022. Disponível em: <https://cvc.ca/> Acesso em: 24 fev. 2022.

CRUZ, M. A. S., TUCCI, C. E. M. "Avaliação de cenários de planejamento na drenagem urbana", **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 59–71, 2008.

CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. (orgs.), Bertrand Brasil, 2011.

DAVIES, P. J., IVES, C. D., FINDLAY, S. J., *et al.* "Urban rivers and riparian systems - direction and recommendations for legislators, policy makers, developers and community users", **Environmental Planning and Law Journal**, v. 28, p. 313–331, 2011.

DAVIS, M. D., THRELFALL, J. "Integrated Water Resource Management in New Zealand: legislative Framework and Implementation: IWRM in New Zealand: legislative Framework and Implementation", **J. Contemp. Water Res. Edu**, v. 135, p. 86–99, 2009. DOI: [10.1111/j.1936-704X.2006.mp135001011.x](https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2006.mp135001011.x).

DEBUS, M. **Manual para excelência em la investigación mediante grupos focales**. Pennsylvania: University of Pennsylvania/ Applied Communications Technology. Org., Needham Porter Novelli, 1988.

DIAS, G. F. **Educação ambiental: princípios e práticas**. São Paulo: Gaia, 1992.

DINIC-BRANKOVIC, M., MITKOVIC, P., BOGDANOVIC-PROTIC, I., *et al.*, "Bioswales as element of Green infraestructure - foreign practice and possibilities of use in the district of the city of Nis, Serbia". **ICUP2018 2nd International Conference on Urban Planning. Proceedings Serbia**, Nis, November 14-17, 2018. ISBN 978-86-88601-36-8.

DRESCH, A., LACERDA, D. P., ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre, Bookman, 2015.

DWYER, J. F., CHILDS, G. M. "Movement of people across the landscape: a blurring of distinctions between areas, interests, and issues affecting natural resource management", **Landscape and Urban Planning**, v. 69, n. 2–3, p. 153–164, 2004. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2003.09.004](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.09.004).

ECKART, K., MCPHEE, Z., BOLISSETTI, T. "Performance and implementation of low impact development - A review. The Science of the Total Environment", p. 413–432, 2017. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.06.254](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254).

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de levantamento e conservação de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

ERIC, M., FAN, C., JOKSIMOVIC, D., *et al.* "Modeling low impact development potential with hydrological response units", **Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research**, v. 68, n. 11, p. 2382–2390, 2013. DOI: [10.2166/wst.2013.502](https://doi.org/10.2166/wst.2013.502).

FACHIN, O. **Fundamentos de Metodologia**. 5ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

FERGUSON, B. K. "Landscape hydrology, A component of landscape ecology", **Journal of environmental systems**, v. 21, n. 3, p. 193–205, 1991. DOI: [10.2190/8hle-91g9-lp0r-xhyg](https://doi.org/10.2190/8hle-91g9-lp0r-xhyg).

FILENI, F. de M., COSTA, M. E. L., ALVES, C. de M. A. "The application of LIDs in Savanna region for mitigation of flooded areas", **RBRH**, v. 24, 2019. DOI: [10.1590/2318-0331.241920180177](https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180177).

FLETCHER, T.D., ANDRIEU, H., HAMEL, P. "Understanding, management and modeling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: a state of the art". **Adv. Water Resour.** 51, 261–279, 2013.

FLETCHER, T. D., CHERQUI, F., GRANGER, D., *et al.*, "Indicators related to BMP performances: operational monitoring propositions". **Novatech - 8ème Conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie / 8th International Conference on planning and technologies for sustainable management of Water in the City**, Lyon, France, 2013.

FLETCHER, T. D., VIETZ, G. J., WALSH, C. J. "Protection of stream ecosystems from urban stormwater runoff; the multiple benefits of an ecohydrological approach", **Progress in Physical Geography**, v. 38, n. 5, p. 543–555, 2014.

FLICK, U. **Introdução à Pesquisa Qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GALLO, C., MOORE, A., WYWROT, J. "Comparing the adaptability of infiltration based BMPs to various U.S. regions", **Landscape and urban planning**, v. 106, n. 4, p. 326–335, 2012b. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2012.04.004](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.04.004).

GAUR, A., GAUR, A., SIMONOVIC, S. "Future changes in flood hazards across Canada under a changing climate", **Water**, v. 10, n. 10, p. 1441, 2018. DOI: [10.3390/w10101441](https://doi.org/10.3390/w10101441).

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, SP: Atlas, 2007.

GOTTMAN, J. A., "A urbanização e a paisagem americana: o conceito de megalópole". In: COHEN, S. B. (Org.), **Geografia humana nos Estados Unidos. Rio de Janeiro: Fórum**, Org., Estante de Ciências Sociais, 1970.

GUPTA, K., KUMAR, P., PATHAN, S. K., *et al.* "Urban Neighborhood Green Index – A measure of green spaces in urban areas", **Landscape and urban planning**, v. 105, n. 3, p. 325–335, 2012. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2012.01.003](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.003).

GURNELL, A. M., LEE, A., SOUCH, C. "Urban rivers: Hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change", **Geography Compass**, v. 1, n. 5, p. 1118–1137, 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Manual Técnico de uso da terra**, Rio De Janeiro, Brazil, 58p, 1999.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio De Janeiro, 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Censo Brasileiro**, 2021. Porto Alegre, 2022.

JABER, F.; WOODSON, D.; LACHANCE, C.H.; YORK, C.H. **Stormwater Management: Rain Gardens**, The Texas A&M AgriLife Extension, 2012. Disponível em: <https://agrilifelearn.tamu.edu/s/product/stormwater-management-rain-gardens/01t4x000004OfXzAAK> Acesso: 28 jan 2022.



JEMBERIE, M. A., MELESSE, A. M. "Urban flood management through urban land use optimization using LID techniques, city of Addis Ababa, Ethiopia", **Water**, v. 13, n. 13, p. 1721, 2021. DOI: [10.3390/w13131721](https://doi.org/10.3390/w13131721).

KANG, N., KIM, S., KIM, Y., NOH, H., HONG, S., KIM, H. "Urban drainage system improvement for climate change adaptation". **Water**, 8(7), 268, 2016. DOI: [10.3390/w8070268](https://doi.org/10.3390/w8070268)

KARAMOUZ, M., NAZIF, S. "Reliability-based flood management in urban watersheds considering climate change impacts", **Journal of water resources planning and management**, v. 139, n. 5, p. 520–533, 2013. DOI: [10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000345](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000345).

KARVONEN, A. **Politics of urban runoff: Nature, technology and the sustainable city**. The Mit Press, Cambridge, 2011.

KILESHYE ONEMA, J.-M., CHIBARABADA, T. P., KUJINGA, K., *et al.* "How capacity development led to the establishment of a tri-basin agreement in the Southern African Development Community", **Environmental science & policy**, v. 108, p. 14–18, 2020. DOI: [10.1016/j.envsci.2020.03.009](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.03.009).

KIND, L. "Notas para o trabalho com a técnica de grupos focais", **Psicologia em Revista**, v. 10, p. 124–136, 2004.

KOBAYASHI, F. Y., FAGGION, F. H. M., BOSCO, L. M., *et al.*, "Drenagem Urbana Sustentável". **PHD 2537 - Água em Ambientes Urbanos. Escola Politécnica de, São Paulo**, 2008.

KOURTIS, I. M., TSIHRINTZIS, V. A., BALTAS, E. A. "Modelling of a combined sewer system and evaluation of mitigation measures using SWMM", **Eur. Water**, v. 57, p. 123–128, 2017.

KOURTIS, Ioannis M., TSIHRINTZIS, V. A., BALTAS, E. "Simulation of low impact development (LID) practices and comparison with conventional drainage solutions". 2018. **Anais [...]** Basel Switzerland, MDPI, 2018. Proceedings 2, 640, <https://doi.org/10.3390/proceedings2110640>.

KOURTIS, Ioannis M., TSIHRINTZIS, V. A., BALTAS, E. "A robust approach for comparing conventional and sustainable flood mitigation measures in urban basins", **Journal of environmental management**, v. 269, n. 110822, p. 110822, 2020. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110822](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110822).

KUGLEY, S., WADE, A., THOMAS, J., *et al.* "Searching for studies: a guide to information retrieval for Campbell systematic reviews", **Campbell systematic reviews**, v. 13, n. 1, p. 1–73, 2017. DOI: [10.4073/cmj.2016.1](https://doi.org/10.4073/cmj.2016.1).

LAUKLI, K., GAMBORG, M., KNAPP, T.,VIKE, E. "Soil and plant selection for rain gardens along streets and roads in cold climates : Simulated cyclic flooding and real-scale studies of Five herbaceous perennial species", **Urban For Urban Green**, v. 68, 2022.

LEE, J.M.; HYUN, K.H.; CHOI, J.S.; YOON, Y.J.; GERONIMO, F.K.F. "Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5". ***Desalination Water Treat.*** 38, 255–261, 2012.

LI, Q., WANG, F., YU, Y., HUANG, Z., LI, M., GUAN, Y. "Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: a case study in Guangxi, China". ***J. Environ. Manage.*** 231, 10–20, 2019. DOI:[10.1016/j.jenvman.2018.10.024](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.024).

LIANG, C., ZHANG, X., XIA, J., XU, J., SHE, D. "The effect of sponge city construction for reducing directly connected impervious areas on hydrological responses at the urban catchment scale". ***Water***, 12(4), 1163, 2020. DOI:[10.3390/w12041163](https://doi.org/10.3390/w12041163).

LIMA, M. R. de. **Principais Classes de Solos do Brasil**. (2007). Engenheiro Agrônomo. Doutor em Agronomia. Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná. Rua dos Funcionários, 1540, Cabral, Curitiba, PR. Disponível em: [http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/solos\\_brasil.pdf](http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/solos_brasil.pdf) Acesso em: 03 nov 2022.

LIPTAN, T., MURASE, R. K. **Watergardens as stormwater infrastructure in Portland, Oregon**. Boca Raton, FL, Lewis Publishers, 2002.

LISENBEE, W. A., HATHAWAY, J. M., BURNS, M. J., *et al.* "Modeling bioretention stormwater systems: Current models and future research needs", ***Environ Model Softw***, v. 144, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105146>

LOPES, B. E. M. "Grupo focal na pesquisa em ciências sociais e humanas", ***Revista Educação e Políticas em Debate***, 2014.

LUAN, Q., FU, X., SONG, C., WANG, H., LIU, J., WANG, Y. "Runoff effect evaluation of LID through SWMM in typical mountainous, low-lying urban areas: A case study in China". ***Water***, 9(6), 439, 2017. DOI:[10.3390/w9060439](https://doi.org/10.3390/w9060439)

MAPBIOMAS, Projeto. **Coleção 7.0 MapBiomass Brasil da série anual de mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/> Acesso em: 10 set 2022.

MAROSTICA, S.D., MIRON, L. I. G. "Avaliação do Espaço Urbano através de indicadores de sustentabilidade: Aplicação em Rios Renaturalizados". In: XL ENCONTRO E XXV CONGRESSO DE ESCOLAS E FACULDADES PÚBLICAS DE ARQUITETURA DA AMÉRICA DO SUL (ARQUISUR), Porto Alegre. **Diálogos Epistemológicos na América Latina: a educação em Arquitetura e Urbanismo**. Porto Alegre: Faculdade de Arquitetura da UFRGS, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/370048987\\_Avaliacao\\_do\\_Espaco\\_Urbano\\_atraves\\_de\\_indicadores\\_de\\_sustentabilidade\\_Aplicacao\\_em\\_Rios\\_Renaturalizados](https://www.researchgate.net/publication/370048987_Avaliacao_do_Espaco_Urbano_atraves_de_indicadores_de_sustentabilidade_Aplicacao_em_Rios_Renaturalizados) Acesso em: 20 abr 2023.

MAROSTICA, S. D., YONEGURA, V. B., DOMENEGHINI, J., SILVEIRA, A. L. L., "Potencialidades do Programa LID TTT no estudo de caso de Porto Alegre, Rs Brasil. XXX Congresso Latinoamericano de Hidráulica". **Volúmen 05, Ingeniería e Infraestructuras Hidráulicas. Madri**, España, IAHR Publishing, 2022. p. 94–104.

MARTINS, H. F. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 43-79, jan./abr., 1997.

MENTENS, J., RAES, D., HERMY, M. "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?", **Landscape and Urban Planning**, v. 77, n. 3, p. 217–226, 2006. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2005.02.010](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010).

MENTZER, J. T., FLINT, D. J. "Validity in logistics research". **Journal of business Logistics**, v. 18, p. 199–217, 1997.

MICHALINA, D., MEDERLY, P., DIEFENBACHER, H., HELD, B. "Sustainable urban development: A review of urban sustainability indicator frameworks". **Sustainability**, 13(16), 9348, 2021. DOI: [10.3390/su13169348](https://doi.org/10.3390/su13169348)

MIJIN, S.; FOUAD, J.; RAGHAVAN, S.; JAEHAK, J. "Evaluating the Impact of Low Impact Development (LID) Practices on Water Quantity and Quality under Different Development Designs Using SWAT". **Water**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9030193>

MILES, M. B., HUBERMAN, A. M., SALDAÑA, J. **Qualitative Data Analysis: a methods sourcebook**. Los Angeles, Sage Publications, 2013.

MINAYO, M. C. S. **O desafio da pesquisa social**. In: MINAYO, M. C. S. (org.). Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001. p. 9-29.

MINAYO, M. C. de S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 11ª ed. São Paulo: Hucitec, 2008.

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H. "Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental". **Ciencia Rural**, 42(9), 1575–1582, 2012. DOI: [10.1590/s0103-84782012000900010](https://doi.org/10.1590/s0103-84782012000900010)

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistemática 2012. **Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais**. Programa – 2040, gestão de risco e resposta a desastres. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/Manual\\_de\\_Drenagem\\_2012.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Manual_de_Drenagem_2012.pdf) Acesso em: 30 set. 2022.

MITCHELL, K. Portland mayor-elect announces bureau changes, council duties - OregonLive. **Oregon Local News, Breaking News, Sports & Weather OregonLive**. Disponível em: [https://www.oregonlive.com/news/2008/12/portland\\_mayorelect\\_announces.html](https://www.oregonlive.com/news/2008/12/portland_mayorelect_announces.html) Acesso em: 21 set. 2022.

MORSY, M. M., GOODALL, J. L., SHATNAWI, F. M., MEADOWS, M. E. "Distributed stormwater controls for flood mitigation within urbanized watersheds: Case study of Rocky Branch watershed in Columbia, South Carolina". **Journal of hydrologic engineering**, v. 21, n. 11, p. 05016025, 2016. DOI: [10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001430](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001430).

NEMIROVSKY, E.M. (2011). "Evaporation from a pervious concrete stormwater SCM: estimating the quantity and its role in the yearly water budget". **Master's Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Villanova University**, 2011.

NERY, A. A. "Necessidade de saúde na estratégia de saúde da família, no município de Jequié-BA: em busca de uma tradução". **Tese de Doutorado – Programa de Pós Graduação em Enfermagem Materno-Infantil da Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2006, 133f.**

NRCS – Natural Resources Conservation Service. **Bioswales**, 2005. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/> Acesso em: 27 set. 2022.

PALERMO, S. A., TALARICO, V. C., TURCO, M. "On the LID systems effectiveness for urban stormwater management: case study in Southern Italy", **IOP conference series. Earth and environmental science**, v. 410, n. 1, p. 012012, 2020. DOI: [10.1088/1755-1315/410/1/012012](https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012012).

PALLA, A., COLLI, M., CANDELA, A., *et al.* "Pluvial flooding in urban areas: the role of surface drainage efficiency: The role of surface drainage on pluvial flooding", **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, p. S663–S676, 2018. DOI: [10.1111/jfr3.12246](https://doi.org/10.1111/jfr3.12246).

PALLA, Anna, GNECCO, I. "Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale", **Journal of hydrology**, v. 528, p. 361–368, 2015. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.06.050](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.050).

PARASUMAN, A. **Marketing research**. 2. ed. Addison Wesley Publishing Company, 1991.

PDDU POA, Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre. Rhama Consultoria Ambiental e Perfil Engenharia e Ambiente. Relatório Final, PDDUrb Dilúvio. **Elaboração de 3ª etapa, atualização e complementação cadastral no município de Porto Alegre**, 2014.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS., v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

POOLE, G.C., BERMAN, C.H. "An ecological perspective on in-stream temperature: natural heat dynamics and mechanisms of human-caused thermal degradation". **Environ. Manage.** 27 (6), 787–802, 2001.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Low Impact Development Design Strategies: an integrated design approach. **Maryland: Department of environmental Resource**,

1999. Disponível em: <https://www.princegeorgescountymd.gov/1478/Design-Manuals>  
Acesso em: 01 jun. 2022.

QIN, H.-P., LI, Z.-X., FU, G. "The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics", **Journal of environmental management**, v. 129, p. 577–585, 2013. DOI: [10.1016/j.jenvman.2013.08.026](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026).

REICHARDT, K. **A água em Sistemas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1986. 188p.

ROY, A. H., WENGER, S. J., FLETCHER, T. D., *et al.* "Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States", **Environmental management**, v. 42, n. 2, p. 344–359, 2008. DOI: [10.1007/s00267-008-9119-1](https://doi.org/10.1007/s00267-008-9119-1).

ROWE, D. B. "Green roofs as a means of pollution abatement", **Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)**, v. 159, n. 8–9, p. 2100–2110, 2011. DOI: [10.1016/j.envpol.2010.10.029](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029).

SAMOUEI, S., ÖZGER, M. "Evaluating the performance of low impact development practices in urban runoff mitigation through distributed and combined implementation", **Journal of hydroinformatics**, v. 22, n. 6, p. 1506–1520, 2020. DOI: [10.2166/hydro.2020.054](https://doi.org/10.2166/hydro.2020.054).

SAVE IT LANCASTER. **Your water, your money, your city**, 2022. Disponível em: <http://www.saveitlancaster.com/> Acesso em: 28 set. 2022.

SCHAEFER, V. 1951- 2004 **Urban biodiversity: exploring natural habitat and its value in cities**. Captus Press, Concord, Ontario, 2004.

SCHILLING, K. E., GASSMAN, P. W., KLING, C. L., *et al.* "The potential for agricultural land use change to reduce flood risk in a large watershed: LAND USE CHANGE AND FLOODING", **Hydrological Processes**, v. 28, p. 3314–3325, 2014. DOI: [10.1002/hyp.9865](https://doi.org/10.1002/hyp.9865).

SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs**. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.

SILVEIRA, A. L. L. Drenagem urbana: aspectos de gestão. **Apostila de curso preparado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS para Gestores Regionais de Recursos Hídricos Porto Alegre: IPH/UFRGS**, 2002a.

SILVEIRA, A. L. L. "Problems of modern urban drainage in developing countries", **Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research**, v. 45, n. 7, p. 31–40, 2002b. DOI: [10.2166/wst.2002.0114](https://doi.org/10.2166/wst.2002.0114).

SINGAPORE. **ABC Waters Design Guidelines**. Public Utilities Board ("PUB"). 2ed., 2011. Disponível em:

[https://www.pub.gov.sg/Documents/ABC\\_Waters\\_Design\\_Guidelines.pdf](https://www.pub.gov.sg/Documents/ABC_Waters_Design_Guidelines.pdf) Acesso em: 26 set. 2022.

SINGH, A., SARMA, A. K., HACK, J. "Cost-effective optimization of nature-based solutions for reducing urban floods considering limited space availability". **Environmental Processes**, 7(1), 297–319, 2020. DOI: [10.1007/s40710-019-00420-8](https://doi.org/10.1007/s40710-019-00420-8)

SONG, C. "Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives", **Nature-Based Solutions**, v. 2, n. 100010, p. 100010, 2022. DOI: [10.1016/j.nbsj.2022.100010](https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100010).

STEEL, M. (Org.). **Oxford Wordpower Dictionary: dictionary for learners of english**. Oxford, Oxford Press, 2000.

STEVAUX, J. C., LATRUBESSE, E. M., HERMANN, M. L. de P., *et al.*, "Floods in urban areas of Brazil". **Developments in Earth Surface Processes**, Elsevier, 2009. p. 245–266. DOI: [10.1016/S0928-2025\(08\)10013-X](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(08)10013-X)

STOVIN, V., VESUVIANO, G., KASMIN, H. "The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions", **Journal of hydrology**, v. 414–415, p. 148–161, 2012. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2011.10.022](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.022).

SUSTAINABLE TECHNOLOGIES: EVALUATION PROGRAM - STEP. Low Impact Development Treatment Train Tool, "**Software LID TTT**", 2018. Disponível em: <https://sustainabletechnologies.ca/lid-ttt/> Acesso em: 20 set. 2021.

TECNOSIL BR. **Soluções Especiais**, 2022. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-permeavel-o-que-e-e-quais-seus-grandes-atrativos/> Acesso em: 21 set. 2022.

THOMAS, J., HARDEN, A.; NEWMAN, M. Synthesis: combining results systematically and appropriately. In: Gough, D.; Oliver, S.; Thomas, J. (Ed.). **An introduction to systematic reviews**. London: Sage, 2012. P. 179-226.

TIRPAK, R. A., WINSTON, R. J., SIMPSON, I. M., *et al.* "Hydrologic impacts of retrofitted low impact development in a commercial parking lot", **Journal of hydrology**, v. 592, n. 125773, p. 125773, 2021. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2020.125773](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125773).

TRCA, TORONTO REGION CONSERVATION AUTHORITY. **Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide**, 2010. Disponível em: <https://trca.ca/> Acesso em: 25 mar. 2022.

TRINH, D. H., CHUI, T. F. M. "Assessing the hydrologic restoration of an urbanized area via an integrated distributed hydrological model", **Hydrology and earth system sciences**, v. 17, n. 12, p. 4789–4801, 2013. DOI: [10.5194/hess-17-4789-2013](https://doi.org/10.5194/hess-17-4789-2013).

TROWSDALE, S. A., SIMCOCK, R. "Urban stormwater treatment using bioretention", **Journal of hydrology**, v. 397, n. 3–4, p. 167–174, 2011. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2010.11.023](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.023).

TSIHRINTZIS, V. A., HAMID, R. "Modeling and management of urban stormwater runoff quality: a review", **Water Resour. Manag**, v. 11, p. 136–164, 1997. DOI: [10.1023/a:1007903817943](https://doi.org/10.1023/a:1007903817943).

TORONTO AND REGION CONSERVATION AUTHORITY (TRCA). **Low Impact Development**, 2022. Disponível em: <https://trca.ca/>. Acesso em: 25 mar. 2022.

TUCCI, C. E. M. "Hidrologia: ciência e aplicação". **Águas Urbanas**. Estudos Avançados, v.22, n.63, PP.97-112, 1997.

TUCCI, C. E. M. "Água no meio urbano", In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**, 1999. São Paulo: Escrituras.

TUCCI, C. E. M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. **Ministério das Cidades Global Water Partnership - World Bank – Unesco**, 2005a. Disponível em: <https://docplayer.com.br/3626133-Gestao-de-aguas-pluviais-urbanas-carlos-e-m-tucci.html>. Acesso em 10 fev. 2022.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**, 2005b. Ufg.br. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o\\_de\\_Aguas\\_Pluviais\\_.PDF?1370615799](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais_.PDF?1370615799). Acesso em: 10 mai. 2022.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J.C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003, 471p.

TZOULAS, K., KORPELA, K., VENN, S., *et al.* "Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review", **Landscape and urban planning**, v. 81, n. 3, p. 167–178, 2007. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2007.02.001](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001).

UDFCD. Urban Drainage and Flood Control District, **Drainage Criteria Manual V.3**, 2002. Stormwater Quality Management, Denver, EUA.

UNIVERSITY OF FLORIDA – Program for Resource Efficient Communities. **Florida field guide to low impact development**, 2008. Disponível em: [http://buildgreen.ufl.edu/Fact sheet bioswales Vegetated Swales.pdf](http://buildgreen.ufl.edu/Fact%20sheet%20bioswales%20Vegetated%20Swales.pdf). Acesso em: 27 set. 2022.

URBONAS, B., STAHR, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p., 1993.

VIETZ, G. J., "Water(way) sensitive urban design: Addressing the causes of channel degradation through catchment-scale management of water and sediment". **Proceedings of the 8th International Water Sensitive Urban Design Conference (Institution of Engineers Australia, Gold Coast, Australia, [s.n.], 2013. p. 219–225.**

VIETZ, G. J., RUTHERFURD, I. D., WALSH, C. J., *et al.*, "The unaccounted costs of conventional urban development: Protecting stream systems in an age of urban sprawl". In: VIETZ, G. J., RUTHERFURD, I. D., HUGHES, R. M. (Org.), **Australian Stream Management Conference, Catchments to Coast**, Townsville, Queensland, [s.n.], 2014a. p. 518–524.

VIETZ, Geoff J., SAMMONDS, M. J., WALSH, C. J., *et al.* "Ecologically relevant geomorphic attributes of streams are impaired by even low levels of watershed effective imperviousness", **Geomorphology (Amsterdam, Netherlands)**, v. 206, p. 67–78, 2014b. DOI: [10.1016/j.geomorph.2013.09.019](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.019).

VIETZ, Geoff J., RUTHERFURD, I. D., FLETCHER, T. D., *et al.* "Thinking outside the channel: Challenges and opportunities for protection and restoration of stream morphology in urbanizing catchments", **Landscape and urban planning**, v. 145, p. 34–44, 2015. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2015.09.004](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.09.004).

VIJAYARAGHAVAN, K., JOSHI, U. M., BALASUBRAMANIAN, R. "A field study to evaluate runoff quality from green roofs". **Water Research**, 46(4), 1337–1345, 2012. DOI: [10.1016/j.watres.2011.12.050](https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.050)

VILLANUEVA, A., TASSI, R., PICCILLI, D., BEMFICA, D., TUCCI, C. "Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação". **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 8(1), 5–18, 2011. DOI: [10.21168/rega.v8n1.p5-18](https://doi.org/10.21168/rega.v8n1.p5-18).

VRBAN, S. **An Evaluation of Low Impact Development and Residential Basement Flood Risk in the Greater Toronto Area**. Thesis University of Guelph, 2019. Ontario, Canadá.

WALSH, C. J., FLETCHER, T. D., BURNS, M. J. "Urban stormwater runoff: a new class of environmental flow problem". **PloS One**, 7(9), e45814, 2012. DOI: [10.1371/journal.pone.0045814](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045814).

WALSH, C. J., ROY, A. H., FEMINELLA, J. W., COTTINGHAM, P. D., GROFFMAN, P. M., MORGAN, R. P., II. "The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure". **Journal of the North American Benthological Society**, 24(3), 706–723, 2005. DOI: [10.1899/04-028.1](https://doi.org/10.1899/04-028.1).

WALSH, T.C., POMEROY, C.A., BURIAN, S.J. "Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-air watershed". **J. Hydrol.** 508, 240–253, 2014. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2013.10.038](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.038)

WANG, M., ZHANG, D., ADHITYAN, A., *et al.* "Assessing cost-effectiveness of bioretention on stormwater in response to climate change and urbanization for future scenarios", **Journal of hydrology**, v. 543, p. 423–432, 2016. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2016.10.019](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.019).

YANG, J., JIANG, G. "Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials", **Cement and concrete research**, v. 33, n. 3, p. 381–386, 2003. DOI: [10.1016/s0008-8846\(02\)00966-3](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(02)00966-3).



ZAVADIL, E. "Understanding how we manage urban streams". Report P109064 R01 by Alluvium for Melbourne. **Water**, Melbourne, Australia, 2009.

ZHOU, Q., MIKKELSEN, P. S., HALSNÆS, K., *et al.* "Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits", **Journal of hydrology**, v. 414–415, p. 539–549, 2012. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2011.11.031](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.031).

ZHOU, Qianqian, PANDURO, T. E., THORSEN, B. J., *et al.* "Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: an integrated hydrological cost-benefit analysis", **Environmental management**, v. 51, n. 3, p. 586–601, 2013. DOI: [10.1007/s00267-012-0010-8](https://doi.org/10.1007/s00267-012-0010-8).

ZHOU, Q. "A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts". **Water**, 6(4), 976–992, 2014. DOI: [10.3390/w6040976](https://doi.org/10.3390/w6040976).

## **APÊNDICE A**

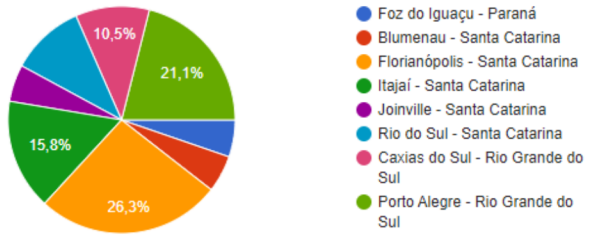
Análise Pesquisa de questionário

# Pesquisa sobre Técnicas de Baixo Impacto (LID) nas Municipalidades Sul Brasileiras

## Análise Pesquisa de Questionário sem o município de Toledo-Paraná

### Qual das prefeituras você trabalha como técnico profissional?

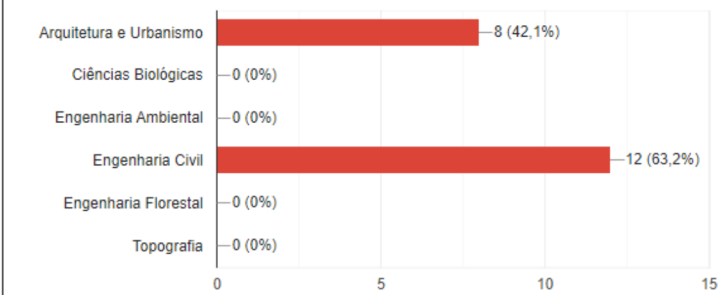
19 respostas



### Qual sua área de Atuação Profissional?

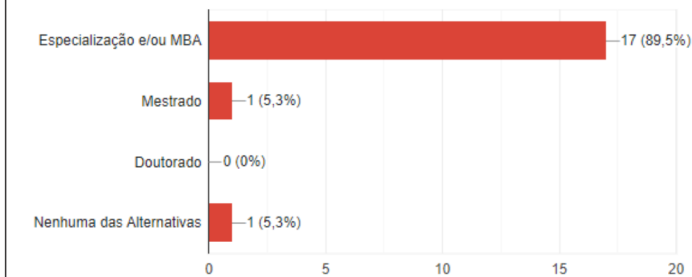
Favor escolher uma (ou mais) das opções a seguir:

19 respostas



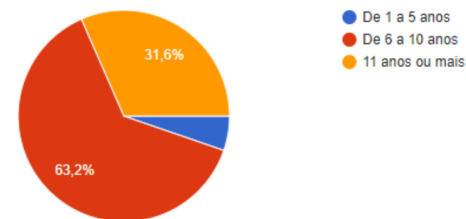
### Possui pós graduação, cursos ou similares?

19 respostas

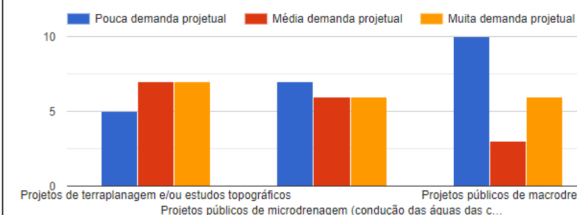


### Quantos anos de experiência profissional:

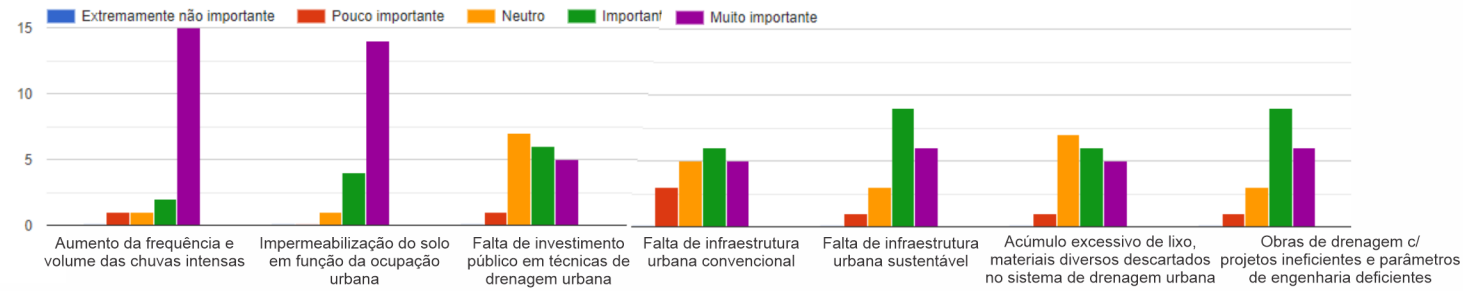
19 respostas



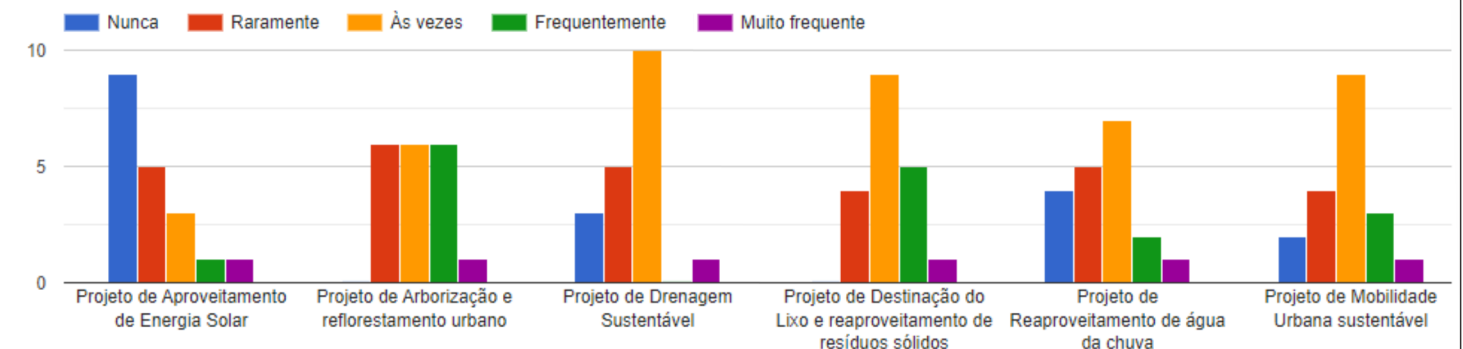
### Como você considera a demanda dos projetos públicos/privados relacionados à drenagem urbana na sua cidade?



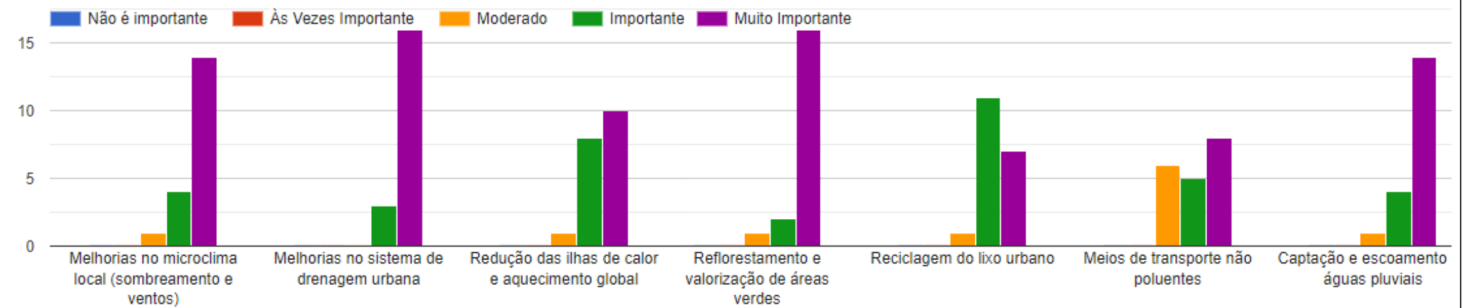
### De acordo com sua opinião, indique a importância dos itens citados que contribuem para a ocorrência de alagamentos urbanos na sua cidade:



### Como você considera a demanda de projetos sustentáveis no espaço urbano da sua cidade?

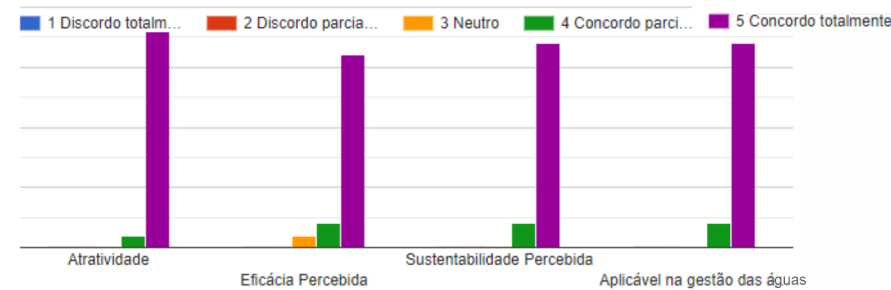


### De acordo com a sua opinião, indique a importância dos itens citados para o crescimento sustentável da sua cidade:



### Referente à Áreas Verdes e Paisagem:

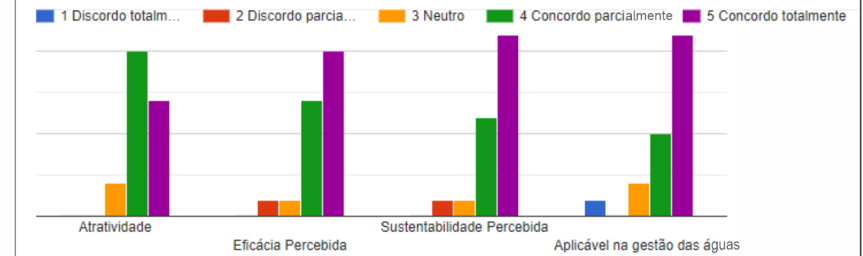
De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



### OPINIÃO SOBRE TÉCNICAS DE BAIXO IMPACTO (LID) E OS ELEMENTOS NA PAISAGEM URBANA

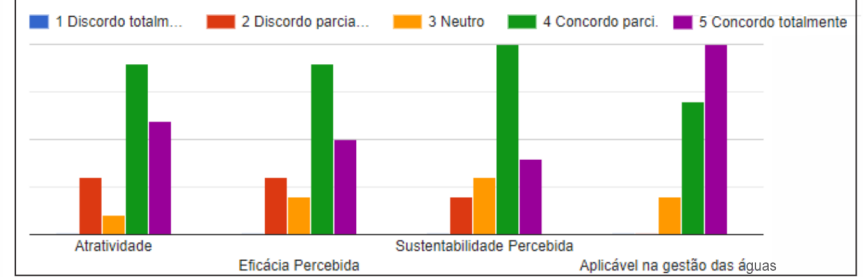
#### Referente à Técnica de Telhados Verdes:

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



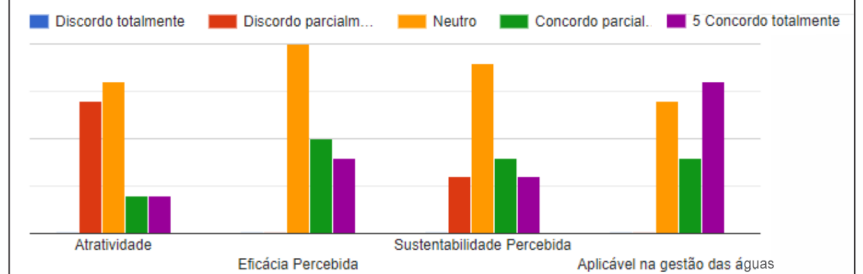
#### Referente à Técnica de Pavimento Permeável:

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



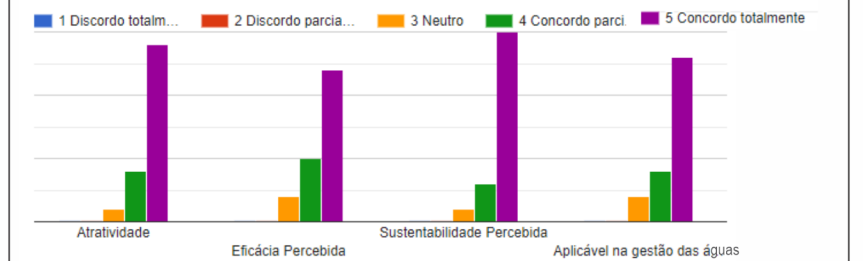
#### Referente à Técnica de Bocas-de-lobo:

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



#### Referente à Sistemas de Biovaletas (valetas de biorretenção vegetadas, referidas a depressões preenchidas com vegetação, solo e demais elementos filtrantes):

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:

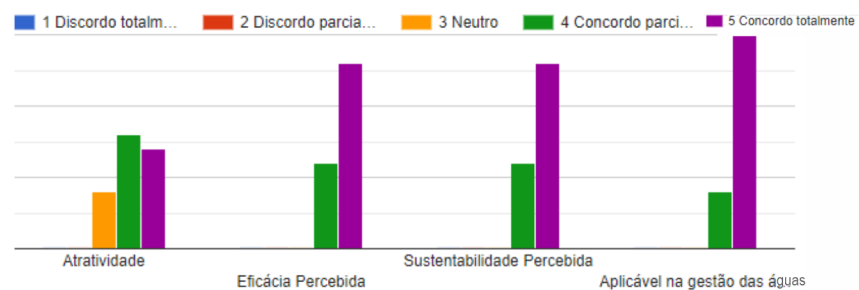


# Pesquisa sobre Técnicas de Baixo Impacto (LID) nas Municipalidades Sul Brasileiras

## Análise Pesquisa de Questionário sem o município de Toledo-Paraná

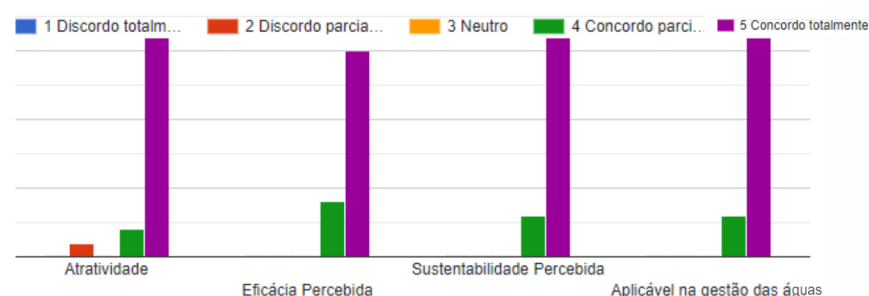
### Referente à Reservatório de Detenção ou Retenção:

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



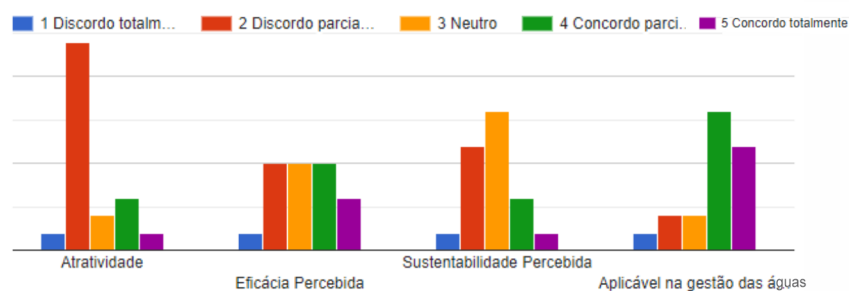
### Referente à Trincheiras de Infiltração:

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



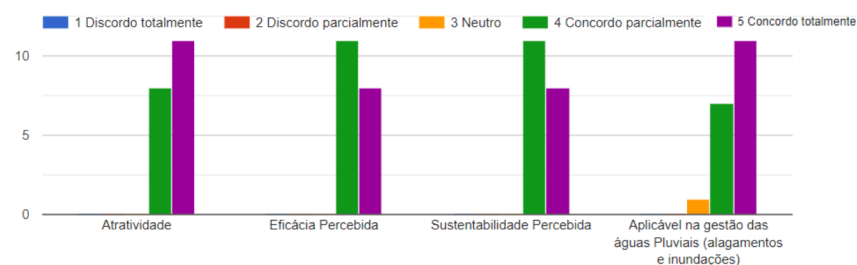
### Referente à Sistema de Canalização:

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



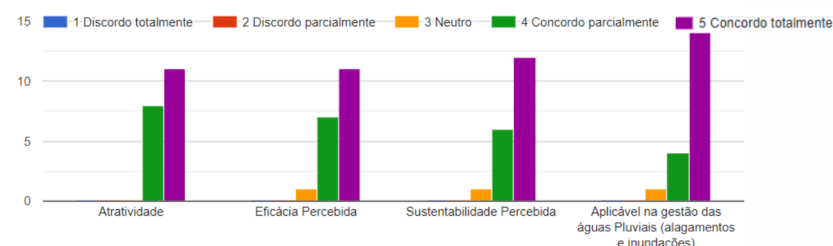
### Referente à Faixas de Grama/ Tiras de Filtro Vegetal:

De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



### Referente à Jardins de Chuva (jardim vegetado para absorver mais água da chuva que o solo natural absorveria):

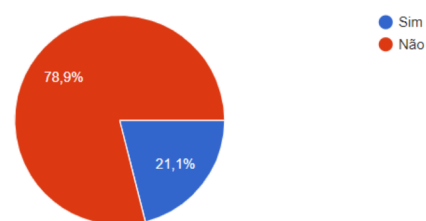
De acordo com sua opinião, escolha as opções que você considera apropriadas para essa técnica:



### EXPERIÊNCIAS E CONHECIMENTOS SOBRE GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS

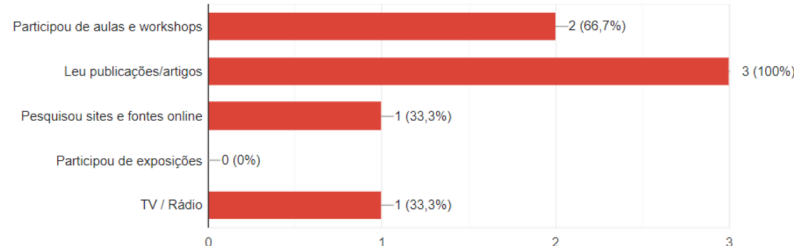
Já participou de eventos e programas que abordassem as técnicas apresentadas para melhorias na gestão de águas pluviais na cidade?

19 respostas



Em caso positivo, indique as opções de aprendizagem que justifique a sua resposta:

3 respostas



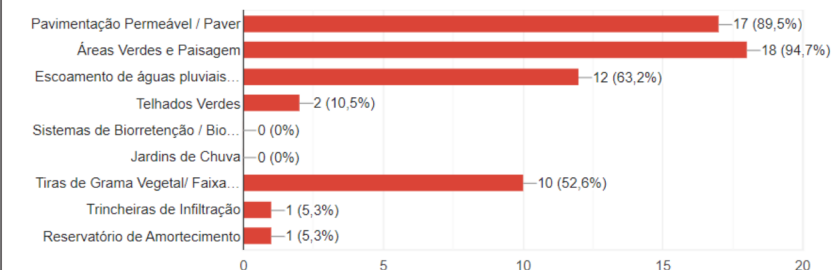
Na sua opinião, como você considera a existência de normas/leis e/ou manuais para a análise de projetos sustentáveis?

19 respostas



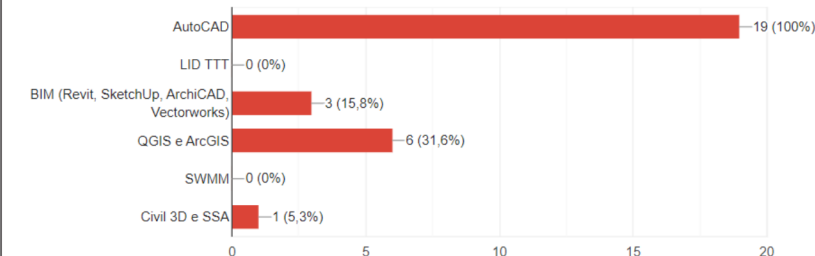
Marque as técnicas de baixo impacto que você já utilizou no desenvolvimento e/ou análise dos projetos desenvolvidos para o seu município:

19 respostas



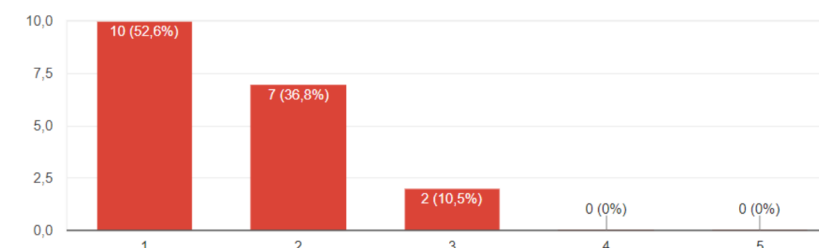
De acordo com sua experiência profissional, quais dos Programas (softwares) mencionados abaixo você utiliza na prefeitura para possível aplicação destas técnicas de baixo impacto?

19 respostas



Na sua opinião como você considera seu nível de experiência/conhecimento com relação as Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)?

19 respostas



## **APÊNDICE B**

TCLE e Autorização Gravação de Voz (Grupo Focal Confirmatório)

ANEXO 1 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO E  
AUTORIZAÇÃO PARA GRAVAÇÃO DE VOZ – GRUPO FOCAL  
CONFIRMATÓRIO

<b>Informações sobre a Pesquisa</b>	<b>Título:</b> “Método de Aplicação de Técnicas de Baixo Impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos: o caso da Sub-Bacia do Arroio Dilúvio, RS”.
<b>Instituição de Ensino Faculdade de Arquitetura - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional   PROPUR/UFRGS</b>	
<b>Pesquisadora / Mestranda:</b> Sara Desiree Marostica E-mail: <a href="mailto:samarostica@gmail.com">samarostica@gmail.com</a>   Tel.: (45) 9 9921 0031	
<b>Pesquisador/Orientador responsável:</b> Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira E-mail: <a href="mailto:andre@iph.ufrgs.br">andre@iph.ufrgs.br</a>   Tel.: (51) 9 9814-6127	
<b>Contato PROPUR/UFRGS</b> Tel.: (51) 3308 3145   E-mail: <a href="mailto:propur@ufrgs.br">propur@ufrgs.br</a> <b>CEP/UFRGS</b> Tel.: (51) 3308 3738   E-mail: <a href="mailto:etica@propesq.ufrgs.br">etica@propesq.ufrgs.br</a>	

DECLARO, por meio deste termo, que concordei em participar da pesquisa de mestrado “Método de Aplicação de Técnicas de Baixo Impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos: o caso da Sub-Bacia do Arroio Dilúvio, RS”, de responsabilidade da pesquisadora Sara Desiree Marostica, que tem como objetivo principal propor um método de aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos para melhorias no desenvolvimento da drenagem no contexto das municipalidades sul brasileiras, através da percepção de profissionais das municipalidades sul brasileiras. Declaro ter sido informado(a) de que os dados obtidos serão utilizados para fins estritamente acadêmicos e de que meu nome não será identificado na pesquisa, garantindo minha privacidade. Declaro, ainda, ter sido informado(a) de que esta pesquisa trará como benefício à comunidade a proposição de um método para um problema real encontrado através dos estudos, que pode auxiliar como ferramenta na elaboração de políticas públicas ou no planejamento urbano, e de que, quando concluída, estará disponível na biblioteca da UFRGS em meio físico e digital, podendo ser acessada por qualquer pessoa que tenha interesse em seu conteúdo. Os dados que você irá fornecer também serão divulgados em congressos ou publicações científicas, não havendo divulgação de nenhuma informação que possa lhe identificar. Esses dados serão guardados pela pesquisadora por esta pesquisa em dispositivo eletrônico local, apagando todo e qualquer registro de qualquer plataforma virtual, ambiente compartilhado ou “nuvem”. Os dados serão armazenados por um período de até 5 anos. O pesquisador responsável e a mestranda se comprometem a esclarecer quaisquer dúvidas que eventualmente surjam através dos contatos acima apresentados, assim como você poderá, se preferir, contactar diretamente o Comitê de ética em pesquisa da UFRGS. O projeto foi avaliado pelo CEP/UFRGS, órgão colegiado, de caráter consultivo, deliberativo e educativo, cuja finalidade é avaliar – emitir parecer e acompanhar os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos, em seus aspectos éticos e metodológicos, realizados no âmbito da instituição. O CEP/UFRGS está localizado na Av. Paulo Gama, 110, Sala 311, Prédio Anexo I da Reitoria - Campus Centro, Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060. Fone: +55 51 3308 3787 E -mail: [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br) Horário de

Funcionamento: de segunda a sexta, das 8 às 12 h e das 13 às 17h. Declaro ter sido informado(a) de que como benefícios destacam-se a possibilidade de compartilhar a prática de reflexão sobre o tema e a oportunidade de expressar suas impressões e opiniões a respeito do assunto. Além de proporcionar aos participantes da pesquisa um maior aprendizado sobre técnicas e ferramentas sustentáveis de baixo impacto e melhorias relacionadas aos alagamentos urbanos das cidades. Fui ainda informado de que os eventuais riscos aos quais estou exposto referem-se a um possível cansaço decorrente do tempo da entrevista, ou algum tipo de desconforto ou constrangimento quanto às perguntas realizadas pela pesquisadora. Afirmando ter sido informado(a) de que esta é uma entrevista com duração de uma a duas horas, de que posso solicitar a qualquer tempo a interrupção da entrevista, e de que, no caso de me sentir desconfortável para responder qualquer pergunta, basta solicitar à pesquisadora que a retire, pois me é assegurado o direito de não responder o que julgar impertinente ou de conteúdo impróprio. Em razão das limitações das tecnologias utilizadas, a realização do grupo de foco pode ser interrompida caso haja falha do sinal de Internet, podendo ser imediatamente retomada quando o sinal for reestabelecido. Também por ser realizada em ambiente virtual, você, entrevistado, pode participar de qualquer lugar onde se sinta confortável, e solicitar a qualquer tempo a interrupção da reunião do grupo. Também fica assegurada total confidencialidade e risco de violação dos dados dos participantes pelos pesquisadores. Após a realização do grupo de foco, um formulário via Google será encaminhado para seu e-mail de forma individual, o formulário será respondido anonimamente. Fui ainda informado(a) de que a pesquisadora se compromete a esclarecer quaisquer dúvidas que eventualmente surjam e que posso me retirar desse estudo a qualquer tempo, sem qualquer prejuízo.

Afirmo que aceitei participar por minha própria vontade, sem receber qualquer incentivo financeiro ou ter qualquer ônus, com a finalidade exclusiva de colaborar com o desenvolvimento da pesquisa de forma voluntária; fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. AUTORIZO, por meio deste termo, a gravação de minha entrevista através do questionário que será utilizada para posterior transcrição e somente será acessada pela pesquisadora e seu orientador/pesquisador responsável. Fui informado (a) de que posso solicitar uma cópia do resultado, caso seja de meu interesse. Atesto ter recebido uma cópia deste Termo, assinado pela pesquisadora e o orientador/pesquisador responsável.

Porto Alegre, \_\_/\_\_/\_\_.

---

Assinatura e Nome Completo  
do(a) participante da pesquisa

---

Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira  
(assinatura e nome completo da  
pesquisador/orientador responsável)

---

Arq. Sara Desiree Marostica  
(Assinatura e nome da  
pesquisadora/mestranda)

## **APÊNDICE C**

Apresentação do Método de Pesquisa para Grupo Focal





PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

## Método de Aplicação de Técnicas de Baixo Impacto (LID) no Controle dos Alagamentos Urbanos: O caso da Sub-Bacia do Arroio Dilúvio, RS

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira  
Acadêmica: Sara Desiree Marostica

Linha de Pesquisa: Infraestrutura e Planejamento Urbano e Ambiental



Segundo a aplicação das técnicas “LID” na Drenagem Urbana (FLETCHER et al., 2015):

## Tema da Pesquisa

As técnicas “**Low Impact Development (LID)**”, têm sido usados na América do Norte e na Nova Zelândia desde 1990.

A abordagem é caracterizada por **dispositivos de tratamentos de águas pluviais** utilizadas em fontes de escoamento e/ou bacias hidrográficas para **minimizar o custo do gerenciamento de águas pluviais**, impulsionando um novo foco no sistema de drenagens urbanas.

Dessa forma, **essas técnicas aumentam a infiltração ou reduzem o escoamento superficial da água** no solo, através de programas de modelagem hídrica de Desenvolvimento de Baixo Impacto.

# Contexto da Pesquisa



»»»» Desenvolvimento urbano levou a **degradação ambiental** em várias áreas das **idades**;

»»»» As **técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)** serão entendidas como **recomendações** a ser adotado em **planos de drenagem urbana**;

»»»» O **PDDU** possui várias ações, mas **existem poucos regramentos específicos** para o caso do **controle dos alagamentos urbanos**;

»»»» **Os modelos computacionais** permitem a avaliação do impacto que essas **ferramentas** poderiam exercer no **controle dos alagamentos**.



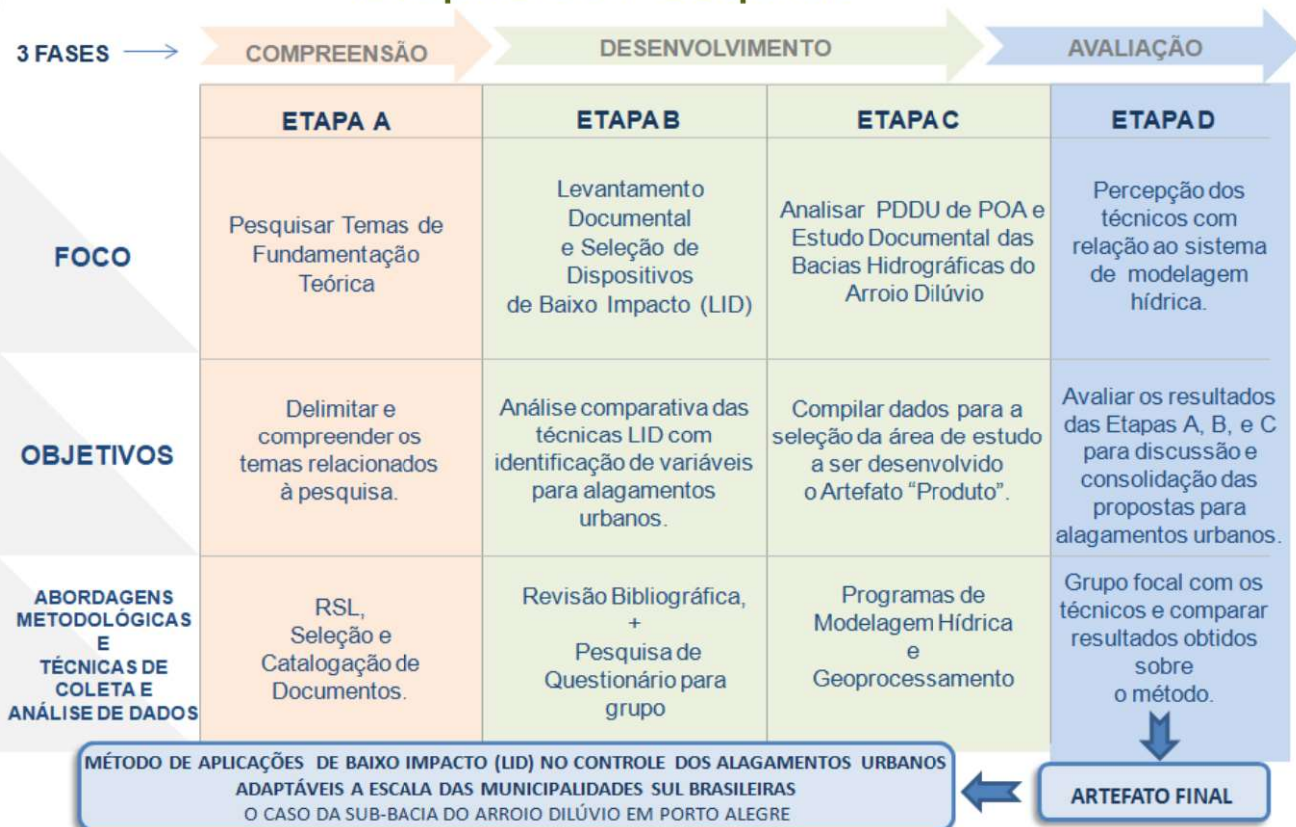
## Mapa Conceitual da Pesquisa



# Questão da Pesquisa

Como avaliar as dificuldades das municipalidades do sul do Brasil em utilizar técnicas sustentáveis no gerenciamento alagamentos urbanos e na gestão de águas pluviais?

## Etapas da Pesquisa





# Etapa A da Pesquisa

**1** Identificação dos artigos nas bases de dados

**2** Base de Dados Consultadas  
**Web of Science** Clarivate Analytcs  
**Scopus** Elsevier B.V.  
**CAPES** Ministério da Educação

**3** **SCREENING** → **N= 1.663 RESULTADOS**  
ETAPAS DE SELEÇÃO

\*PROCESSO QUE EXIGE LEITURA INSPECIONAL DE CADA UM DOS ESTUDOS ENCONTRADOS. O OBJETIVO É IDENTIFICAR DO QUE TRATA O ESTUDO E SE É ÚTIL PARA A REVISÃO DA PESQUISA (DRESCH et. al, 2015).

**REVISÃO DO TÍTULO N=621**

\*ARTIGOS DUPLICADOS RETIRADOS PELO ZOTERO N=27

**REVISÃO DO ABSTRACT N=394**

**REVISÃO DO TEXTO COMPLETO N= 78**

**INCLUSÃO EXTRAÇÃO FINAL N= 25**

**CRITÉRIOS DE SELEÇÃO ANALÍTICA:**

- Analisar LID enquanto projeto de controle de drenagem urbana;
- Benefícios e desvantagens do LID;
- Ferramentas LID aplicada nos Alagamentos urbanos.



# Etapa A da Pesquisa

**AUTORES CONSULTADOS** →

## ATRIBUTOS CONCEITUAIS

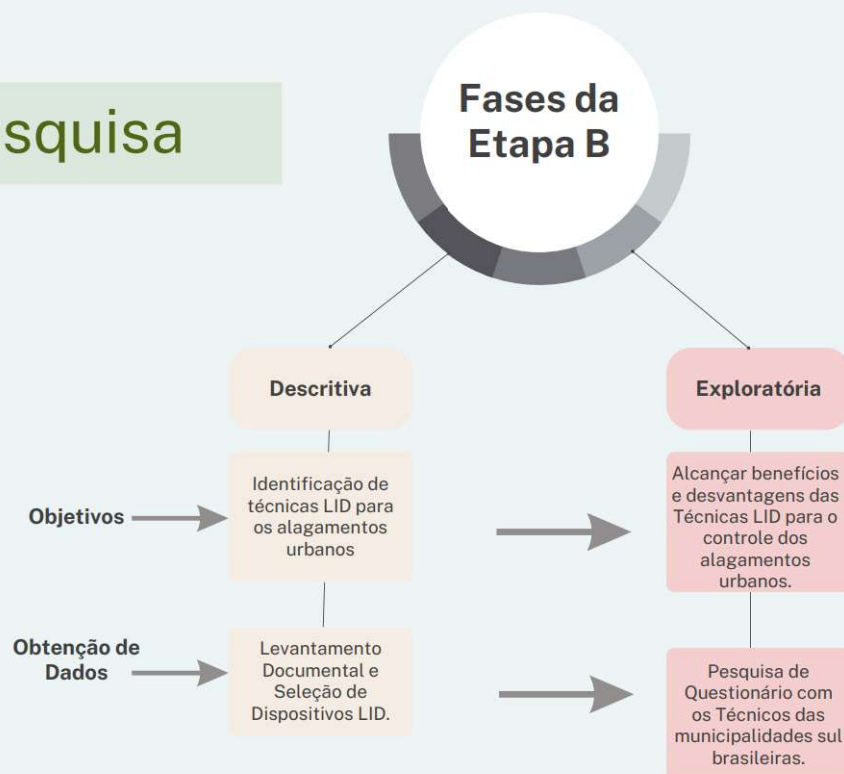
- EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NAS CIDADES
- MEDIDAS DE CONTROLE DE ALAGAMENTOS
- EVOLUÇÃO DA GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS
- TECNOLOGIAS LOW IMPACT DEVELOPMENT (LID)

### \*RESULTADO FINAL

Total de 19 variáveis sustentáveis encontradas que tende a ser Analisado em conjunto para posterior cruzamento de dados com as Técnicas LID na Etapa B.

- AHIABLAME; ANDO; ANDRIEU; ARNBIERG-NIELSEN; ASKARIZADEH; BERNDTSSON; BOOTH; BOTELHO; BRANDÃO; BROWN; BURNS; BURTON; CANHOLI; CARAMORI; CHIN; CHOCAT; CHUA; CHUI; COHEN; COUTTS; CRUZ; DAVIES; DEMUZERE; DIAS; DRESCH; ERIC; FERGUSON; FINDLAY; FLETCHER; FREITAS; GAUR; GUPTA; GURNELL; HALSNÆS; HAMEL; HAMID; IVES; JACKSON; JEMBERIE; KANG; KOURTIS; KREBS; MARSALEK; MELESSE; MENTENS; MIKKELSEN; PALERMO; PALLA; POMPÊO; RAUCH; RIPPY; ROY; RUTHERFURD; SAMMONDS; SCHILLING; SILVEIRA; SIMCOCK; SIMONOVIC; SINGH; STEVAUX; STOVIN; TALARICO; TAYLOR; TRINH; TROWSDALE; TSIHRINTZIS; TUCCI; TURCO; TZOULAS; VIETZ; VILLANUEVA; VRBAN.; WALSH; ZAVADIL; ZHOU.

# >>>>> Etapa B da Pesquisa



# >>>>> Etapa B da Pesquisa

## FASE DESCRITIVA

Desenvolver uma análise comparativa das Técnicas LID com vista da identificação das variáveis de sustentabilidade para os alagamentos urbanos das municipalidades sul brasileiras.

## RESULTADO ETAPA B:

19 Variáveis Sustentáveis Encontradas – *Framework Conceitual (RSL)*

+

### Análise de Atributos chaves

1- escoamento e Drenagem pluvial para Alagamentos

2 - Qualidade da água e do Espaço

3- Desenvolvimento Ambiental/Mudanças Climáticas

4- Desempenho das Combinações LID

# Técnicas LID identificadas para contribuir com os alagamentos urbanos municipais



Grupo	Atributo-Chave
01	Escoamento e águas pluviais para alagamentos
02	Qualidade da água e do espaço
03	Desenvolvimento ambiental/Mudanças climáticas
04	Desempenho das combinações LID

## RESULTADO ETAPA B: FASE DESCRITIVA

### Resultado:

Identificou-se possíveis performances das técnicas de Baixo Impacto (LID) que possam contribuir para os alagamentos urbanos no contexto dos municípios sul brasileiros.

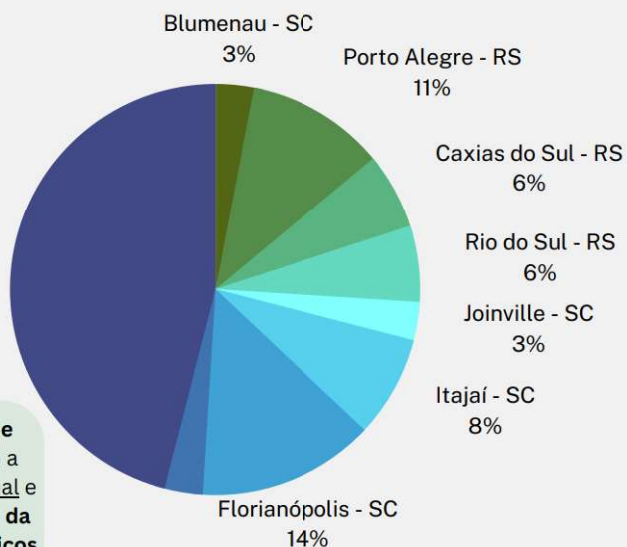
### Benefícios e Desvantagens

Desempenho das técnicas na paisagem e áreas urbanizadas.

## ETAPA B - Fase exploratória

### PESQUISA DE QUESTIONÁRIO

Explorar a percepção e a apreciação das técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) pelos técnicos das municipalidades sul brasileiras.



Forte interação de Toledo/PR devido a trajetória profissional e maior proximidade da autora com os técnicos locais.

### 03 Estados - 22 cidades



Envio para 59 Departamentos e Secretarias das Prefeituras

35 RESPONDENTES

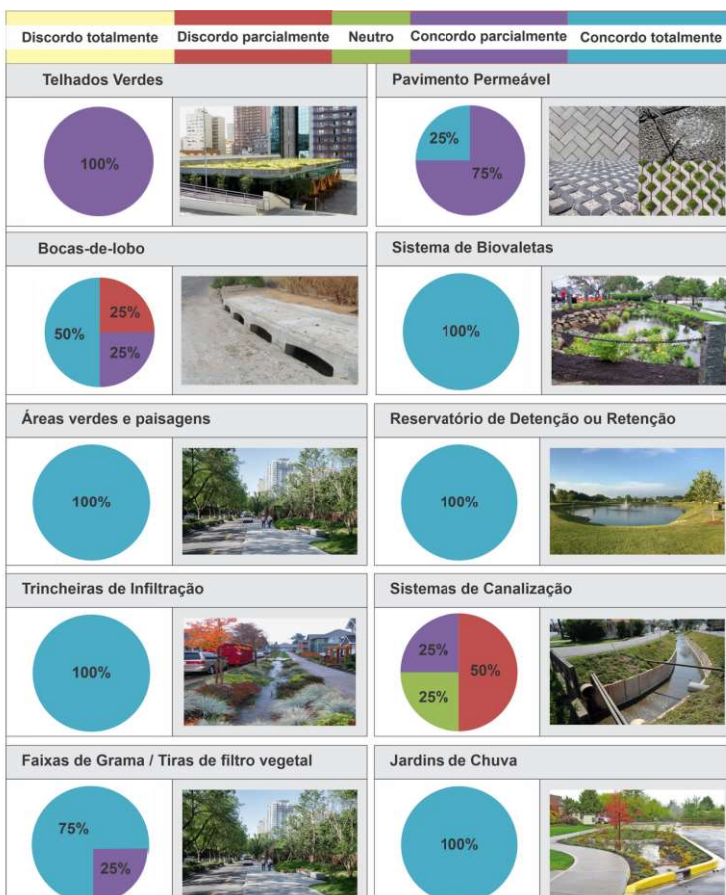


## PESQUISA DE QUESTIONÁRIO

**Seção 01** ➡ Conhecimento sobre demanda de projetos públicos e privados de DU e sustentabilidade.

**Seção 02** ➡ Avaliação e apreciação das Técnicas LID quanto à atratividade, estética, eficiência funcional e desempenho ecológico.

**Seção 03** ➡ Experiência e conhecimentos sobre a gestão sustentável de águas pluviais e LIDs.



### CONSIDERAÇÕES PESQUISA DE QUESTIONÁRIO TÉCNICAS LID

#### Percepções positivas da avaliação:

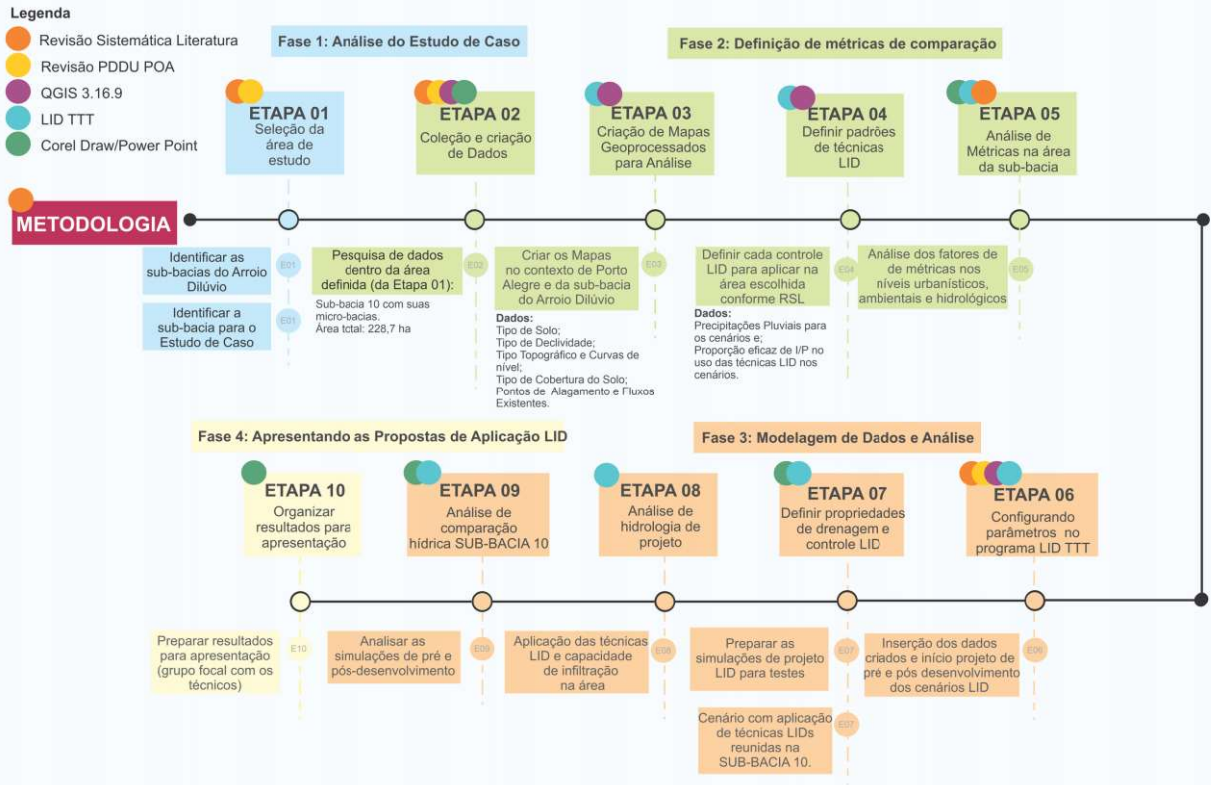
técnicas de sistemas de biovaletas, áreas verdes e paisagens, reservatórios de detenção ou retenção, trincheiras de infiltração e jardins de chuva. Participantes concordaram totalmente no uso em projetos urbanos.

#### Percepção negativa dos participantes:

Destacam-se as técnicas de bocas-de-lobo (34,28%) e sistemas de canalização (45,71%), que em termos de atratividade da técnica discordam parcialmente do seu uso no desenvolvimento e gestão sustentável das cidades.



# Metodologia para Aplicações de Baixo Impacto (LID) no Controle dos Alagamentos Urbanos



## ETAPA C - Análise Espacial

Itens Avaliados	Proposição de uma metodologia para aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos
<b>Fase 1: Análise do Estudo de Caso</b>	
<b>Etapa 01: Seleção da área de Estudo</b> Identificar as Sub-bacias do Arroio Dilúvio.	Escolha da sub-bacia através de: (1) análise comparativa das sub-bacias sujeitas às inundações e alagamentos e; (2) avaliação dos impactos existentes nos aspectos interrelacionados de drenagem e urbanizações consolidadas da área analisada.
<p>Discretização das 26 sub-bacias do Arroio Dilúvio.</p>	<p>Sub-bacia 10 apresentou mais locais de alagamentos nos cenários atuais e futuros.</p>

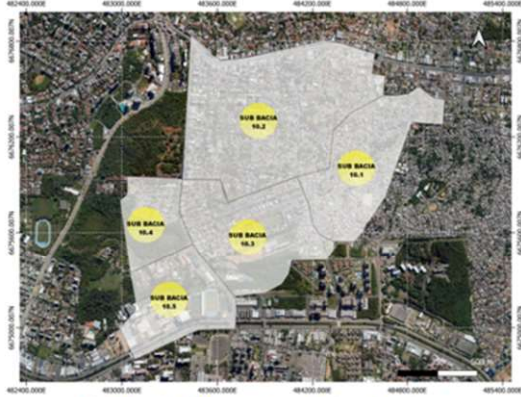
\*Imagens retiradas do PDDU Porto Alegre (2014).



# ETAPA C - Análise Espacial

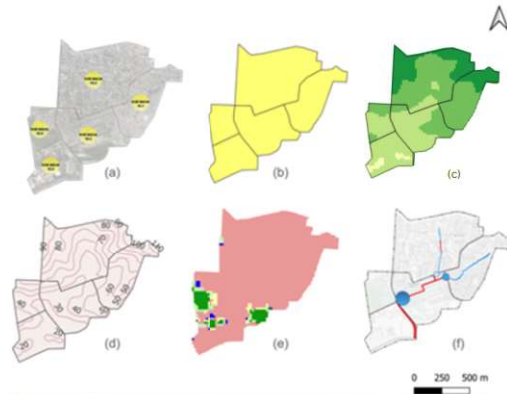
## Fase 2: Definição de Métricas de comparação

### Etapa 02: Pesquisar dados dentro da área definida.



Sub-bacia 10 com suas micro-bacias.  
Área total: 228,7 ha

### Etapa 03: Criação de Mapas Geoprocessados QGIS para análise.



Mapas observados através de análise espacial:

- (a) Sub-bacia 10 com suas microbacias;
- (b) Tipo de Solo;
- (c) Declividade e classe de relevo;
- (d) Topográfico e curvas de nível;
- (e) Classes de Cobertura do Solo;
- (f) Pontos de alagamentos e fluxos existentes.

\*Fonte: MAROSTICA (2022).

### Etapa 04: Definir padrões de Técnicas LID

Precipitações Pluviais para os cenários:

Precipitação Pluviais (mm/horas)	15mm/24hrs	25mm/24hrs	50mm/24hrs	100mm/24hrs
Parâmetros de Chuva	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
Características	Precipitação uniforme, gotículas muito numerosas.	As gotas isoladas são dificilmente observáveis. Formação relativamente rápida de poças d'água.	A chuva parece cair em lençóis, não sendo possível identificar gotas isoladas. Observa-se formação rápida de poças d'água.	Chuvas mais severas, geralmente sob a forma de aguaceiros. A visibilidade é prejudicada.

Proporção eficaz de impermeável para permeável (I/P) no uso das técnicas nos cenários:

Prática de gestão de Águas Pluviais LID	Razão (I/P) Impermeável para Permeável	% MÍNIMA utilizada no cenário de pós-desenvolvimento
Biorretenção	15:1	1500% - 1500m <sup>3</sup>
Telhados Verdes	1:1	100% - 100m <sup>3</sup>
Pavimento Permeável	1.2:1	120% - 120m <sup>3</sup>
Jardins de Chuva	20:1	2000% - 2000m <sup>3</sup>
Filtro de Grama Aprimorada	10:1	1000% - 1000m <sup>3</sup>

### Etapa 05

Dados indicadores	Aspectos	Métricas	Unidade de Comparação
Cenário de Pré e Pós Desenvolvimento da sub-bacia do Arroio Dilúvio	(a) Urbanísticos	Área urbana consolidada (área não vegetada)	90.25%
		Floresta	4,73%
		Formação Natural não florestal	2,25%
		Agropecuária	2,07%
		Corpc d'Água	0,4%
	(b) Ambientais	Cobertura Vegetal	M2 (%)
		Tipo de solo	Neossolo (m <sup>2</sup> )
		Declividade do Solo	Suave – Ondulado (3-8%)
	(c) Hidrológicos	Curvas de Nível do terreno	(%)
		Parâmetros de Chuvas (15mm/25mm/50mm/100mm)	MM
		Controle de Redução de Escoamento	M3
		Controle de volume de escoamento esperado	M3
		Redução de Volume de Escoamento fornecido	M3
		Volume de escoamento não tratado	M3
		Pico de Fluxo de Escoamento (saída)	M3/S
Balanco de água (Redução da Chuva)	MM/%		
Controle de Volume de escoamento foi atendido	Sim/Não		

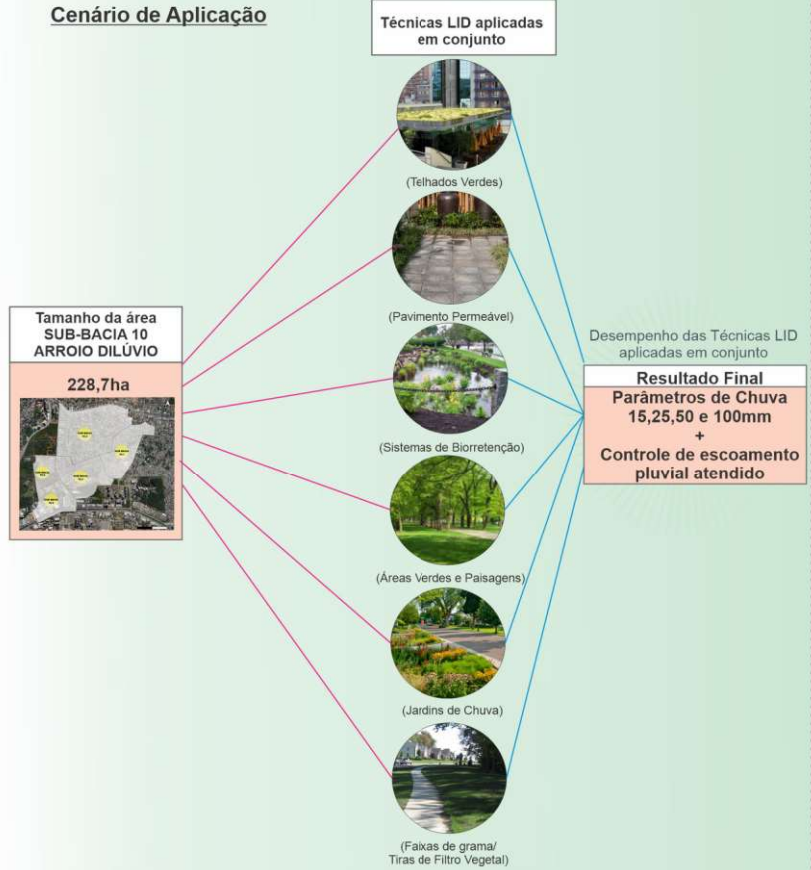
### Etapa 6

Configuração parâmetros no Programa LID TTT  
Inserção das métricas e início projeto de pré e pós desenvolvimento dos cenários LID.

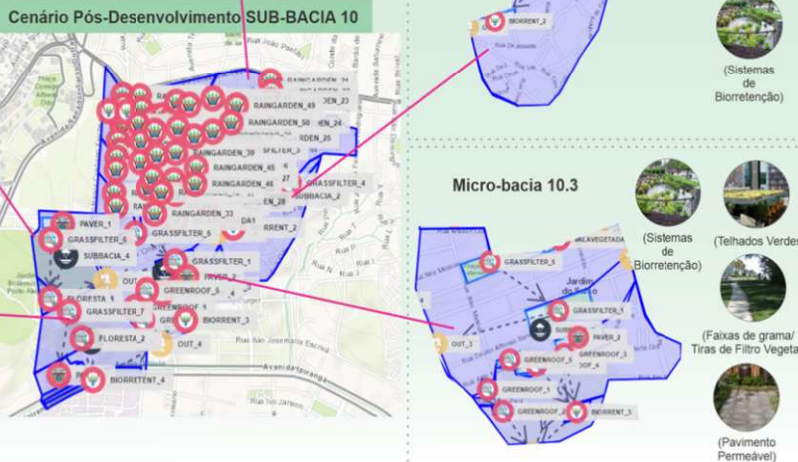
## Etapa 07: Definir propriedades de drenagem e controle LID

Preparar simulações de projetos para testes  
 Cenário com desempenho das técnicas LID reunidas na sub-bacia 10 do Arroio Dilúvio.

### Cenário de Aplicação



### Cenário Pré-Desenvolvimento SUB-BACIA 10



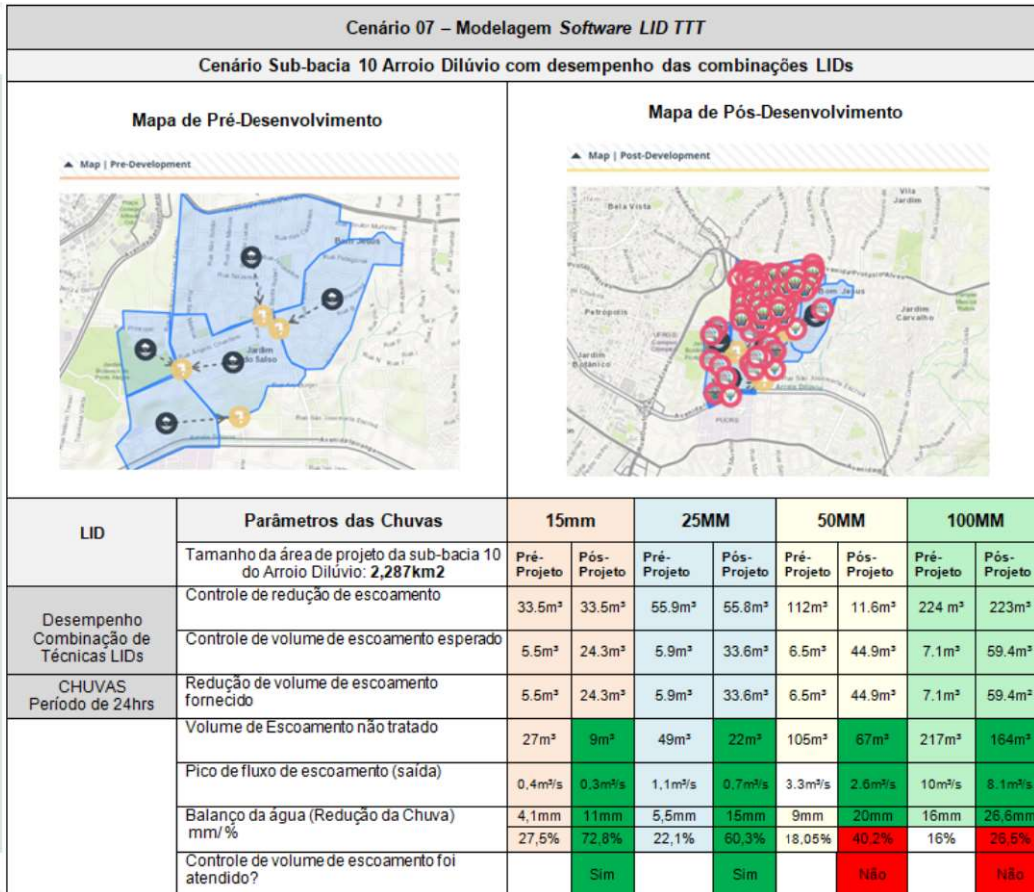
### Cenário Pós-Desenvolvimento SUB-BACIA 10

## Etapa 08: Análise de Hidrologia de Projeto

Aplicação das técnicas LID e capacidade de infiltração.

## Etapa 09: Análise de Comparação Hídrica SUB-BACIA 10

Analisar as simulações de pré e pós desenvolvimento e redução de escoamento pluvial relativo aos parâmetros de chuvas propostos (15,25,50 e 100mm).



## Contribuições teóricas da Pesquisa

### Autores Referenciados

Vijayaraghavan et al., 2012;  
 Chua et. al, 2012;  
 Chen et al., 2011;  
 Li et. al, 2019;  
 Liang et al., 2020;  
 Qin et. al, 2013;  
 Trowsdale e Simcock, 2011;  
 Berndtsson, 2010;  
 Tirpak et al., 2021;  
 Ahiablame et al., 2016;  
 Jemberie e Melesse, 2021;  
 Samouei e Zger, 2021;  
 Hyun et al., 2012;  
 Fileni et al., 2019.

### Países de aplicação das Técnicas LID



### CONSIDERAÇÕES

As técnicas LIDs são empregadas ao redor do mundo, **desempenhando uma boa alternativa sustentável** para melhorar a drenagem urbana.

Sendo eficazes no **escoamento pluvial**, além de **alagamentos e erosões**.

# Considerações Finais

Resumo Final **Desempenho Máximo Técnicas LID**  
para o caso da **SUB-BACIA 10 do Arroio Dilúvio**

Técnica LID utilizada	Parâmetros das Chuvas aplicadas			
	15mm	25mm	50mm	100mm
Desempenho das Técnicas LID em conjunto	✓	✓	X	X
	72,78%	60,32%	40,24%	26,57%

Aplicação de **Técnicas LID** tiveram um **impacto evidente** na redução do **escoamento pluvial** do **desempenho conjunto** das técnicas na **SUB-BACIA 10 do Arroio Dilúvio**.

Os eventos de tempestade mais curtos de **15mm e 25mm** alcançaram a meta esperada **pelas técnicas utilizadas** nos cenários do software LID TTT.



# Obrigada!

**Sara Desiree Marostica**  
(Mestranda)

**Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira**  
(Orientador)



**ANEXO 01**

Parecer da COMPESQ e do CEP

### Parecer da Comissão de Pesquisa da UFRGS (COMPESQ)

Trata-se da análise do projeto de pesquisa Nº 43327, intitulado "MÉTODO DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BAIXO IMPACTO (LID) NO CONTROLE DOS ALAGAMENTOS URBANOS: O CASO DA SUB-BACIA DO ARROIO DILUVIO, RS" sob coordenação do pesquisador ANDRE LUIZ LOPES DA SILVEIRA e pela pesquisadora mestranda pelo Propur Sara Desiree Marostica. O projeto possui como objetivo geral "Propor um método de aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos para melhorias no desenvolvimento da drenagem no contexto das municipalidades sul brasileiras".

1) MÉRITO-CIENTÍFICO: o projeto possui mérito-científico? (x) SIM  
 2) RESUMO: apresenta resumo consoante com o projeto? (x) SIM  
 3) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: o projeto fornece a identificação da proposta, justificativa, relevância do tema, e caracteriza o problema a ser abordado com o uso de referências atuais e relevantes? (x) SIM

4) OBJETIVOS E QUESTÃO DE PESQUISA: os objetivos e a questão de pesquisa estão adequados para o tipo de pesquisa a ser realizada? (x) SIM

5) METODOLOGIA / MATERIAIS E MÉTODOS:

- A metodologia esta adequada aos objetivos traçados? (x) SIM

- Apresenta as considerações e aspectos éticos referente a pesquisa? (x) SIM

- Apresenta os riscos e benefícios da pesquisa? (x) SIM

- Apresenta o delineamento do estudo? O mesmo está adequado ao objetivo do estudo? (x) SIM

- Define a população e amostra que será estudada? (x) SIM

- Apresenta análise estatística? (x) SIM

6) CRONOGRAMA: o projeto apresenta cronograma adequado ao período do estudo? (x) SIM

7) TERMO DE CONSENTIMENTO E DECLARAÇÕES DIVERSAS:

- Apresenta Termo de Consentimento Livre e Esclarecido? (x) SIM

- Apresenta Termo de assentimento da criança e/ou adolescente com idade inferior a 18 anos (quando o sujeito apresenta condição de assentir com a pesquisa). (x)

NÃO SE APLICA

- Apresenta Termo de Autorização dos locais para a realização da pesquisa, possuindo infraestrutura para a exequibilidade da pesquisa? ( x ) NÃO SE APLICA  
 RELEVÂNCIA DO TRABALHO, PONTOS FORTES:

O trabalho aborda um tema muito importante para as cidades que é o planejamento dos corpos hídricos que, no Brasil é relegado a segundo plano. Essa falta de planejamento acaba por impactar negativamente as cidades pelo alagamento e pela falta de água limpa nos riachos. O trabalho traz estes questionamentos e tenta lidar com o problema de forma a gerenciar as águas pluviais pensando em um equilíbrio hidrológico sustentável.

#### CONCLUSÃO:

Face ao exposto: **Recomendo APROVAÇÃO sem alterações.**

Porto Alegre, 21 de novembro de 2022.

Prof. Fábio Zampieri,

Relator.



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Método de Aplicação de Técnicas Baixo Impacto (LID) no Controle dos Alagamentos Urbanos: O Caso da Sub-Bacia do Arroio Dilúvio,RS

**Pesquisador:** André Luiz Lopes da Silveira

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 65815122.5.0000.5347

**Instituição Proponente:** Faculdade de Arquitetura UFRGS

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 5.856.893

**Apresentação do Projeto:**

O pesquisador responsável, Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira do Departamento de Hidromecânica e Hidrologia (DHH) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), encaminha projeto de pesquisa intitulado "Método de Aplicação de Técnicas de Baixo Impacto (LID) no Controle dos Alagamentos Urbanos: O Caso da Sub-Bacia do Arroio Dilúvio, RS".

A instituição proponente é a Faculdade de Arquitetura da UFRGS.

Pelo projeto, a equipe pretende desenvolver uma metodologia LID para controle dos alagamentos urbanos e melhorias no desenvolvimento da drenagem urbana adaptáveis ao contexto das municipalidades sul-brasileiras. Segundo os proponentes, os projetos envolvendo águas pluviais em cidades estão defasados devido aos poucos levantamentos in loco e informações específicas, além do pouco conhecimento sobre as ferramentas disponíveis aos técnicos da área, engenheiros e arquitetos, o que difere muito nas análises projetuais.

Metodologia:

O estudo será desenvolvido inteiramente no Brasil e envolve as grandes áreas de (1) Ciências Exatas e da Terra, (2) Engenharias e (3) Ciências Sociais Aplicadas. A pesquisa envolverá uma

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

mestranda além do pesquisador principal responsável. O estudo não é multicêntrico no Brasil, não propõe dispensa de TCLE e não envolverá a retenção de amostras para armazenamento em banco.

A unidade de análise será pela aplicabilidade das técnicas LIDs em municípios sul-brasileiros. O foco da pesquisa será por meio do grupo de pessoas (técnicos municipais) das municipalidades do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em que será investigada a utilização das técnicas de baixo impacto com o objetivo de alcançar melhorias de acordo com as técnicas LID mapeadas.

Será realizada uma pesquisa de questionário com um total de 40 técnicos de municipalidades dos estados de PR, SC e RS. Os participantes serão divididos em dois grupos. O primeiro, com 33 participantes, será o “grupo de pesquisa exploratório ou de questionário”. Segundo os proponentes, esta etapa será fundamental para o desenvolvimento da pesquisa e os resultados poderão potencializar e refinar as técnicas LID utilizadas e a identificação de constructos a serem utilizados nas etapas subsequentes. As contribuições geradas pela pesquisa de questionário serão elaboradas por formulário via Google Forms e encaminhadas por e-mail para as prefeituras das municipalidades sul-brasileiras. Antes do envio de e-mail aos técnicos, pretende-se fazer contato com as prefeituras via telefonemas para verificar os departamentos e setores responsáveis pelo urbanismo e drenagem da cidade levando em consideração as perguntas que serão elaboradas na pesquisa de questionário. Após telefonemas e contatos com profissionais responsáveis, será enviado por e-mail uma carta-convite somente para os técnicos e profissionais da prefeitura de cada cidade escolhida. Um roteiro foi elaborado para a pesquisa de questionário via Google forms para que todos os profissionais de cidades e estados sul-brasileiros diferentes respondam às mesmas questões com relação ao desenvolvimento de baixo impacto (Técnicas LID), reconhecendo problemas de gestão urbana de acordo com sua cidade de lotação profissional. Em seguida será realizada a análise de conteúdo das respostas visando identificar os benefícios e desvantagens das técnicas LID usadas para o controle dos alagamentos urbanos nas municipalidades sul-brasileiras.

Por fim, também será realizado um segundo “grupo focal confirmatório ou de questionário aberto”, com sete (7) técnicos municipais responsáveis e envolvidos no processo de gestão e planejamento sustentável dos planos de drenagem urbana como grupo de pesquisa confirmatório, que tem por objetivo avaliar as alternativas de baixo impacto encontradas para o controle dos alagamentos urbanos em Porto Alegre com o estudo de caso da sub-bacia do Arroio Dilúvio.

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br





PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPEAQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

Com as etapas metodológicas da pesquisa, espera-se que seja possível propor um método de aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos para a realidade do município de Porto Alegre e, possivelmente, para outros municípios e estados do Brasil.

**Cronograma:**

O cronograma do estudo apresentado junto às Informações Básicas do Projeto da Plataforma Brasil indica uma única etapa: realização de entrevistas prevista entre 11/01/2023 e 28/02/2023. Cronograma completo do trabalho de mestrado com as demais etapas foi encaminhado como anexo.

**Orçamento:**

Foi apresentado orçamento de R\$ 555,10 junto ao projeto de pesquisa. Estes recursos serão destinados a cobrir custos de mensalidades de internet e energia elétrica. Foi informado que o projeto terá financiamento próprio.

**Objetivo da Pesquisa:**

**Objetivo Primário:**

Propor um método de aplicações de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos para melhorias no desenvolvimento da drenagem no contexto das municipalidades sul-brasileiras.

**Objetivos Secundários:**

- A) Analisar e aplicar as ferramentas de modelagem LID no cenário dos alagamentos urbanos em termos de processo de desenvolvimento e de produto (documento final) apresentado; e
- B) Investigar abordagens que possibilitem auxiliar os técnicos municipais envolvidos no processo de gestão e planejamento sustentável dos planos de drenagem urbana.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

**Riscos:**

Os eventuais riscos da pesquisa aos quais os técnicos estão expostos referem-se a um possível cansaço decorrente do tempo da entrevista, ou algum tipo de desconforto ou constrangimento quanto às perguntas realizadas pela pesquisadora. Em razão das limitações das tecnologias utilizadas, a realização da pesquisa de questionário pode ser interrompida caso haja falha do sinal de Internet, podendo ser imediatamente retomada quando o sinal for reestabelecido. Também por ser realizada em ambiente virtual, você pode participar de qualquer lugar onde se sinta

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

confortável, e solicitar a qualquer tempo a interrupção da pesquisa. Também fica assegurada total confidencialidade e risco de violação dos dados dos participantes pelos pesquisadores.

**Benefícios:**

Esta pesquisa trará como benefício à comunidade a proposição de um método para um problema real encontrado através dos estudos, que pode auxiliar como ferramenta na elaboração de políticas públicas ou no planejamento urbano, e de que, quando concluída, estará disponível na biblioteca da UFRGS em meio físico e digital, podendo ser acessada por qualquer pessoa que tenha interesse em seu conteúdo. Além de proporcionar aos participantes da pesquisa um maior aprendizado sobre técnicas e ferramentas sustentáveis de baixo impacto e melhorias relacionadas aos alagamentos urbanos das cidades.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Vide campo 'Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações'.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Além das Informações Básicas do Projeto junto à Plataforma Brasil, foram apresentados os seguintes documentos:

1. Folha de Rosto para Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, devidamente assinada pelo pesquisador principal responsável;
2. Cronograma detalhado;
3. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para o “grupo pesquisa de questionário”;
4. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e Autorização para Gravação de Voz do “grupo focal confirmatório”;
5. Projeto de pesquisa na forma de dissertação para qualificação ao trabalho de mestrado;
6. Roteiro de perguntas para os participantes do “grupo pesquisa de questionário”. O roteiro foi redigido no Google Forms e será enviado por e-mail para cada um dos participantes do grupo, isto é, técnicos de prefeituras de municipalidades sul-brasileiras;
7. Questionário “grupo pesquisa de questionário” com 25 questões diretas e de livre escolha; e
8. Roteiro de perguntas para os participantes do “grupo focal confirmatório” constituído de cinco (5) questões para respostas dissertativas.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Trata-se de uma resposta ao parecer consubstanciado CEP n.º 5.819.686, datado em 15/12/2022:

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

Pendência 1. De acordo com a Norma Operacional CNS Nr. 001 de 2013, item 3.4.1.9, todos os protocolos de pesquisa devem conter, obrigatoriamente: [...] Cronograma: informando a duração total do estudo no Brasil e, eventualmente, no mundo e as diferentes etapas da pesquisa, em número de meses. No projeto, o cronograma de execução deve apontar o início do estudo em data compatível com a tramitação do protocolo no Sistema CEP/CONEP. Deve-se apresentar compromisso explícito de iniciar o estudo somente após a aprovação final do Sistema CEP/Conep. Solicita-se adequação levando-se em conta, também, período de recesso e retorno das atividades do CEP após 15 de janeiro de 2023.

RESPOSTA: No cronograma de execução, foi apontada a tramitação em data compatível com o protocolo no Sistema CEP/Conep em cor diferente. Ainda, foi colocada uma observação no cronograma em que está o compromisso de iniciar o estudo somente após a aprovação final do Sistema CEP/Conep. ANÁLISE: As datas e o compromisso de iniciar o estudo somente após a aprovação final do sistema CEP/Conep foram adequados.

ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

Pendência 2. Define-se benefício da pesquisa como as “contribuições atuais ou potenciais da pesquisa para o ser humano, para a comunidade na qual está inserido e para a sociedade, possibilitando a promoção de qualidade digna de vida, a partir do respeito aos direitos civis, sociais, culturais e a um meio ambiente ecologicamente equilibrado”, sem incluir benefícios ao/à pesquisador/a. Dessa forma, solicita-se informar, com clareza, no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e nas Informações Básicas do Projeto na Plataforma Brasil quais serão os benefícios, diretamente relacionados à pesquisa, PARA O PARTICIPANTE DA PESQUISA, para a comunidade na qual está inserido e para a sociedade (Resolução CNS Nr. 510 de 2016, Artigo 2º, Inciso III; Artigo 17, Inciso V).

RESPOSTA: Corrigido e marcado com cor diferente nos Termos de Consentimento Livre e Esclarecido e nas Informações Básicas do Projeto na Plataforma Brasil.

ANÁLISE: Os benefícios aos participantes foram, de fato, corrigidos. PENDÊNCIA ATENDIDA.

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

Pendência 3. Solicita-se inserir, no TCLE, a explicitação acerca do direito de buscar indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa (Resolução CNS Nr. 466, de 2012, item IV.3.h).

RESPOSTA: Adicionado e marcado com cor diferente nos TCLEs.

ANÁLISE: O texto foi alterado adequadamente para atender a solicitação. PENDÊNCIA ATENDIDA.

Pendência 4. Entende-se que a terminologia adotada pela Resolução CNS Nr. 466 de 2012, item II.10 – “participante de pesquisa” – deva ser empregada em todos os documentos do protocolo de pesquisa, incluindo os TCLEs, em substituição a “paciente”, “voluntário”, “técnico”, etc. Solicita-se adequação.

RESPOSTA: Corrigido.

ANÁLISE: A terminologia “participante da pesquisa” foi adequadamente adotada. PENDÊNCIA ATENDIDA.

Pendência 5. Solicita-se inserir NO PROJETO DETALHADO a garantia do pesquisador de que os resultados do estudo serão divulgados para os participantes da pesquisa e instituições onde os dados foram obtidos (Norma Operacional CNS Nr. 001 de 2013, item 3.4.1.14).

RESPOSTA: Adicionado e marcado com cor diferente no Projeto Detalhado.

ANÁLISE: A garantia foi inserida conforme instruído. PENDÊNCIA ATENDIDA.

Pendência 6. É informado na proposta que, “antes do envio do e-mail aos técnicos das municipalidades, pretende-se fazer contato com as prefeituras via telefonemas, dessa forma, consegue-se verificar os departamentos e setores responsáveis pelo urbanismo e drenagem urbana da cidade, levando em consideração as perguntas que serão elaboradas na pesquisa de questionário. Após os telefonemas e contatos com os profissionais responsáveis, será enviado, via e-mail, carta-convite somente para os técnicos e profissionais da prefeitura de cada cidade escolhida.” Solicita-se anexar o modelo de carta-convite ao processo. O convite para participar da

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

pesquisa não deve ser feito com a utilização de listas que permitam a identificação dos convidados nem a visualização dos seus dados de contato (e-mail, telefone, etc.) por terceiros. Assim, solicitam-se esclarecimentos acerca da forma de envio do convite e, caso necessário, adequação (Carta Circular Nr. 1/2021- CONEP/SECNS/MS, item 2.1). Caso sejam consultadas as prefeituras para informar dados de seus funcionários, ou seja, caso tais dados não sejam de acesso público, deverá ser apresentada anuência das prefeituras para a realização da pesquisa. Qualquer convite individual, enviado por e-mail, só poderá ter um único remetente e destinatário, ou ser enviado na forma de lista oculta. Assim, solicitam-se esclarecimentos acerca do convite pessoal e, caso necessário, adequação (Carta Circular Nr. 1/2021-CONEP/SECNS/MS, item 2.1.1).

RESPOSTA: Anexado Modelo Carta Convite na Plataforma Brasil. Com relação acerca da forma de envio do convite, serão mantidos em sigilo os e-mails dos participantes e os dados obtidos da pesquisa serão somente para fins acadêmicos. Não serão informados dados dos funcionários das prefeituras para a realização da pesquisa, além disso, o convite feito por e-mail terá somente único remetente ou enviado na forma de lista oculta mantendo sigilo dos dados dos participantes da pesquisa.

ANÁLISE: Foram adequadas e justificadas a forma de convite dos participantes e a garantia de sigilo sobre as identidades. Modelo de carta-convite foi incluída na Plataforma Brasil.

PENDÊNCIA ATENDIDA.

Pendência 7. Caso o(a) pesquisador(a) opte pelo Termo de Consentimento Livre e Esclarecido por escrito, os campos de assinaturas e rubricas devem ser identificados de acordo com a terminologia prevista na Resolução CNS Nr. 510 de 2016, Artigo 2º, Incisos XIII e XVII, ou seja, empregando-se os termos "pesquisador responsável" e "participante de pesquisa/responsável legal". Nos TCLEs, apresentados, tanto a mestranda como o orientador são identificados como "responsáveis". Solicita-se que apenas o orientador com vínculo empregatício à instituição de pesquisa seja identificado como "responsável". Solicita-se a adequação nos TCLEs e nos demais documentos que identificam a mestranda como "responsável".

RESPOSTA: Corrigido e marcado com cor diferente nos TCLEs.

ANÁLISE: O professor orientador foi indicado como pesquisador responsável nos documentos. PENDÊNCIA ATENDIDA.

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

Pendência 8. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido deve informar os meios de contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) como o endereço, e-mail e telefone nacional, assim como os horários de atendimento ao público. Também é necessário apresentar, em linguagem simples, uma breve explicação sobre o que é o CEP (Resolução CNS Nr. 510 de 2016, Artigo 17, Inciso IX). Assim, solicita-se a inclusão nos TCLEs do texto “O projeto foi avaliado pelo CEP/UFRGS, órgão colegiado, de caráter consultivo, deliberativo e educativo, cuja finalidade é avaliar – emitir parecer e acompanhar os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos, em seus aspectos éticos e metodológicos, realizados no âmbito da instituição. O CEP/UFRGS está localizado na Av. Paulo Gama, 110, Sala 311, Prédio Anexo I da Reitoria - Campus Centro, Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060. Fone: +55 51 3308 3787 E-mail: [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br) Horário de Funcionamento: de segunda a sexta, das 8 às 12 h e das 13 às 17 h”.

RESPOSTA: Incluído o texto e marcado com cor diferente nos TCLEs.

ANÁLISE: O texto acerca do CEP foi adequadamente incluído nos TCLEs. PENDÊNCIA ATENDIDA.

Pendência 9. Os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido devem trazer, de forma explícita, os meios de contato com o(a) pesquisador(a) responsável como endereço, e-mail e telefone nacional (Resolução CNS Nr. 510 de 2016, Artigo 17, Incisos VIII). Solicita-se adequação.

RESPOSTA: Corrigido e marcado com cor diferente nos TCLEs.

ANÁLISE: Os meios de contato com o pesquisador responsável foram incluídos nos TCLEs.

PENDÊNCIA ATENDIDA.

Pendência 10. Solicita-se que constem juntamente com os riscos relacionados à participação na pesquisa, aqueles riscos característicos de ambiente virtual, meios eletrônicos ou atividades não presenciais em função das limitações das tecnologias utilizadas. Adicionalmente, devem ser informadas as limitações dos pesquisadores para assegurar total confidencialidade e potencial risco de sua violação (Carta Circular Nr. 1/2021-CONEP/SECNS/MS, item 1.2.1). Após, atualizar a descrição dos riscos nos TCLEs e no formulário de informações básicas da Plataforma Brasil.

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br)



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

RESPOSTA: Adicionado e marcado com cor diferente nos TCLEs e nas informações básicas da Plataforma Brasil.

ANÁLISE: As alterações e informações foram adequadamente acrescentadas. PENDÊNCIA ATENDIDA.

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS Nr. 510, de 2016, na Resolução CNS Nr. 466, de 2012, e na Norma Operacional Nr. 001, de 2013, do CNS, manifesta-se pela aprovação do protocolo de pesquisa proposto.

Reitera-se aos pesquisadores a necessidade de elaborar e apresentar os relatórios parciais e final da pesquisa, como preconiza a Resolução CNS/MS nº 466/2012, Capítulo XI, Item XI.2: "d.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Aprovado.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2048363.pdf	10/01/2023 16:44:02		Aceito
Parecer Anterior	Carta_resposta_Projeto_Sara_Marostica.pdf	10/01/2023 16:30:49	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Perguntas_Roteiro_Grupo_Pesquisador_Questionario.pdf	10/01/2023 16:11:26	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
Outros	Modelo_Carta_Convite.pdf	10/01/2023 16:06:24	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	QualificacaoDissertacao_COMPESQ_alterado.pdf	10/01/2023 16:02:07	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_GrupoPesquisaQuestionario_Alterado.pdf	10/01/2023 15:58:53	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de	TCLEGrupoFocal_Alterado.pdf	10/01/2023 15:57:54	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 5.856.893

Ausência	TCLEGrupoFocal_Alterado.pdf	10/01/2023 15:57:54	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
Cronograma	Cronograma_execucao_alt.png	10/01/2023 15:55:46	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
Brochura Pesquisa	Roteiro_Entrevista_Grupo_Pesquisa_de Questionario.pdf	05/12/2022 14:49:44	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
Brochura Pesquisa	Roteiro_Entrevistas_Grupo_Focal.pdf	05/12/2022 14:48:52	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	05/12/2022 14:35:53	SARA DESIREE MAROSTICA	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

PORTO ALEGRE, 18 de Janeiro de 2023

---

**Assinado por:**

**Patrícia Daniela Melchiors Angst  
(Coordenador(a))**

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro

**Bairro:** Farroupilha

**CEP:** 90.040-060

**UF:** RS

**Município:** PORTO ALEGRE

**Telefone:** (51)3308-3787

**E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br